

Revista Electrónica de Daganzo

Amplificador tipo D



INTRODUCCION:

Los amplificadores de sonido han evolucionado desde los primeros años del siglo XX. Desde que Lee de Forest desarrolló la válvula triodo, la tecnología de los amplificadores de sonido han alcanzado grandes metas.

Gracias a la nueva tecnología de los amplificadores de sonido, hoy en día es posible poseer un amplificador de gran potencia y fidelidad con poco precio.

En el número 24 de la revista traté los diferentes tipos de amplificadores de sonido. En este número quisiera centrarme en los amplificadores tipo D.

Bibliografía:

Textos e imágenes de Google y de Wikipedia
Portada de Radio Craft 1946
<http://www.equaphon-university.net/alguien-puede-negar-la-clase-d/>
STMicroelectronics (TDA7498)
Diodes Incorporated (PAM8403, PAM8610)
National Semiconductor (LM4651, LM4652)
New Japan Radio Co. Ltd (NJU7610)

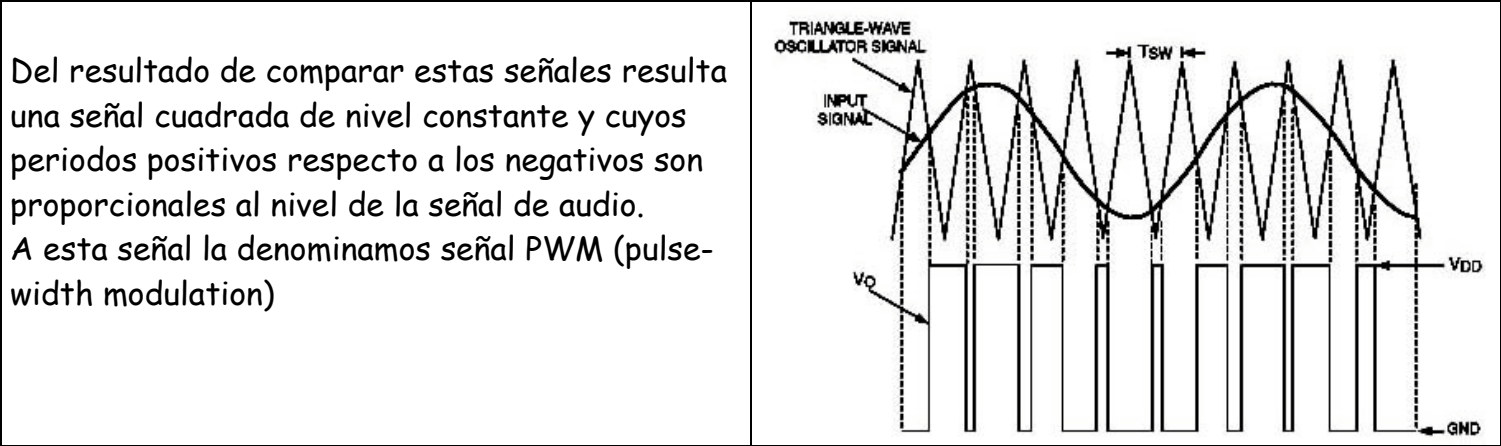
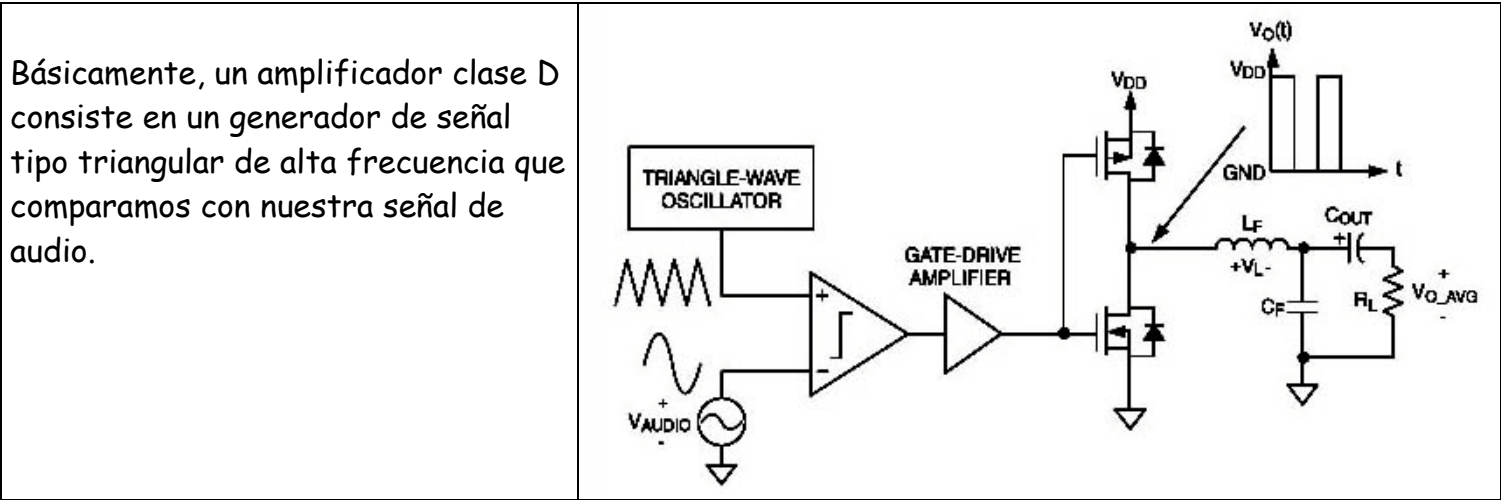
Haciendo un poco de historia más reciente, podemos decir que a finales del siglo XX tres jóvenes emprendedores, formados en electrónica en la Universidad de Florencia, tuvieron la capacidad de mirar hacia adelante en su tiempo y utilizar tecnologías que nunca antes fueron utilizadas en la amplificación de potencia profesional, y combinarlas con otras tecnologías para lograr un absoluto control de estos amplificadores.

Powersoft S.p.A. una compañía italiana privada que se especializa en el diseño, producción y comercialización de una amplia variedad de tecnologías high-end profesionales patentadas para los mercados de audio profesional y gestión de flotas.

En 1996, la empresa dominaba el diseño y desarrollo de un nuevo amplificador Clase D que podía entregar altos niveles de potencia consistentemente confiables — algo que no había sido logrado antes. La amplificación Clase-D al comienzo fue denominada como inferior por la industria de amplificadores. Hoy, esta tecnología es considerada un estándar en la industria.

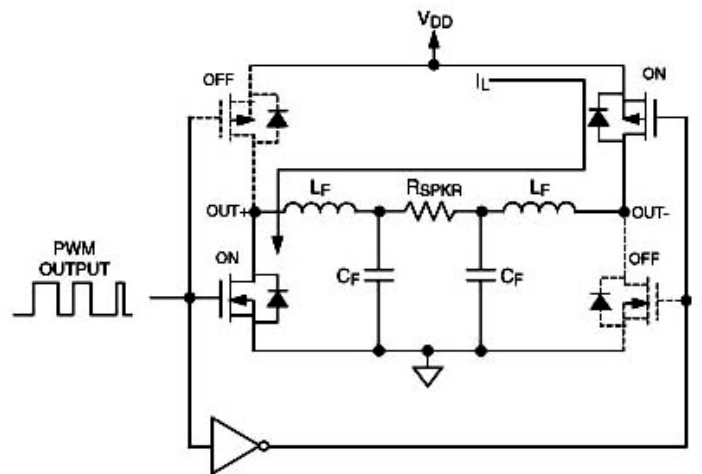
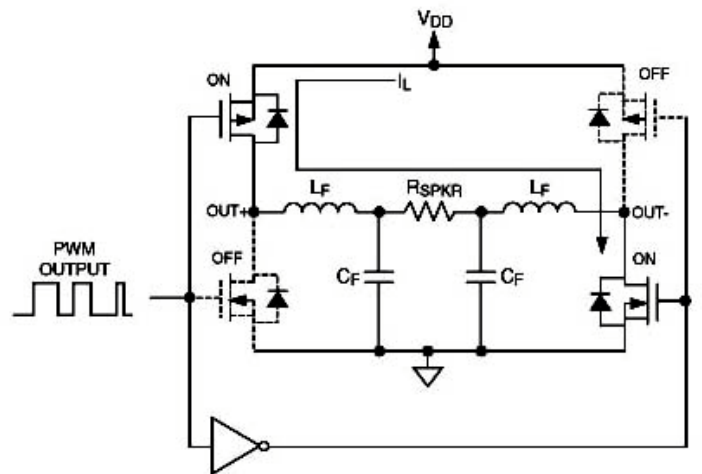
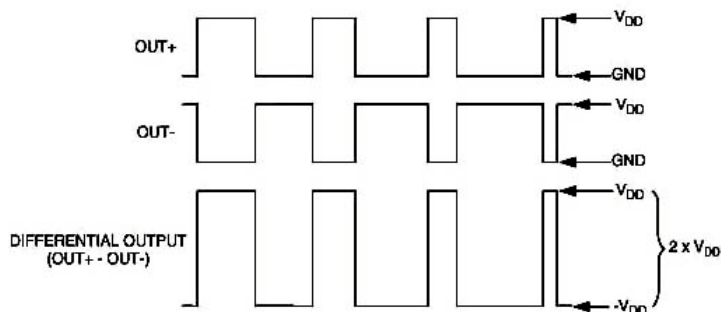
Pero, En que consiste un amplificador Clase D?

