

## Diseño y construcción de un amplificador para audio de 500 Watts mediante transistores BJT

GUTIÉRREZ-GARCÍA, Juan Nicolás†\*, SÁNCHEZ-LÓPEZ, Héctor Javier, ROJAS-OLMEDO, Israel Alejandro y ROJAS-RAMÍREZ, Erick

*Universidad Tecnológica del Valle de Toluca*

Recibido 19 de Abril, 2017; Aceptado 6 de Junio, 2017

### Resumen

El presente trabajo muestra el diseño, la construcción, pruebas de funcionamiento y rendimiento en la institución ITeCA para un prototipo de un amplificador de audio con potencia máxima de 500 W empleando en la etapa de potencia transistores BJT. El prototipo consta de una fuente de alimentación simétrica, una etapa impulsora con sensibilidad de entrada desde 100 mVpp hasta 1 Vpp y una etapa denominada paso potencia encargada de transmitir la señal total del amplificador de audio. Por último, se mencionan los resultados obtenidos después de realizar la prueba de rendimiento del prototipo con +/-10 % de tolerancia para cargas máximas de trabajo y de 1 % de distorsión armónica.

**Amplificador, audio, fuente de alimentación lineal, transistores BJT**

### Abstract

This paper details the design, construction, performance tests and performance at the ITeCA institution for a prototype of an audio amplifier with a maximum power of 500 W using in the stage of power transistors BJT. The prototype consists of a symmetrical power supply, a drive stage with input sensitivity from 100 mVpp to 1 Vpp and a stage called power step in charge of transmitting the total signal of the audio amplifier. Finally, we mention the results obtained after performing the prototype performance test with +/-10 % of tolerance for maximum working loads and 1 % of harmonic distortion.

**Amplifier, audio, linear power supply, BJT transistor**

**Citación:** GUTIÉRREZ-GARCÍA, Juan Nicolás, SÁNCHEZ-LÓPEZ, Héctor Javier, ROJAS-OLMEDO, Israel Alejandro y ROJAS-RAMÍREZ, Erick. Diseño y construcción de un amplificador para audio de 500 Watts mediante transistores BJT. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-2:43-48

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: al221410008@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las etapas del amplificador de audio son: Fuente de alimentación lineal simétrica, es decir entregará a su salida una tensión positiva (Vcc+) y una negativa (Vcc-) con respecto a su punto neutro (GND) [1], la segunda etapa denominada impulsora tiene la función específica de adaptar la señal de audio de entrada no amplificada, y la tercera etapa de potencia es donde se entrega la señal de audio amplificado para adicionar la corriente que dará como resultado la potencia total del amplificador de audio [2] (Figura 1).



Figura 1 Etapas del amplificador de audio.

La elaboración del amplificador discreto de 500W permite reducir considerablemente el costo y tiempo de producción, gracias a que se ha evitado la inclusión de componentes que no estén disponibles en los mercados fácilmente accesibles. Así también gracias al diseño de las placas de circuito impreso de una sola capa estas se pueden fabricar más rápido con costos más reducidos y se optimiza también la posición de los componentes en el circuito con lo cual el proceso de ensamble se realiza sin operaciones complejas en menor tiempo.

Fuente de alimentación

Para la construcción de la fuente se utilizó un transformador con una relación de 1:0.909, un puente rectificador, un banco de capacitores, dos resistencias en serie de 10 kΩ y tomando como referencia el punto central para tener un voltaje bipolar simétrico de +/-70 VDC. La fuente presenta una eficiencia menor al 80% [3] (ver figura 2).

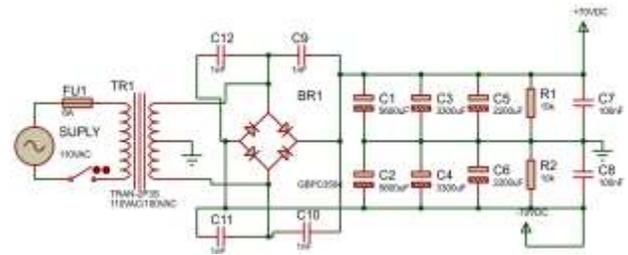


Figura 2 Fuente de alimentación de voltaje simétrica.

