

ESTUDIO COMPARATIVO DE ETAPAS DE REPRODUCCIÓN ACÚSTICA BASADAS EN MODULACION DE ANCHURA DE PULSO Y SIGMA-DELTA

PACS: 43.38.Lc

Zorzano Martínez, Antonio¹; Zorzano Martínez, Luis²; Beltrán Blázquez, Fernando³
^{1,2} Universidad de La Rioja

Departamento de Ingeniería Eléctrica. Centro de Enseñanzas Científicas y Técnicas
Luis de Ulloa 20. 26004 Logroño

Tel: ¹ 941 299 486; ² 941 299 485; Fax: 941 200 478

E-mail: ¹ antonio.zorzano@die.unirioja.es; ² luis.zorzano@die.unirioja.es

³ Universidad de Zaragoza

Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones Centro Politécnico Superior
María de Luna 1. 50015 Zaragoza

Tel: 34 976 761 948; Fax: 34 976 762 111

E-mail: beltran@posta.unizar.es

ABSTRACT

Audio amplification is analysed throughout four stages. First one is a classic amplification stage. The others are based in class D amplification (switching amplification). Class D needs modulates input audio signal. Pulse Width Modulation (PWM), with linear control and non-linear control and Sigma Delta modulation have been used. Following parameters have been studied: voltage amplification, power into load (speaker), total distortion harmonic (THD). Stages based on class D have showed a good performance, better in some cases than classic amplification stage.

RESUMEN

La amplificación en audio es analizada a través de cuatro etapas. La primera corresponde a una etapa de amplificación clásica. Las otras tres, se basan en la amplificación clase D (amplificación en conmutación). Estas tres últimas necesitan modular la señal de audio. Para ello se ha utilizado modulación de anchura de pulso (con control lineal y no lineal) y modulación sigma delta. Del análisis comparativo se observa que los parámetros: ganancia de la etapa, potencia entregada a la carga (altavoz), y distorsión armónica total obtenidos por las etapas en clase D son competitivos con los obtenidos por la etapa de amplificación clásica.

1 INTRODUCCION

El origen de los amplificadores de audio se sitúa en la utilización de válvulas. A pesar del escaso rendimiento y del calor que disipaban, supusieron la base de todos elementos de amplificación hasta principios de 1960 [1]. Utilizaban transformadores para acoplar la etapa de amplificación a la carga. Es, a principios de los 60, con la aparición de los transistores cuando se produce una revolución en la amplificación. Los transistores, inicialmente de silicio y después de germanio, consiguieron etapas que solían ser pesadas, lentas, no lineales y que no admitían mucha realimentación negativa. Posteriormente se construyeron amplificadores sin transformadores, con etapas de salida que incluían transistores cuasicomplementarios. La aparición de dispositivos de potencia complementarios consiguió reducir ampliamente la distorsión.

La arquitectura de los amplificadores básicos se puede dividir en tres etapas. La primera obtiene, a partir de una tensión de entrada diferencial (ejemplo entrada de audio-realimentación negativa de salida), una corriente de salida. La segunda es una etapa de amplificación de voltaje. La tercera es la etapa de salida.

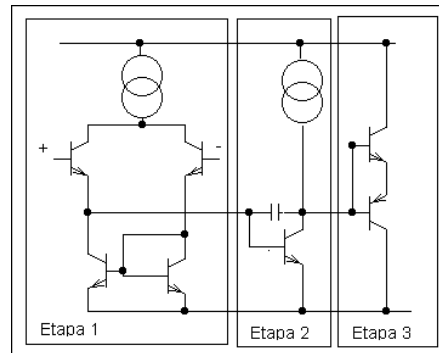


Figura 1. Arquitectura de amplificación básica.

En función de la topología que utiliza cada amplificador se pueden distinguir, entre otras, las siguientes clases [1]:

- Clases A, AB y B: Utilizan las estructura de amplificación clásica, y su división viene determinada por el tiempo de funcionamiento de los dispositivos de salida: 100% para el caso de la clase A, entre el 50 y el 100% para los de clase AB, e igual o inferior al 50% para los de clase B. Algunas veces, una etapa puede ser clasificada en diferentes clases dependiendo de la alimentación y del valor de la carga.
- Clase D: Estas etapas están constantemente conmutando entre dos niveles de tensión a una velocidad muy rápida, de tal forma que den una representación promedio de la señal de audio
- Clase G: Debido al alto ratio entre el valor de pico de las señales audio y su valor medio, se utilizan dos niveles de alimentación a la salida que permiten ajustarse a los niveles de tensión altos y bajos de la señal de salida.