Primero, no confundamos amplificador clase D con amplificador Digital. Un amplificador Digital posee convertidores A/D y controles digitales sobre la señal de audio.



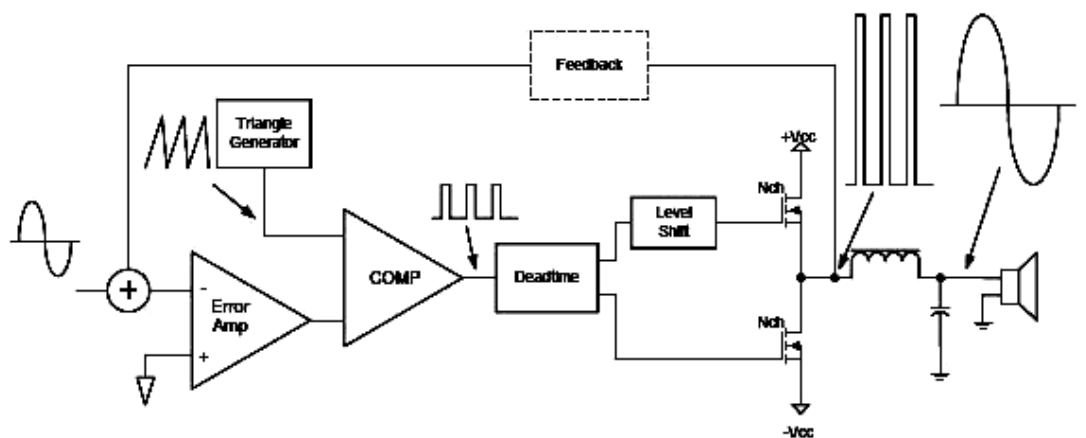
La señal PWM es una señal cuadrada que podemos amplificar con transistores de alta corriente y alto voltaje en clase C por lo que al funcionar en corte-saturación se reduce enormemente la disipación en calor en estos transistores.

La etapa final de amplificación se puede realizar con un puente tipo H donde los transistores conmutan en forma de X y el nivel de la señal final queda reforzada.

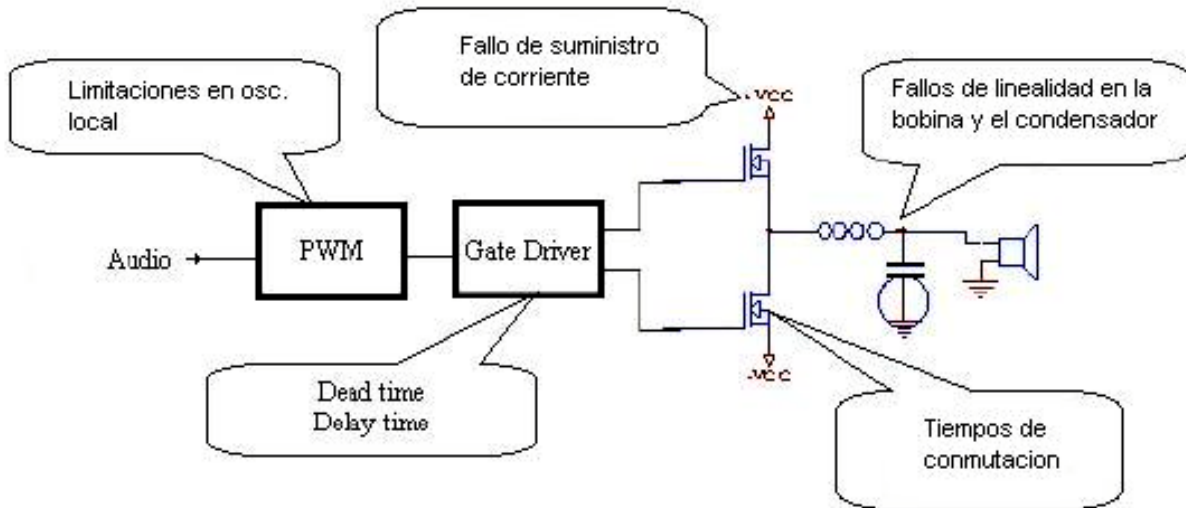


Un filtro de paso bajo normalmente L-C se instala antes de la carga del amplificador, este filtro se encarga de hacer desaparecer la componente de alta frecuencia y el resultado es la misma señal de audio que la entrada ya amplificada.

En un puente Medio H los transistores superior e inferior conmutan siguiendo la señal de entrada, pero es necesaria una toma de referencia media en la carga.

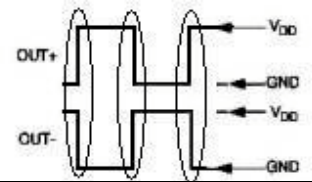


Algunas consideraciones sobre estos amplificadores:

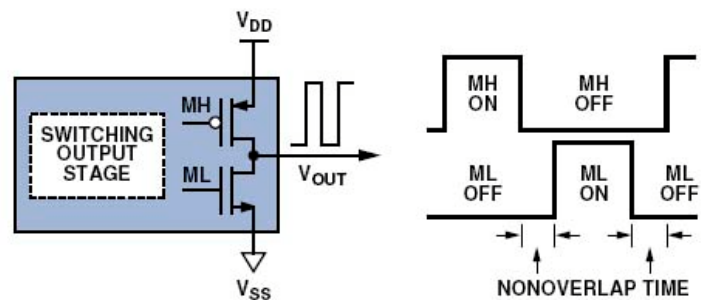


Como he dicho, los amplificadores tipo D modulan la señal de entrada mediante un oscilador local con salida triangular dando lugar a una salida de amplitud constante tipo PWM. El oscilador local ha de tener una frecuencia muy superior a la frecuencia de la señal de entrada (como mínimo 5 veces superior) pues la señal de entrada perdería calidad.

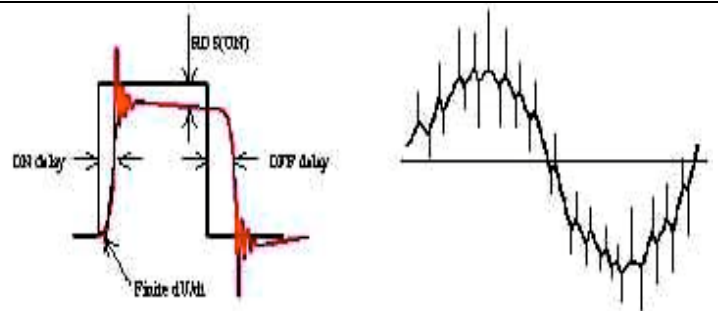
Las señales PWM que se suministran a las dos ramas de los transistores de potencia no deben coincidir sus tiempos activos. Estos tiempos ocasionaría cortos circuitos debido a los atrasos de conmutación de los transistores



Los tiempos activos han de tener un periodo de no actividad, esto permite un tiempo de relajación de los transistores de salida. A la máxima frecuencia de conmutación permitida por los transistores de salida hay que unir estos tiempos de relajación de los transistores de potencia. (death time)



La conmutación de los transistores de potencia junto con las inductancias parásitas (patillas de los transistores, longitud de cableado, distancia a corriente de alimentación, etc) proporciona picos de tensión de altas frecuencias que interfieren en radiofrecuencia (sobre todo en FM)

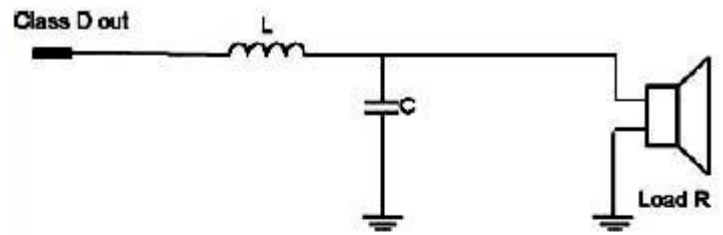


El filtro de paso bajo se compone normalmente por una bobina (por lo general construida con cable grueso y sobre soporte de ferrita) y uno o varios condensadores (en paralelo para aumentar su factor de corriente disminuyendo su resistencia interna).

La imagen nos muestra los resultados de los valores para la bobina y el condensador en función de la frecuencia de corte y de la resistencia de carga.

Los valores de L y C vienen dados por:

$$C = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi f_c R} \quad L = \frac{\sqrt{2}R}{2\pi f_c}$$



fc (kHz)	R (Ohm)	L (μH)	C (μF)
20	4	45	1.41
25	4	36	1.13
30	4	30	0.94
50	4	18	0.56
20	8	90	0.70
25	8	72	0.56
30	8	60	0.47
50	8	36	0.28

Los fallos de suministro de corriente suelen estar producidos por resistencias e inducciones parásitas debidas a la distancia entre los condensadores de alimentación y los transistores de la etapa de potencia. La mayor parte de la corriente de conmutación de los transistores de salida esta suministrada por los condensadores electrolíticos de la fuente de alimentación.