Tarjeta impulsora

Tiene la función específica de tomar la señal de audio de entrada no amplificada a un rango máximo 1 Vpp y amplificarla a un voltaje máximo de 140 Vpp. Sin embargo, los semiconductores actuales están muy lejos de lograr rendimiento tan alto debido que al aumentar la temperatura los transistores se saturan con menos corriente [4]. Para el diseño de esta etapa y para evitar la distorsión por saturación conocida como clip [5], se amplificó al 75% del voltaje total cuando a la entrada se tenga 1 Vpp.

De la tarjeta propuesta según la planeación estratégica del proyecto [6] (ver figura 3) en la parte izquierda está el punto en donde se conecta la señal de audio no amplificada, en la parte derecha los puntos de Bases NPN y PNP así como el center point que van conectados directamente a la tarjeta de potencia.

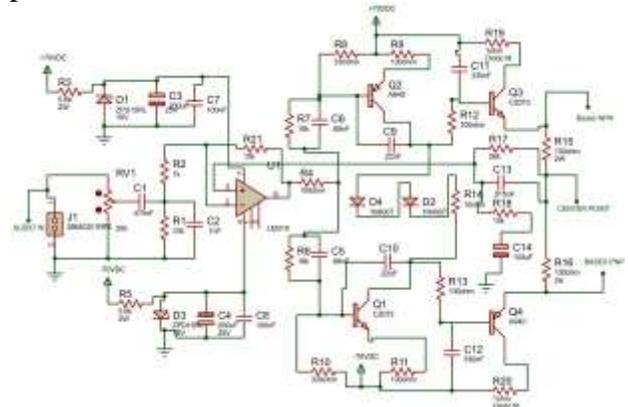


Figura 3 Tarjeta impulsora

El conector J1 de la etapa impulsora es el elemento donde la señal de audio externo se acopla al primer paso de control conformado por el potenciómetro (RV1) el cual permite ajustar la sensibilidad de entrada desde 100 mVpp hasta 1 Vpp. Haciendo adaptable el sistema a prácticamente cualquier dispositivo reproductor que de acuerdo la ley de Ohm [7] pueda entregar al menos 150  $\mu$ A.

La derivación central del potenciómetro RV1 está conectado a un filtro pasabanda con el objetivo de permitir sólo el paso de las frecuencias audibles, éste filtro está conformado por dos filtros en serie, un filtro pasa altas y pasa bajas [8]. El primer filtro está conformado por R1 y C1 que tiene la función de permitir el paso de las bajas frecuencias audibles. El segundo filtro conformado por R2 y C2 eliminar las frecuencias altas correspondientes al ruido eléctrico generado en los conductores de conexión utilizados.

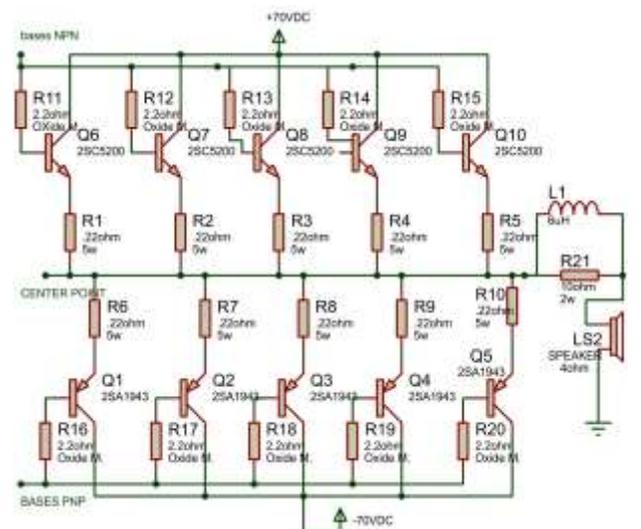
La salida del filtro pasa banda se conecta al amplificador operacional LM319 que separa por completo la señal de entrada y las etapas subsecuentes [9], para su alimentación se utilizaron dos diodos Zener (D1 y D3) a 15 V con su respectiva resistencia de polarización (R3 y R5) [10].

Los transistores Q1 y Q2, son los encargados de elevar la amplitud de la señal de audio hasta un nivel de voltaje que será entregado en la etapa de salida, estos están configurados en montaje de emisor común, por lo cual el valor de su corriente de entrada multiplicado por la ganancia de corriente ( $h_{fe}$ ) [11]; típico del transistor; proporciona valores ideales de la corriente entregada por este par complementario de transistores, cuando se polariza a R12 y R13 con las corrientes producidas por Q1 y Q2 se obtienen los voltajes equivalentes a la amplitud de la señal de audio[12].