La figura muestra el esquema general de un amplificador de potencia de conmutación (Clase D) [2]. Tal sistema reproduce un convertor de potencia dc/dc utilizando una técnica de modulación adecuada que permita conmutar a la etapa de potencia de tal forma que la potencia de salida sea lo más similar posible a la señal de referencia de entrada.

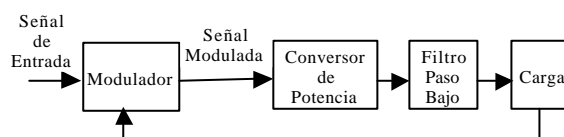


Figura 2. Amplificador clase D

En este artículo se utilizan dos técnicas de modulación de la señal de audio:

Modulación de anchura de pulso (PWM): La señal modulada es una señal cuadrada con ciclo de trabajo proporcional a la amplitud instantánea de la señal de referencia [3].

Modulación sigma-delta ($\Sigma\Delta$): la señal modulada es una secuencia discreta de valores (1,0), cuya distribución a lo largo del tiempo depende de la amplitud instantánea de la señal [4].

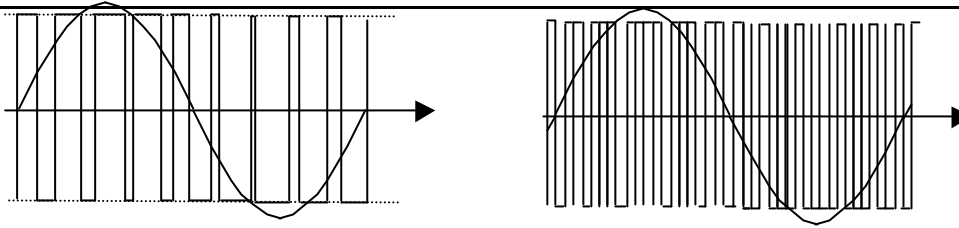


Figura 3. Modulación de anchura de pulso (PWM) y modulación Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$)

2 ETAPAS DE AMPLIFICACIÓN DE AUDIO

2.1 Amplificación Clásica.

El esquema que se presenta a continuación muestra una etapa de amplificación de audio clásica, incluyendo las tres etapas citadas previamente y la realimentación negativa desde la salida [1]. La etapa de salida incluye un par de realimentación complementario (CFP), también conocido como par Sziklai.

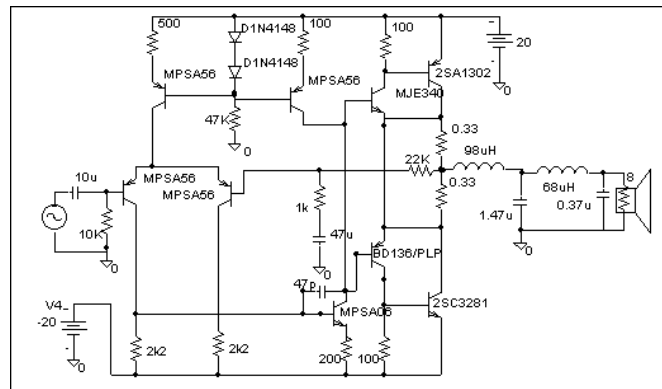


Figura 4. Etapa de amplificación de audio clásica.

2.2 Amplificación Clase D. Modulación PWM.

Se van a estudiar dos circuitos, uno correspondiente a clase D con una técnica de control lineal, y otro incorporando control no lineal en un solo ciclo.

El circuito correspondiente a amplificación clase D con realimentación negativa de la salida, técnica de control lineal, utilizando modulación de anchura de pulso (PWML), como estrategia de modulación y transistores de potencia MOSFET TMOS como integrantes de la etapa de salida [5], seguiría la siguiente configuración (Figura 5):

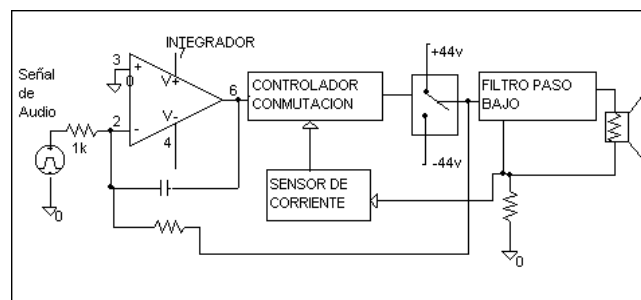


Figura 5. Amplificación clase D con control lineal

La señal triangular que se utiliza como portadora de la modulación conmuta con una frecuencia de 120KHz. La realimentación negativa se realiza de forma previa al filtrado para evitar

inestabilidades. Por su parte el controlador de conmutación fija el ciclo de trabajo de salida como una función lineal del voltaje de error (señal de entrada al controlador de conmutación). Si se producen corrientes elevadas en la carga, a través del sensor de corriente se informa al controlador de conmutación (Figura 6), para que este fije el ciclo de trabajo que devuelva las corrientes a su valor debido.