Las etapas de potencia (sobre todo en casos de alta corriente y tensión) han de estar lo mas cerca posible de los condensadores electrolíticos.

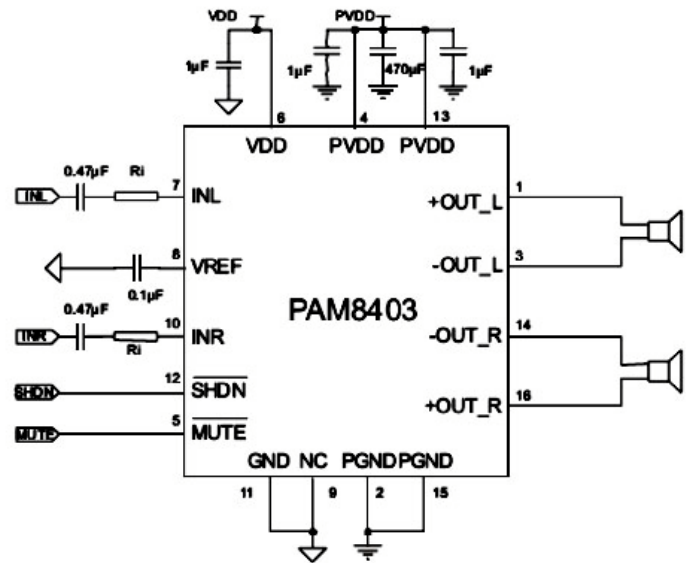
En la imagen tenemos un puente H constituido por dos IGBT de medio H cada uno cerca de dos condensadores de alta capacidad y voltaje. También para disminuir las corrientes de conmutación, la colocación de condensadores tipo Snubber directamente sobre las patas de alimentación de los IGBT.



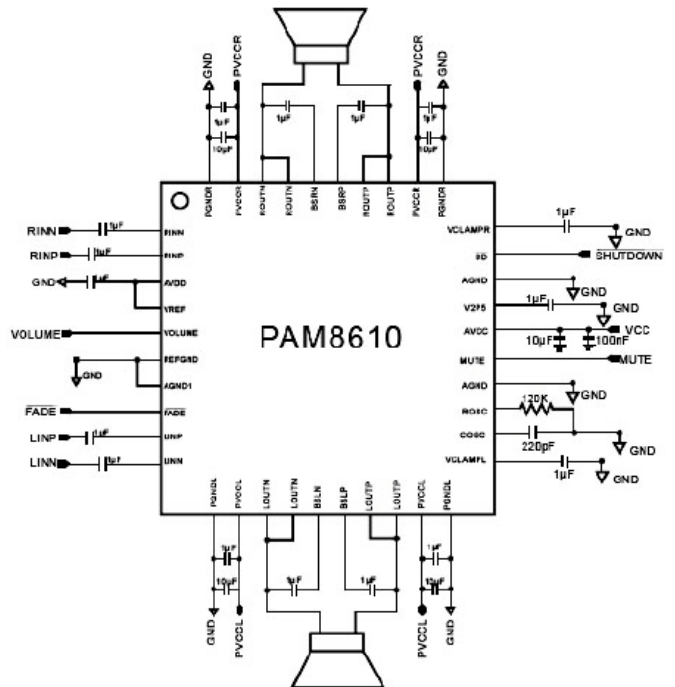
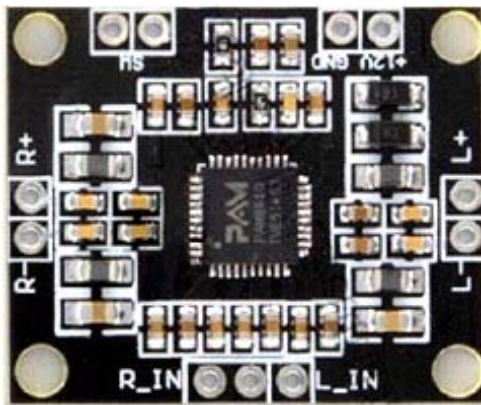
Algunos amplificadores tipo D

El mercado nos ofrece diversos circuitos integrados que contienen amplificadores tipo D estéreos.

Con 3w tenemos el **PAM8403**, este económico y pequeño integrado posee un oscilador interno a 260khz que le proporciona muy buena respuesta entre 20hz y 20khz con un 90% de eficiencia. Tiene una alimentación de 5v y es ideal en pequeños equipos amplificadores. Este amplificador se puede adquirir por modulo.



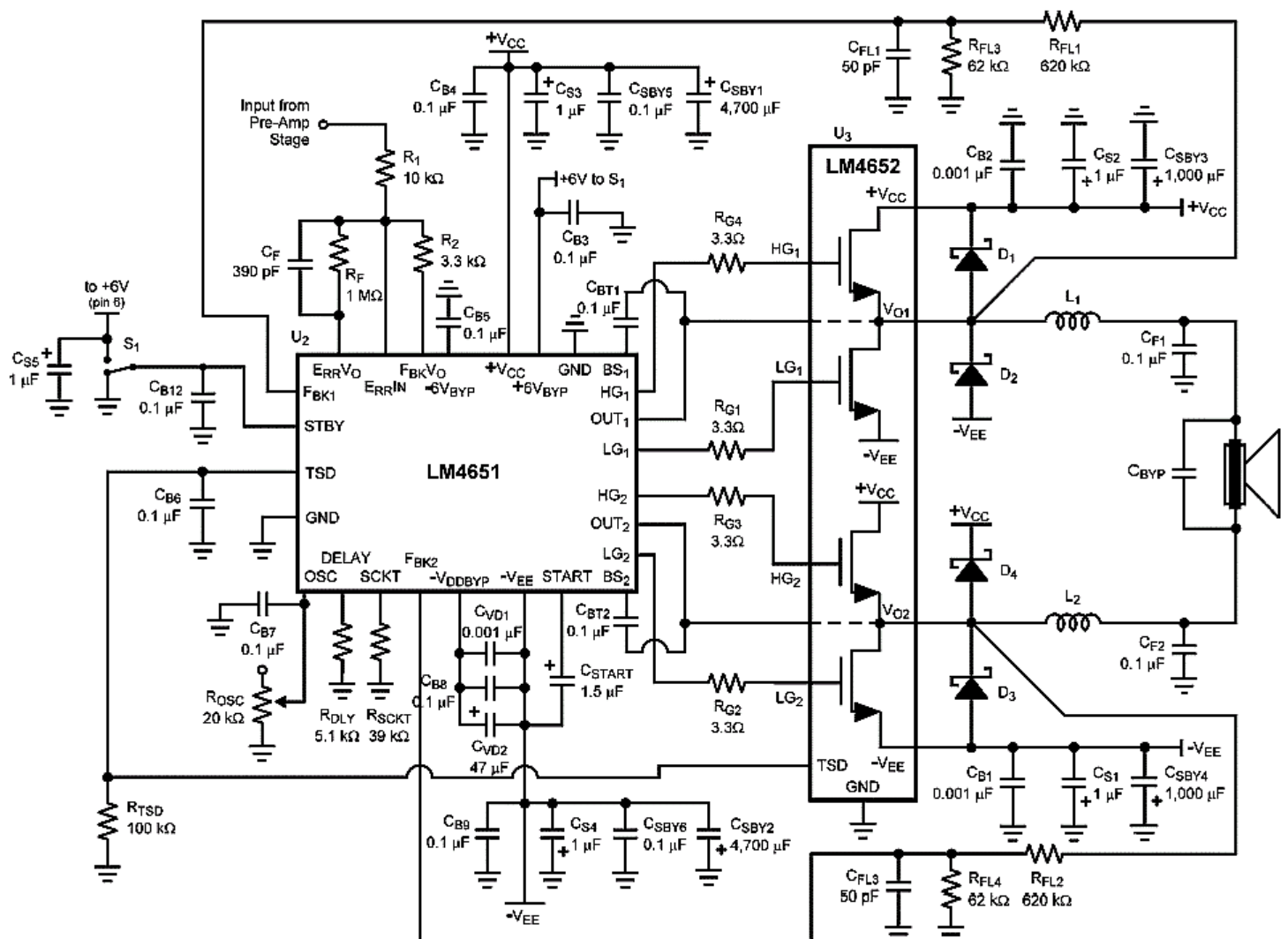
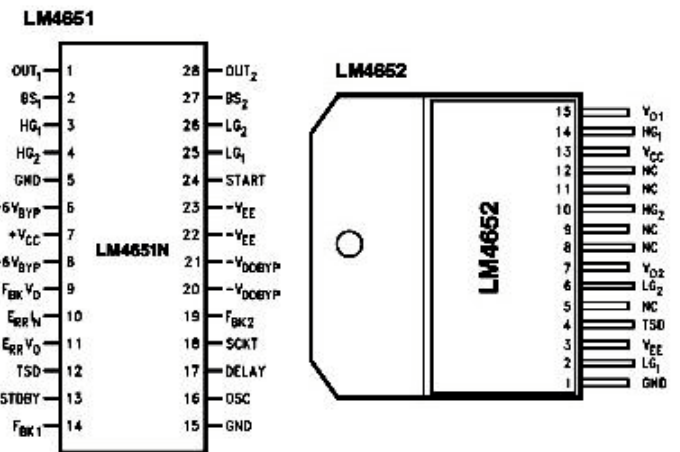
Con 15w tenemos el **PAM8610** con una alimentación de 12v y con un oscilador interno de 250khz, tiene una respuesta entre 20hz y 20khz con un 90% de eficiencia. Este amplificador se puede adquirir por modulo.