El  $h_{fe}$  de un semiconductor depende de su temperatura como de su corriente, por tal motivo, es necesario separar esta sección de la etapa de potencia con otro paso intermedio de transistores compuesto por Q3 y Q4, estos se encuentran en montaje seguidor de emisor llevando al mínimo la exigencia de ésta etapa y evitar la distorsión.

**Paso de potencia**

El paso de potencia se ha configurado como seguidor de emisor, dado que es la configuración más estable ante cambios de temperatura [12]. Considerando que los parámetros de ganancia de un transistor se ven drásticamente afectados por la temperatura cuando se usa la conexión emisor común. En la figura 4 se observan las uniones de las bases NPN y PNP así como el punto central (center point) a la izquierda, estas líneas son entregadas directamente a la tarjeta impulsora. En la parte derecha la conexión para un parlante de 4  $\Omega$  o 8  $\Omega$ . Los elementos L1 y R21 comprenden lo que se conoce como red zobel [5], la cual tiene la función de amortiguar los pulsos de retorno que genera la bobina del parlante cuando la señal aplicada disminuye abruptamente, con ello se protege a los transistores de salida y se prolonga su vida útil.



**Figura 4** Paso de potencia

Los transistores de Q1 a Q5 tipo PNP trabajan de forma paralela a fin de proporcionar la cantidad apropiada de corriente a la carga cuando se generan la onda variante en el tiempo negativa, y los transistores de Q6 a Q10 hacen lo mismo pero para a onda variante en el tiempo positiva. Las resistencias de base de  $2.2 \Omega$  son un desacople entre la señal de entrada y las líneas de potencia, como medida de protección estas se han seleccionado de óxido metálico, asegurando que si un transistor genera un corto circuito estas resistencias se abrirán aislándolo de la excitación. Y por la parte de los emisores se colocaron resistencias de piedra de 5 W de un valor bajo en Ohm; las cuales tienen la función de evitar que los transistores se destruyan con la existencia de algún pulso que polarice ambas líneas al encender o apagar el equipo, también balancean las diferencias de ganancia entre cada transistor y consumen la corriente que fluye cuando el amplificador trabaja en configuración AB. Para esta aplicación se utilizaron resistencias de  $0.22 \Omega$  que evita la pérdida de potencia. Si la impedancia de salida es de  $4 \Omega$  se necesitarán 11.18 A en cada polaridad para lograr los 500 W y si la impedancia es de  $8 \Omega$  se necesitarán 7.9 A para lograr los mismos 500 W entonces trabajando a  $4 \Omega$  a cada uno de los 5 transistores le toca manejar 2.23 A.

La potencia disipada por la resistencia de emisor es de 1.09 W, si se colocan resistencias de  $0.22 \Omega$  a 3 W estas tendrán un elevado tiempo de vida gracias a la buena disipación térmica.

Se utilizaron los transistores BJT 2SC5200 y 2SA1943 los cuales tienen voltajes de operación de hasta 230 VCD y corrientes de 15 A sin sobrepasar la potencia recomendada de 100 W [13,14]. Estos transistores son los más apropiados tanto por disponibilidad y precio como por sus respectivos parámetros de trabajo.

### Etapas ensambladas

La placa de circuito impreso (PCB) diseñadas se muestra en la figura 5, éstas han sido recubiertas con una capa de estaño, típica en placas fenólicas basadas en baquelita. Las tres etapas fabricadas han sido construidas de manera modular con la finalidad de que sean extraídas del sistema de audio de forma simple y sin operaciones complejas en caso de mantenimiento o de pruebas adicionales.



Figura 5 Las 3 etapas del amplificador de audio proyecto

### Resultados

La prueba principal se realiza alimentando el dispositivo mediante un transformador de 600 W dando así más del 10 % de tolerancia para cargas máximas de trabajo, para la evaluación de la carga se ha implementado un parlante de 12" marca PIONER (ver figura 6) que maneja consumos alrededor de 600 W en carga máxima.