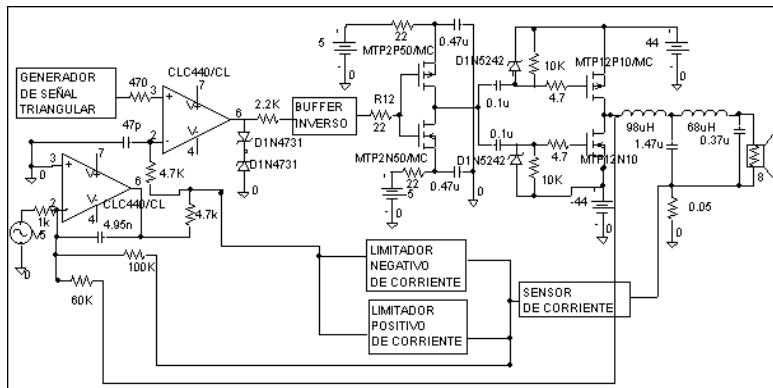


Figura 6. Amplificador clase D con transistores de potencia MOSFET TMOS

El circuito que se presenta a continuación (Figura 7), corresponde a clase D con técnica de control no lineal [6] (PWMNL). Su funcionamiento se basa en controlar las variables de conmutación (tensión o intensidad) en vez de controlar el error una vez que este se ha generado. Este circuito consigue control en un solo ciclo, es decir, en cada ciclo el valor medio de la variable de conmutación prácticamente se iguala a la variable de referencia de entrada, consiguiendo error prácticamente nulo. El tiempo en estado activo y pasivo del controlador se ajusta en cada ciclo. En el esquema se ve la estructura en puente, con los cuatro drivers controlados por las señales Q y Q'. Al altavoz se le ha colocado un filtro Butterworth de segundo orden a la entrada.

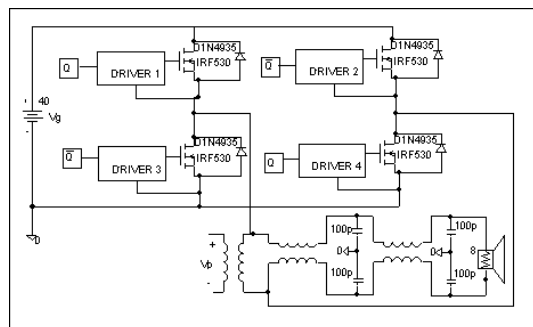


Figura 7. Etapa de potencia de amplificador Clase D con control en un solo ciclo.

En el esquema siguiente se observa el circuito que genera la estrategia de control, que genera las señales para los drivers, basándose en la señal de entrada de audio (V_{ref}) y en la variable de conmutación V_p .

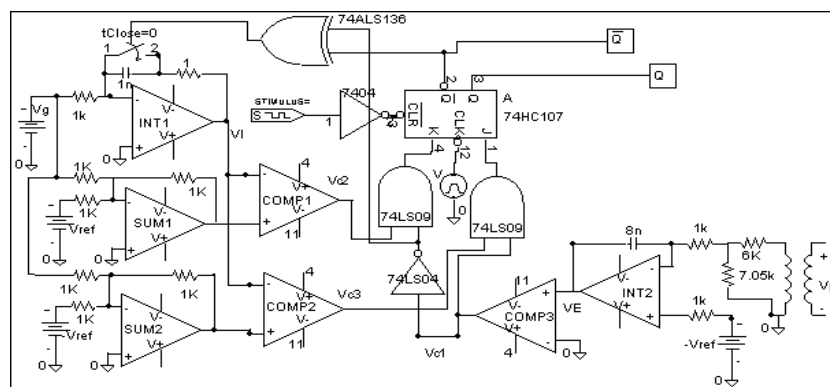


Figura 8. Amplificación clase D. Circuito de control en un solo ciclo.