Los LM4651 y LM4652 son dos circuitos integrados que proporcionan un amplificador Mono tipo D. Uno es el controlador y el otro la etapa de potencia.

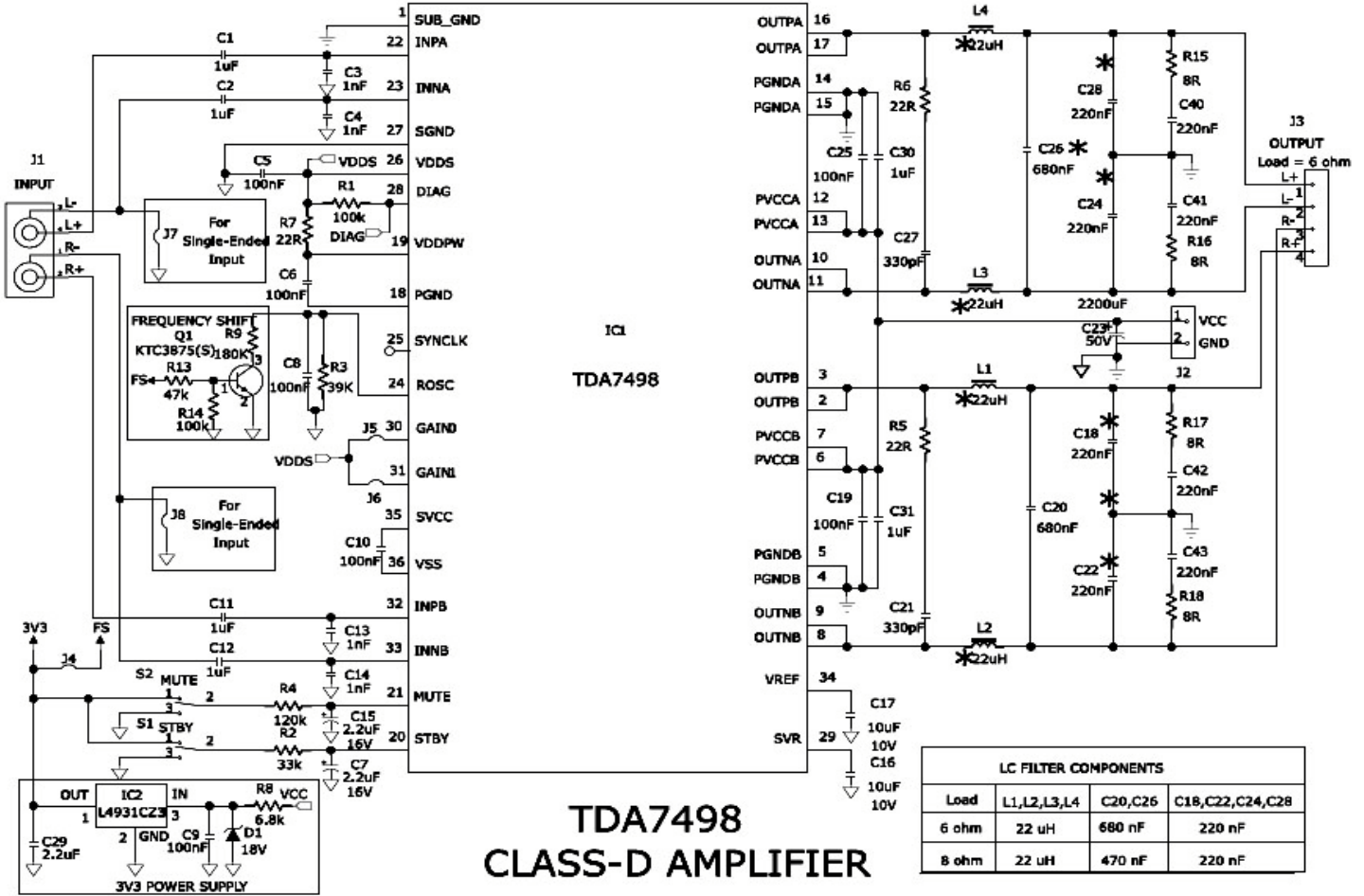
Con una potencia de 170w y una eficiencia mayor al 85% (en 125w), requiere una tensión de alimentación de +/-20v.

La frecuencia de su oscilador se puede ajustar entre 50khz y 200khz.

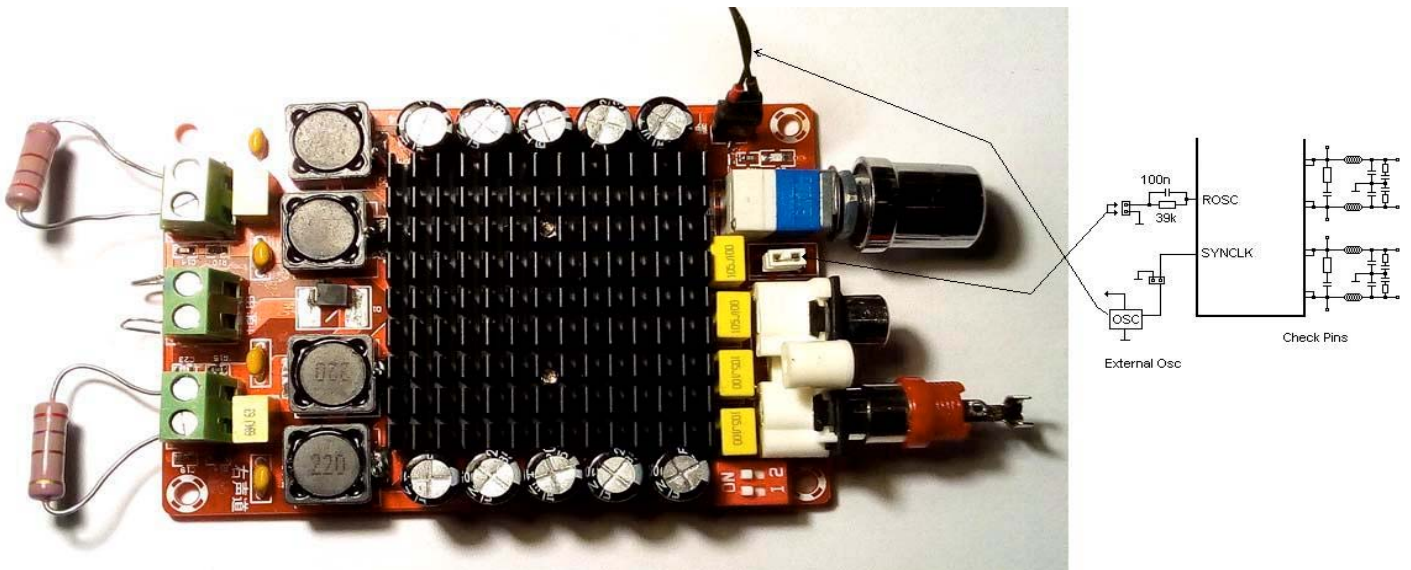


Este amplificador Mono de 170w me parece atractivo desde el punto de vista que las etapas de potencia están separadas del controlador, por lo que se pueden sustituir por otras etapas diferentes si queremos alcanzar mayor potencia.

El TDA7498 es uno de mis amplificadores clase D preferidos, con una alimentación simple de 14 a 32 vcc, proporciona dos etapas amplificadoras (estéreo) de hasta 100w por canal. Con una distorsión armónica inferior al 0,05% (en 1w de potencia) tiene una respuesta a frecuencias de 18Hz a 100kHz (aunque yo pude sacarle hasta 150kHz).