**Figura 6** Transformador y altavoz de 600W

La fidelidad y nivel de distorsión fueron evaluados por personal de la institución ITeCA y clientes del gremio, observando niveles iguales a amplificadores que trabajan a menos de 1% de distorsión armónica, mediante la técnica de espectro de frecuencia. Como parte del desarrollo de la tarjeta impulsora se ha detectado que el uso de capacitores de alto voltaje (1 KV) provoca niveles de distorsión sumamente elevados, esto debido a que la corriente de fuga presente en todos los capacitores, es considerablemente mayor en estos elementos de alta tensión. La opción idónea es la implementación de capacitores cerámicos de 63 V o capacitores de poliéster de 100 V.

Finalmente la fuente de alimentación asegura el rendimiento en todo el rango de frecuencia del audio, evita interferencias eléctricas que deformen la señal de audio, problema que es muy común de los sistemas actuales.

### Agradecimiento

Hector Sánchez y Juan Gutiérrez, agradecen el apoyo económico brindado por el Programa para el desarrollo profesional docente, tipo superior (PRODEP), carta PROMEP/157879/108762, de la misma forma los autores agradecen a la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca así como a la Institución ITeCA el desarrollo del presente trabajo.

### Conclusiones

En México el recubrimiento de las pistas con una capa de estaño resulta al menos 80% más barato que el uso de pintura "anti solder" de secado UV dado que actualmente hay pocos distribuidores y además exige el uso de una insoladora de rayos UV.

La etapa de salida no conlleva complejidad elevada en el diseño implementando transistores BJT, lo que debe cuidarse es la disposición y el enfriamiento de esta etapa.

Los elementos semiconductores en la etapa de potencia al trabajar a menos de 90% de su capacidad total (500 W) garantizan la prolongación en su tiempo de vida del prototipo. Al realizar la prueba a los transistores con disipador de 10 cm<sup>3</sup> con un pulsador que debe accionarse por 5 segundos y luego abrirse por 1 segundo para encender una lámpara incandescente, los transistores se pone en corto cuando son falsificado; debido a que la pastilla de semiconductor interno es correspondiente a un voltaje y corriente mucho menor según la especificación, concluyendo que los transistores originales cuentan con una pastilla más grande y no presenta temperatura al realizar las pruebas.

El método de planchado para la elaboración de PCB resulta muy fácil de implementar, pero provoca que las tarjetas se curven por el exceso de calor obtenido, la opción más práctica consiste en dejar que estas se enfríen entre dos superficies lisas que mediante presión la mantengan totalmente recta.

### Referencias

Brown M (2001). Power Supply Cookbook. USA: Newman.

Valero D. (1993). Amplificadores de potencia, teoría y problemas. Ed. Paraninfo. España.

Brown M. (1990). Practical switching power supplies desing. Motorola. Series in solid state electronics.

Malvino A. P. (2000). Principio de electronica. Ed. Mc. Graw Hill. 6ta edición. España.

Foros de electronica. (2016). Detector de clip. [En red]. Disponible en: <http://www.forosdeelectronica.com/f30/detector-clip-potencia-75864>

Instituto nacional de tecnología industrial. (2016). Proceso de diseño, fases para el desarrollo de productos. Disponible en: [https://www.inti.gob.ar/prodiseno/pdf/n141\\_proceso.pdf](https://www.inti.gob.ar/prodiseno/pdf/n141_proceso.pdf).

Floyd T. (2007). Principios de circuitos eléctricos. Pearson Educación. Octava Edición. México.

Malvino A. (2000). Principios de electrónica. Pearson Educación. Octava Edición. México

Floyd T. (2008). Dispositivos Electrónicos. Pearson Educación. Octava Edición. México

Parra, L. Orozco F. (1995). Fuentes de alimentación reguladas y conmutadas. México D.F. BECANOR.

Hambley A. (2001). Electrónica. Ed. Pearson Educación. Segunda edición.

Slone R. (1999). High power audio amplifier. Ed. McGraw-Hill.

Datasheet transistor 2SC5200. Disponible en: <http://www.profusionplc.com/images/data%20sheets/2sc5200.pdf>.

Datasheet transistor 2SC5200. Disponible en: <http://belchip.by/sitedocs/00014884.pdf>

Muhammad H. R. (2011). Power Electronics Handbook. USA: Elsevier.