2.3 Amplificación Clase D. Modulación $\Sigma\Delta$

La etapa que se presenta a continuación, utiliza un modulador con estrategia de modulación $\Sigma\Delta$, requiriéndose para ello trabajar a frecuencia de conmutación elevada [7]. En general, estos esquemas requieren conmutación suave (tensiones e intensidades nulas en los procesos de encendido y apagado respectivamente de los interruptores). La topología presentada (topología Z) permite la posibilidad de entregar corriente de salida bidireccional y voltaje de salida bipolar. Además no necesita utilizar una estructura en puente para conseguirlo, ahorrándose en número de componentes y en consumo. El esquema general de esta topología es el de la (Figura 9), y los estados por los que pasa son los incluidos en la tabla

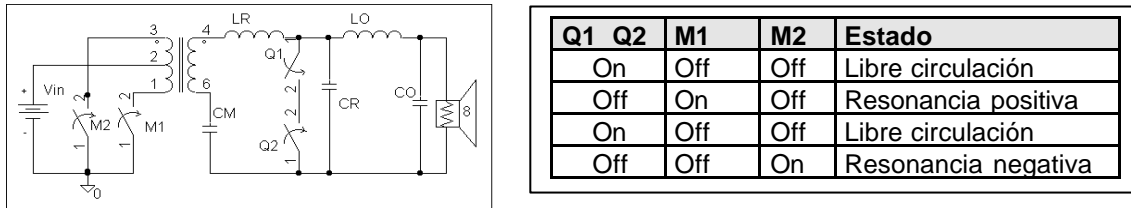


Figura 9. Topología Z y estados de los interruptores utilizados en amplificador con modulación $\Sigma\Delta$.

El circuito con más detalle (Figura 10) es el siguiente:

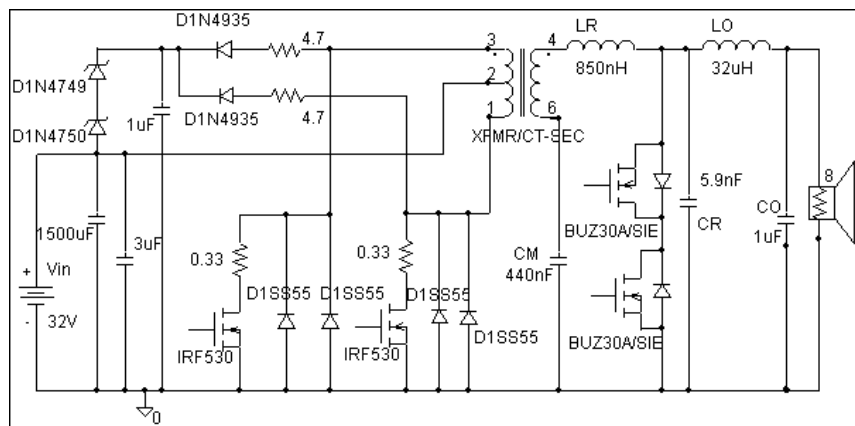


Figura 10. Amplificador de audio con estrategia de modulación $\Sigma\Delta$.

3 ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS ETAPAS DE AMPLIFICACION DE AUDIO

Se ha estudiado para el caso de señal de entrada de audio senoidal con amplitud constante (0.5), la influencia de la frecuencia (

Figura 11 a) y c)). Se observa que la amplificación clásica obtiene frente a la etapa de conmutación basada en PWM con control no lineal: menor ganancia, menor potencia en la carga y mayor distorsión armónica. Si se fija la frecuencia de entrada en 6 KHz, y se hace variar la amplitud (

Figura 11 b) y d)), se vuelve a confirmar lo citado previamente, destacándose la distorsión de la amplificación clásica para amplitudes entorno a 0.5.

Por otra parte se ha estudiado el comportamiento para señal de entrada constante para las cuatro etapas citadas (

Figura 11 e) y f)). La amplificación clásica ocupa la última posición en cuanto a ganancia y obtiene funcionamiento similar frente a etapas con modulación PWM con control no lineal o Sigma-Delta.

4 CONCLUSIONES

Se ha observado que las etapas de amplificación en audio en conmutación son competitivas en ganancia, en potencia entregada a la carga (altavoz) y en distorsión armónica. Aspectos a mejorar son las pérdidas que aparecen en la conmutación de los dispositivos.