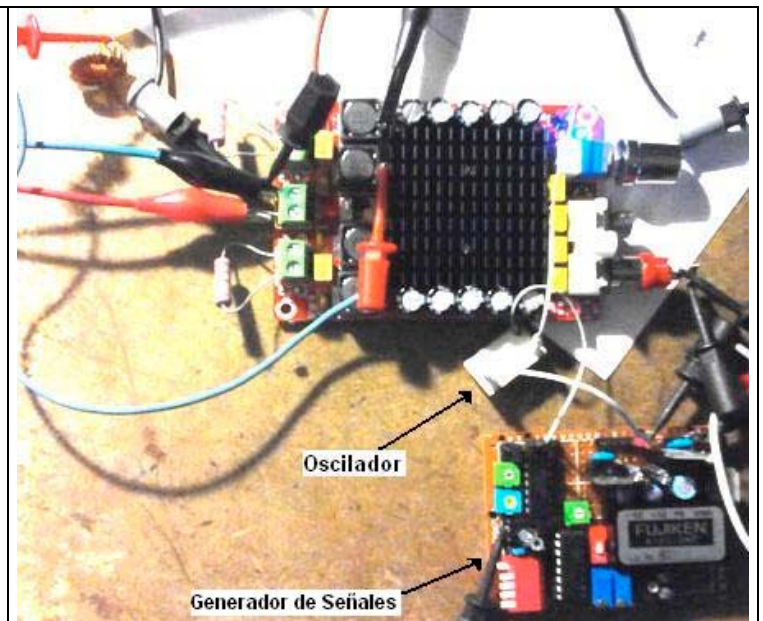
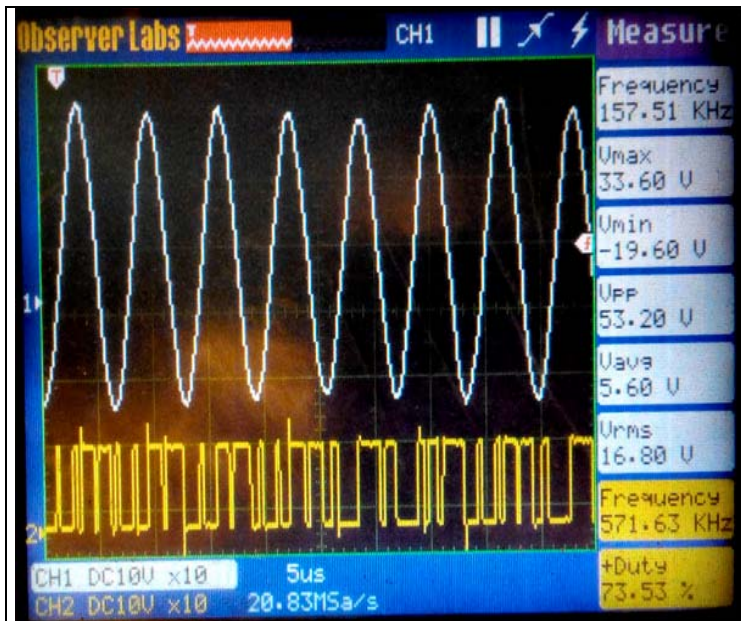
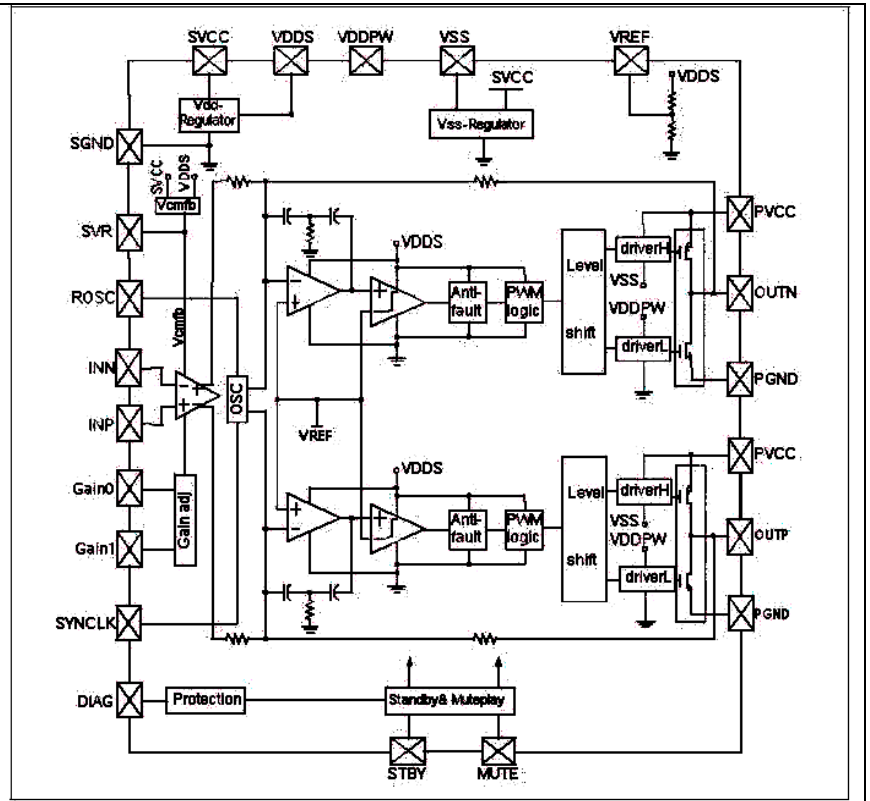
TDA7498 CLASS-D AMPLIFIER



En la imagen el esquema general del amplificador y el circuito donde he realizado dos pequeñas modificaciones.

Como vemos en el diagrama interno, el amplificador tiene un circuito oscilador interno cuya frecuencia depende del valor de la resistencia conectada al pin ROSC cuyo valor ha de ser menor a 60k. Desconectando la resistencia y el condensador de esta patilla, nos permite usar la patilla SYNCLK como entrada de oscilador externo y poder someter este amplificador a frecuencias mayores. También he puesto 4 pines para testar las salidas de potencia (PWM) antes del filtro.

En la imagen podemos ver el diagrama interno de uno de los dos canales que tiene el circuito.

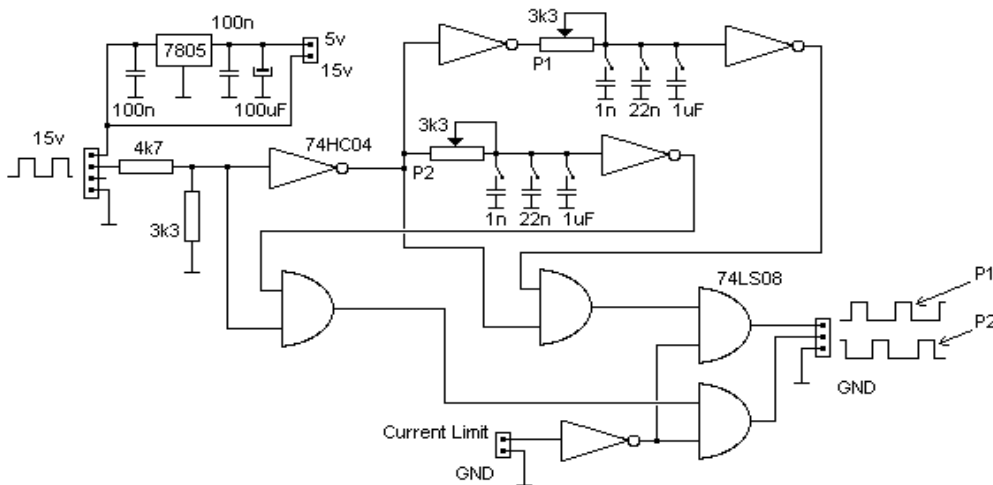


En la imagen una prueba con oscilador externo de 1Mhz tenemos un PWM a 500Khz e introducimos una señal senoidal de 157 Khz.

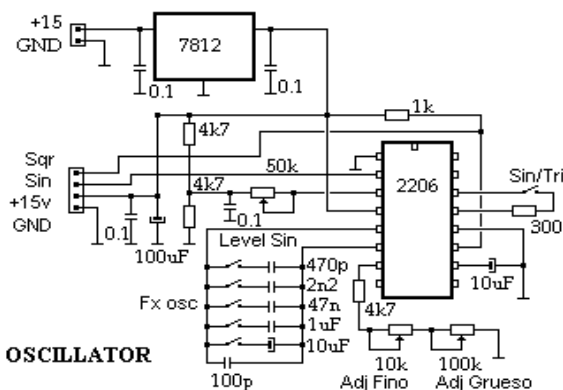
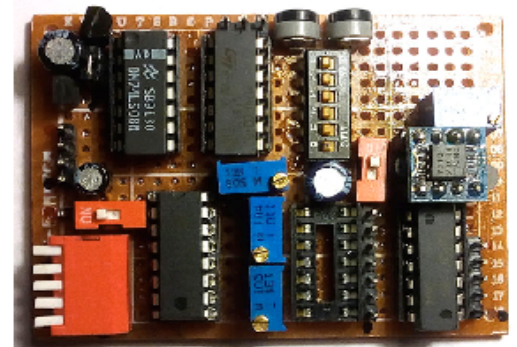
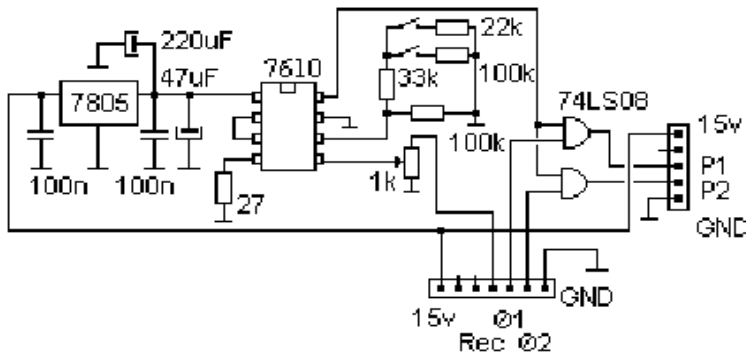
Un pequeño estudio funcional de un amplificador tipo D

A continuación presentaré dos tarjetas de circuitos a tipo de prototipos que permitirán un estudio más profundo de los alcances de estos amplificadores.

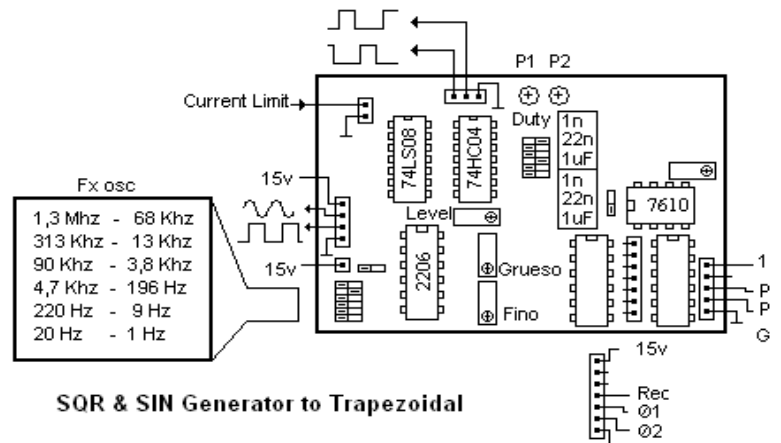
La primera tarjeta consta de un oscilador local de pruebas con capacidad de generar frecuencias (1Hz a 1,3MHz). Un circuito corrector de death time (tiempos muertos) a partir de una señal cuadrada (para estudio de un generador trapezoidal). Y un generador PWM a partir del integrado NJU7610 con varias frecuencias de reloj.



PWM (Clock 358Khz, 675Khz, 942Khz, 985Khz)

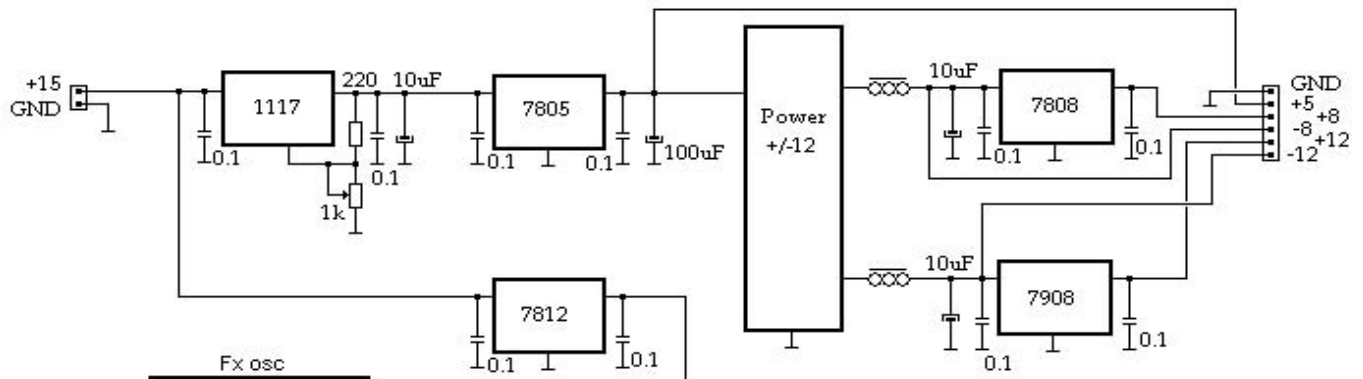


OSCILLATOR



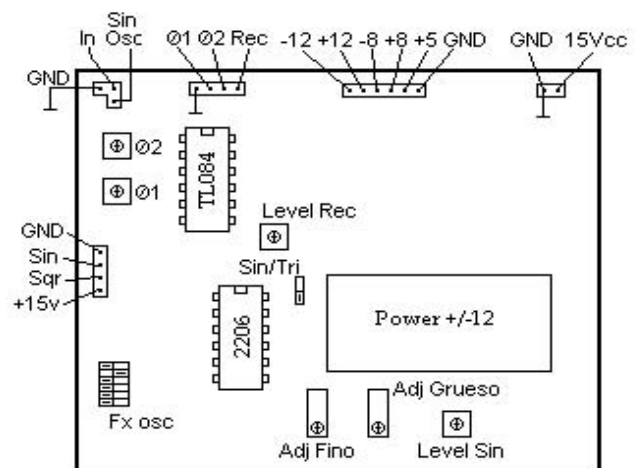
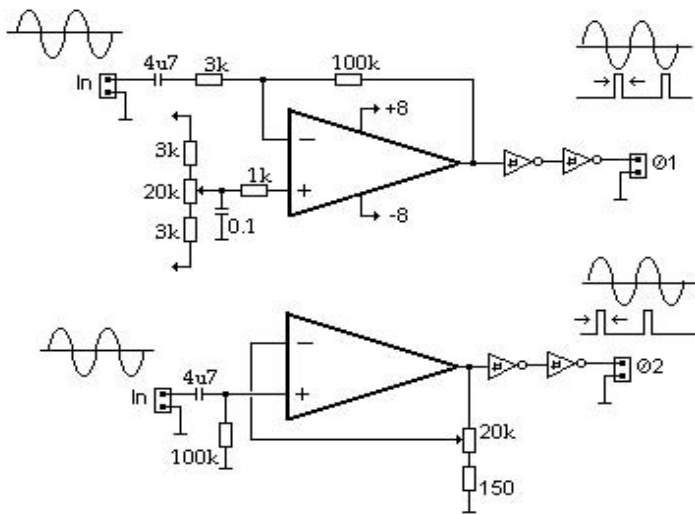
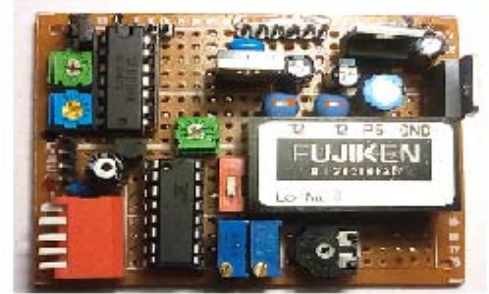
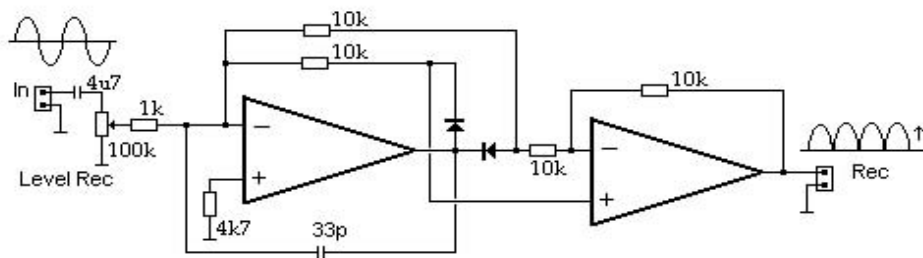
SQR & SIN Generator to Trapezoidal

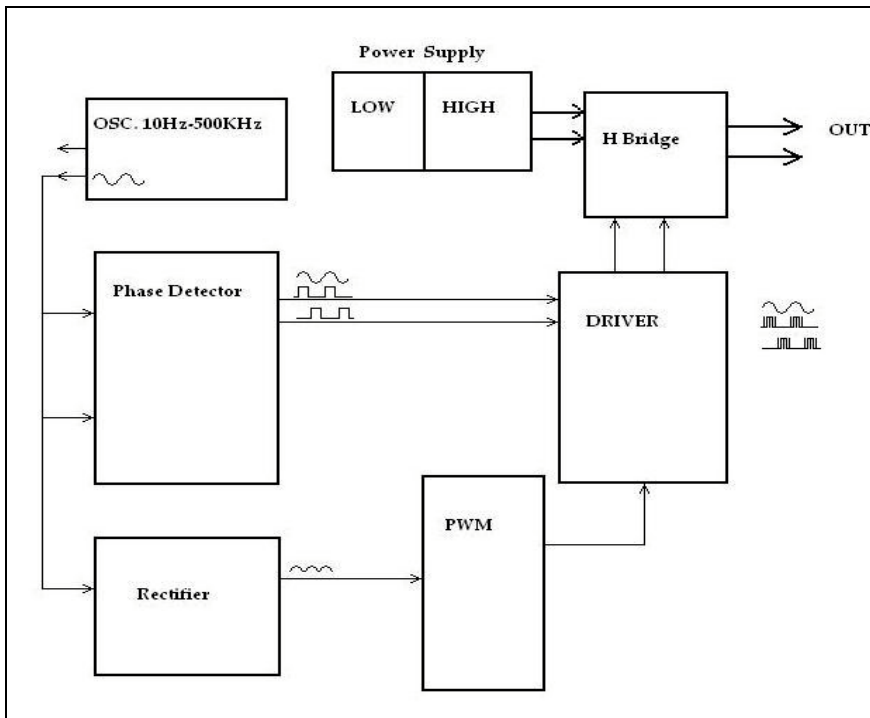
La segunda tarjeta contiene una fuente de alimentación estabilizada con diversas tensiones de salida. Un rectificador de señal de entrada de precisión. Y dos circuitos detectores de fase.