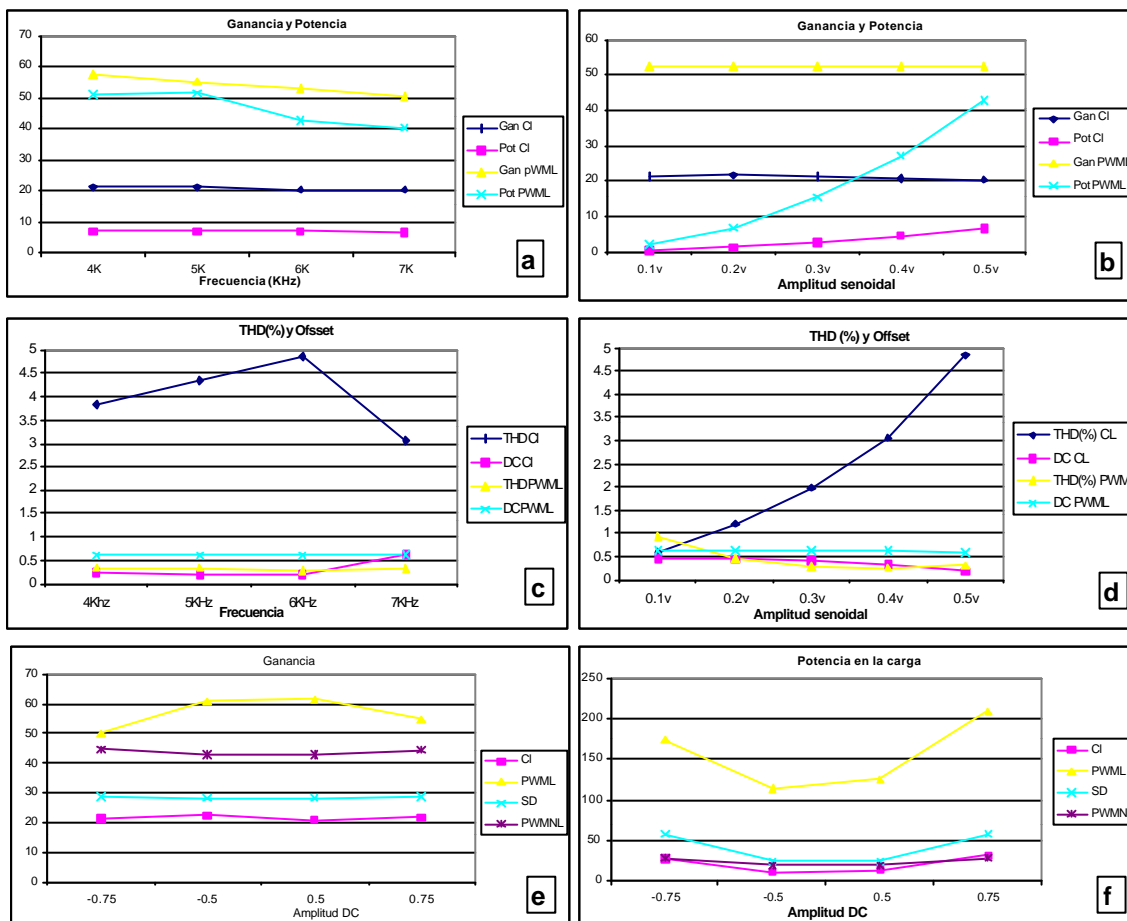


Figura 11 Análisis para señal de entrada senoidal: a) y c) influencia de la frecuencia para amplitud = 0.5; b) y d) influencia de la amplitud para frecuencia = 6KHz. Para señal de entrada DC: e) y f) influencia de la amplitud. (Nomenclatura Cl= Amplificación clásica; PWML= Amplificación con modulación PWM, control lineal; PWMNL= Amplificación con modulación PWM, control no lineal; SD = Amplificación con modulación Sigma-Delta)

5 BIBLIOGRAFIA

- [1] Douglas Self. "Audio Power Amplifier. Design Handbook". Editorial Newness. 2000. ISBN 0 7506 4527X
- [2] P. H. Mellor, S. P. Leigh y B. M. Cheetham, "Reduction of Spectral Distortion in class D Amplifiers by an Enhanced Pulse Width Modulation Sampling Process". IEE Proceedings-G, Vol. 138, No 4, Agosto 1991.
- [3] J. M. Goldberg y M. B. Sandler, "Noise shaping and Pulse Width Modulator for an All Digital Audio Power Amplifier", J. Audio Eng. Soc., vol. 39. (1991 Junio).
- [4] R. M. Gray, "Oversampled Sigma-Delta Modulation" IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-35, N°5, Mayo 1987.
- [5] Donald E. Pauly "High Fidelity Switching Audio Amplifiers Using TMOS Power Mosfets".
- [6] K. M. Smith, Zheren Lai y K. M. Smeady "A New PWM Controller With One Cycle Response", IEEE transactions on Power Electronics, Vol. 14 (Enero 1999).
- [7] Enrico Dallago y Gabriele Sassone, "Advances in High Frequency Power Conversion by Delta Sigma Modulation", IEEE Transactions on Circuits and Systems-I. Fundamental Theory and Applications". Vol. 44. N° 8 Agosto. 1997