Fx osc

1,3 Mhz	-	68 KHz
313 KHz	-	13 KHz
90 KHz	-	3,8 KHz
4,7 KHz	-	196 Hz
220 Hz	-	9 Hz
20 Hz	-	1 Hz



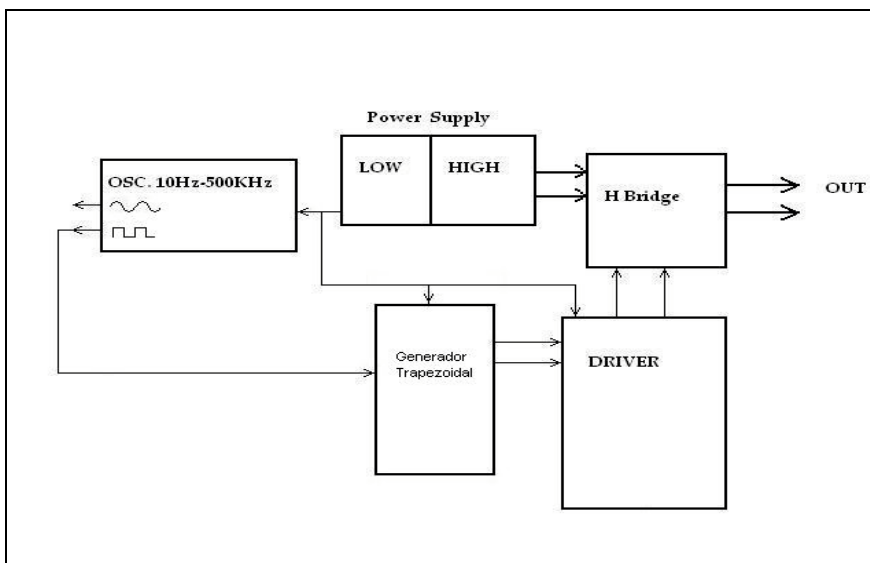


Nuestro diagrama consiste en un oscilador local que proporciona una señal senoidal, esta señal pasara por un detector de fase y por un rectificador.

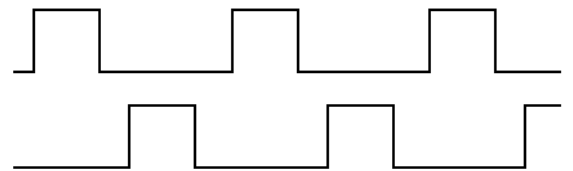
La señal rectificada se modula con un generador PWM y junto con las fases pasara al Driver y por ultimo a la etapa de potencia.

Es un poco enredoso pero nos permite ver lo que pasa con la señal con diversos valores para su frecuencia y para la frecuencia de funcionamiento del generador PWM.

También es interesante el desarrollo de circuitos con señales tipo trapezoidal. Para casos de generadores resonantes o convertidores de tensión.

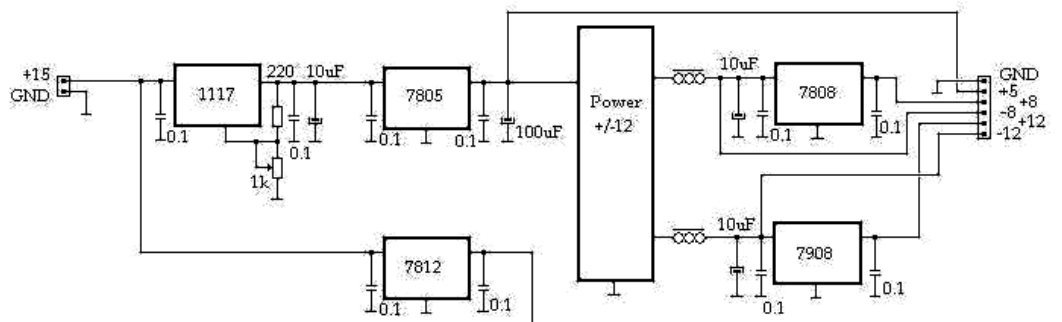


Otro estudio que nos permite es el de un generador de señal tipo trapezoidal.



Esta señal no es PWM pero permite comprobar la velocidad máxima de conmutación de las etapas de potencia.

Desde una entrada de tensión simple de 15vcc generamos diversas tensiones positivas y negativas para alimentar el circuito.



Fx osc

1,3 Mhz - 68 Khz
313 Khz - 13 Khz
90 Khz - 3,8 Khz
4,7 Khz - 196 Hz
220 Hz - 9 Hz
20 Hz - 1 Hz

El circuito oscilador esta basado en el circuito integrado XR2206 que nos permite generar frecuencias desde 1Hz hasta 1MHz. Con gran estabilidad de frecuencia. 6 switches y dos potenciómetros permiten el ajuste de frecuencia. Tiene una salida Senoidal /triangular y otra Cuadrada.

El circuito rectificador de onda esta basado en dos operacionales tipo TL084. Esta alimentado por los +/-8vcc. Este circuito recoge los niveles positivos y negativos de la onda de entrada.

Este circuito nos permite recoger las fases tanto positivas como negativas de la señal de entrada.

Los potenciómetros permiten el ajuste del tiempo de fase.

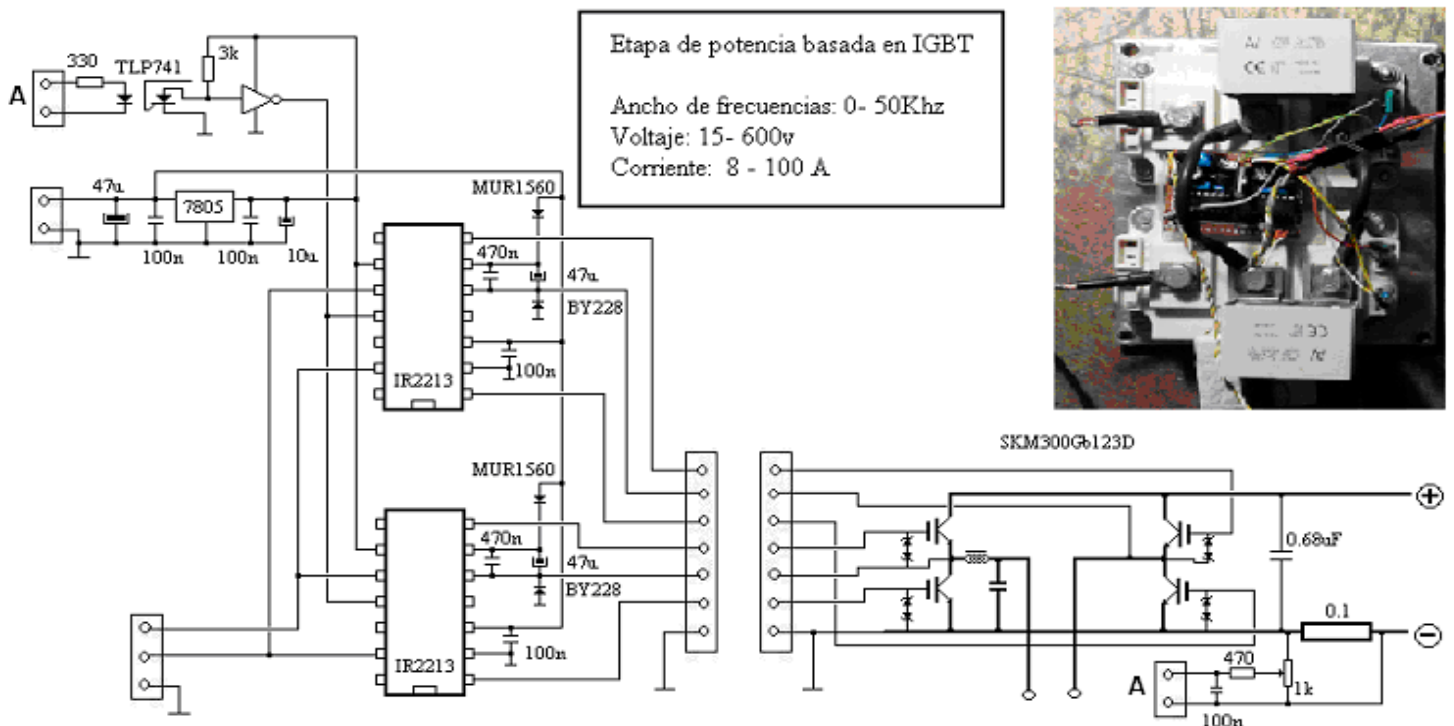
El circuito consta de dos operacionales tipo TL084 y cuatro inversores Schmitt Trigger que proporcionan una salida tipo TTL.

El circuito generador PWM esta basado en el circuito integrado NJU7610 que contiene un oscilador interno que permite frecuencias de hasta 1Mhz.

Dos switches ajustan la frecuencia del oscilador interno a frecuencias aprox. 360, 670 y 980Khz. Posee un ajuste de nivel para la entrada de la señal rectificada.

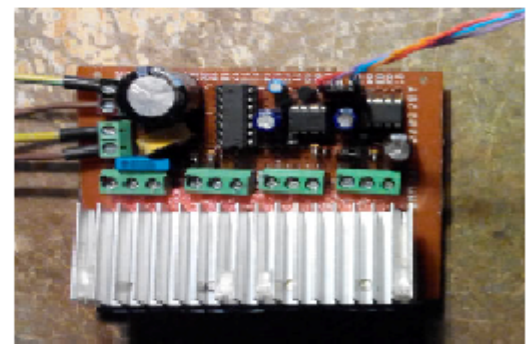
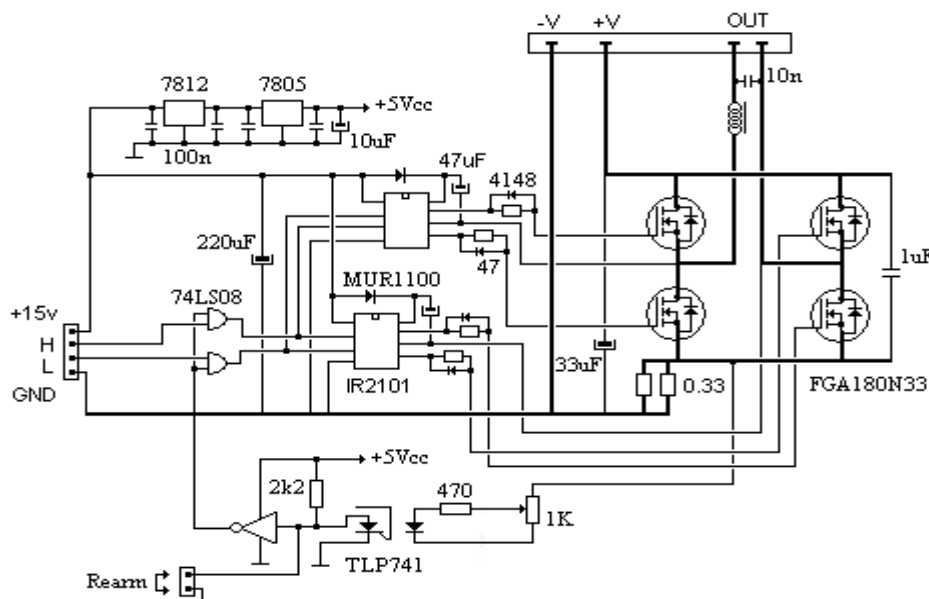
PWM (Clock 358Khz, 675Khz, 942Khz, 985Khz)

Las etapas de potencia están constituidas por transistores tipo HEXFET o por IGBT puesto en modo de puente H.



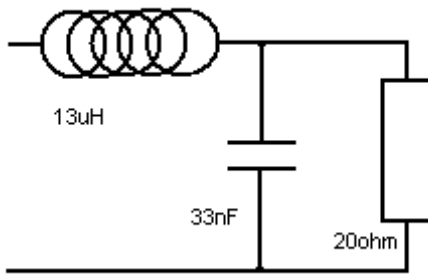
La etapa de potencia basada en IGBT soporta una alta corriente (hasta 100A) y alto voltaje (600v). El driver consiste en dos drivers tipo IR2213.

Una resistencia de 0.1ohm es la referencia para un sistema de bloqueo por exceso de corriente (A) que consiste en el optoacoplador de tiristor tipo TLP741, un potenciómetro de 1k permite poner la corriente máxima al circuito. En caso de un exceso de esta corriente el circuito se bloquea hasta su apagado general.



Etapa de Potencia IGBT / MOS
 Ancho de Banda: 10hz - 300khz
 Corriente: 3A - 30A
 Voltaje: 15 - 150v

La etapa de potencia basada en transistores tipo HEXFET (de menor potencia pero más velocidad de conmutación). Tiene dos drivers tipo IR2101 y un ajuste de bloqueo por exceso de corriente.



El circuito de carga se compone de una bobina de 13uH un condensador de 33nF y una resistencia de 20ohm. Aunque este circuito tiene una frecuencia de corte muy elevada unos 250kHz, es suficiente para ver el comportamiento de las etapas de potencia.



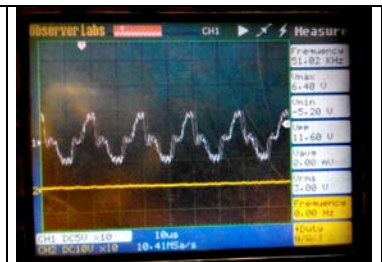
10Khz, clock 300khz



10khz, clock 600khz



50khz, clock 300khz



50khz, clock 600khz

Estas pruebas están realizadas sobre la etapa de potencia MOS, con una señal de 10khz vemos la respuesta del filtro, mas atenuada la señal PWM cuando el clock del generador PWM esta a 600khz. A 50Khz de señal observamos el mismo resultado.

La etapa de potencia IGBT se porta bien con una frecuencia de 10khz y un clock PWM de 300khz. Cuando subimos la frecuencia de clock, la señal comienza a distorsionarse y perder corriente.

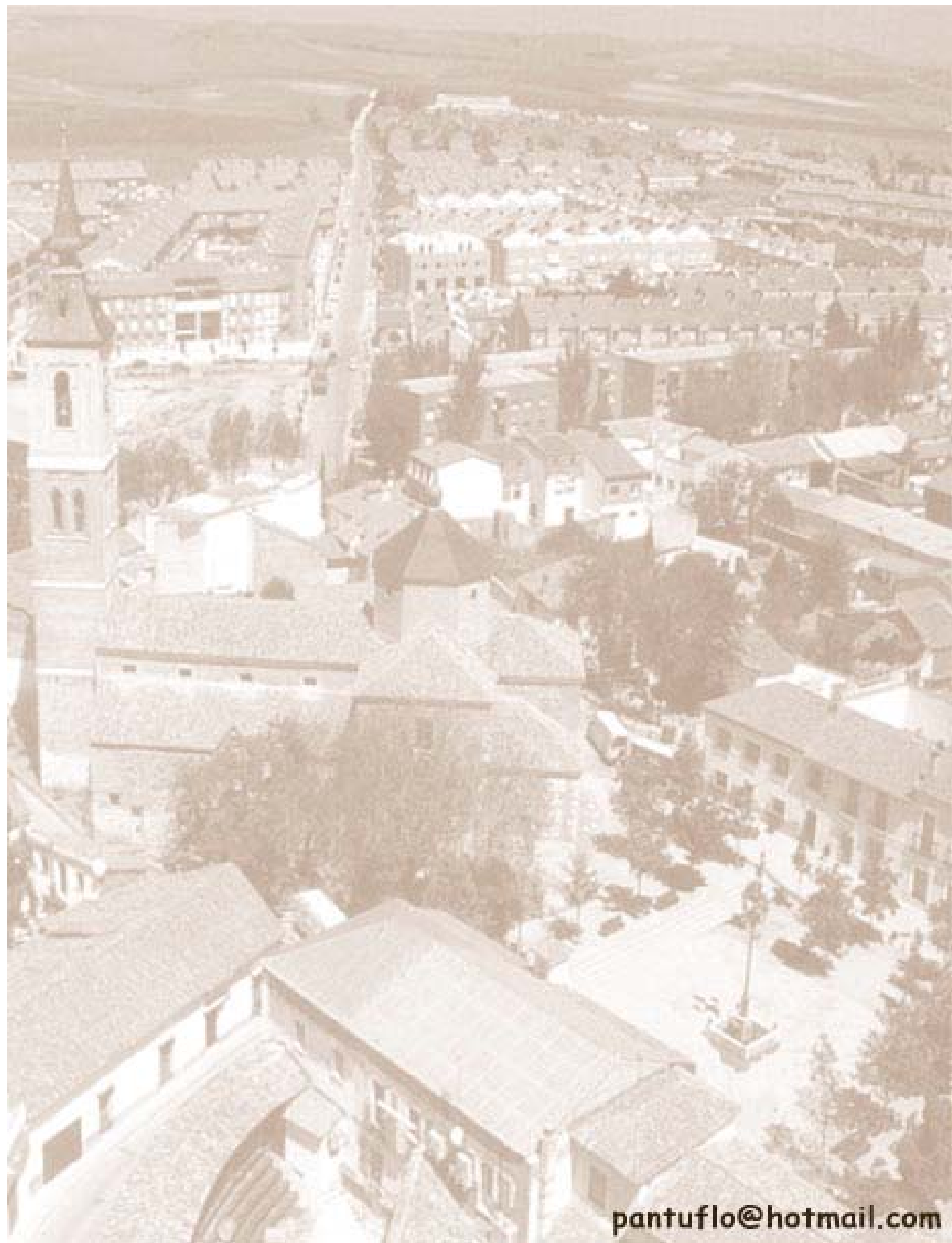


10khz, clock 300khz



10khz, clock 600khz

La etapa de potencia IGBT puede funcionar bien con señales tipo trapezoidales (de hasta 50khz) o con PWM con frecuencias inferiores a 50khz, con lo que la frecuencia de señal la reducimos hasta unos 6khz.



pantuflo@hotmail.com