

TEMA 10 AMPLIFICADORES DE POTENCIA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UN AMPLIFICADOR

- ❖ Impedancia de entrada
- ❖ Impedancia de salida
- ❖ Potencia máxima
- ❖ Potencia continua.
- ❖ Potencia musical
- ❖ Potencia DIN
- ❖ Respuesta en frecuencias
- ❖ Relación señal/ruido
- ❖ Sensibilidad de entrada
- ❖ Distorsión armónica
- ❖ Distorsión de intermodulación
- ❖ Factor de amortiguamiento
- ❖ Tiempo de subida
- ❖ Slew rate

IMPEDANCIA DE ENTRADA.

En general debe ser alta. Para la mayoría de equipos suele ser mayor de 50k o incluso de 100kΩ.

IMPEDANCIA DE SALIDA

Debe ser la misma que tengan los altavoces conectados al equipo. Suele ser de 8 ó 4Ω. Es importante tener en cuenta que la impedancia de los altavoces conectados, va a influir directamente en la potencia entregada por el amplificador, ya que : $Pot = V^2/R$,

Vemos que una variación del doble en la impedancia del altavoz, se traduce en una reducción a la mitad de la potencia entregada (y viceversa). Si ocurre al contrario, es decir, se reduce la impedancia del altavoz, se corre el peligro de sobrecargar a la etapa, lo que puede ocasionarle daños. En instalaciones de megafonía, donde se utilizan cables muy largos, se usan impedancias de salida mayores (de hasta 2000Ω). En estos casos, los altavoces (que siempre son de baja impedancia), deben llevar incorporado un transformador.

POTENCIA MÁXIMA

Se toman varias medidas de la potencia:

POTENCIA CONTINUA.

También se conoce como RMS o potencia eficaz. Es la forma más precisa de especificar la potencia de un amplificador. Además debe indicarse sobre que carga, con qué índice de distorsión y para qué rango de frecuencias. Suele ser la más baja de todas las que aparecen

POTENCIA MUSICAL.

Como la música no es continua (presenta muchas variaciones de nivel), se toma esta medida, en la que se nos indica como trabaja el amplificador con señales de corta duración.

En general este parámetro es bastante mayor que la potencia RMS (entre 1.5 y hasta 4 veces).

POTENCIA DIN.

Es la medida homologada por el instituto alemán de normativa. Potencia continua, sobre una carga de 8Ω , y para una señal de 1kHz.

RESPUESTA EN FRECUENCIAS.

Nos indica la variación de la ganancia para diferentes frecuencias. Debe indicarse la pérdida en dB, a que se toma la medida ($30-12.000\text{Hz} \pm 1.5\text{dB}$)

RELACIÓN SEÑAL/RUIDO.

Nos dice la diferencia entre la señal más fuerte y el nivel de ruido. Debe ser mayor de 80dB.

SENSIBILIDAD DE ENTRADA.

Nos indica el nivel que hay que poner en la entrada para obtener la potencia máxima. Las etapas de potencia, suelen necesitar un señal de 1V, mientras que los sintonizadores, CDs y otros, suelen proporcionar un nivel de 200mV. Será necesario, por lo tanto, intercalar un preamplificador.

DISTORSIÓN ARMÓNICA (THD).

Nos dice la cantidad de armónicos introducidos por el amplificador. Esto se debe a que los transistores (sus curvas) no son del todo lineales. Se indica en %, como la relación entre los armónicos a la salida, con respecto a la entrada. Según la norma DIN 45500(HIFI), este valor debe ser inferior al 1%(son típicos valores del 0.1%). Por supuesto, debe indicarse junto con un rango de frecuencias y a un nivel de potencia.

DISTORSIÓN DE INTERMODULACIÓN.

La intermodulación consiste en la aparición de frecuencias nuevas a la salida que son sumas y diferencias de las señales de entrada. Para medirla, se introducen al amplificador 2 frecuencias (p. Ejemplo 250Hz y 8kHz), y se mide el porcentaje al que aparecen frecuencias suma y diferencia (también se debe a la falta de linealidad de los transistores.

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO.

Se define como el cociente entre la impedancia del altavoz y la de salida del amplificador. Este valor nos dará una idea de la capacidad del amplificador de amortiguar la resonancia de las pantallas, es decir, de amortiguar los movimientos indeseados del cono del altavoz. Como mínimo debe valer 3 y son frecuentes valores de hasta 40.

TIEMPO DE SUBIDA.

Será el tiempo que tarda en responder la etapa, ante una señal con una subida muy rápida (p.eje. una señal cuadrada).

Para medirlo, se toma el tiempo que tarda el amplificador de pasar de un nivel de un 10% a otro del 90%, mejor cuanto más rápido.

SLEW RATE.

A diferencia del parámetro anterior, aquí se hace una referencia a la amplitud de la señal. Se mide en $V/\mu s$ (p. Ejemplo: $2 V/\mu s$).

AMPLIFICACIÓN

Una etapa de potencia presentará una entrada para una señal de unos 500mV y una salida para conectar un altavoz y suministrar sobre él la potencia requerida.

Según el ciclo de trabajo de los transistores o elementos activos, distinguimos 4 tipos de configuraciones de amplificador:

- **Clase A** : El transistor trabaja durante los 360° (todo el tiempo)
- **Clase B y clase AB** : El transistor trabaja durante sólo 180° (la mitad del tiempo)
- **Clase C**: EL transistor trabaja menos de 180° (menos de la mitad).
- **Clase D**: El transistor trabaja en conmutación(sólo corte o saturación).

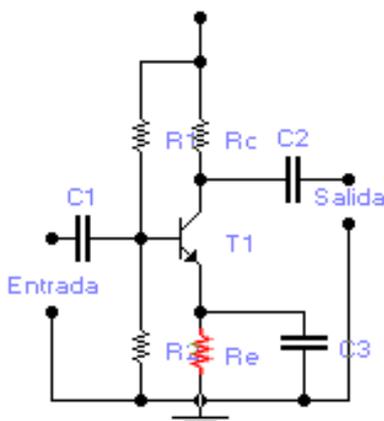
Por tanto, la elección de una configuración u otra va a repercutir, mayoritariamente en el rendimiento. La clase A, tendrá el más bajo y la clase D el más alto(recuerde que un transistor trabajando en conmutación, en teoría, no debe calentarse, pues $P=I^2 \cdot R$, y en saturación $R=0$ y en corte $I=0$, por lo tanto, potencia=0).

LA CLASE A

La clase A se define cuando el transistor tiene su punto de trabajo centrado en su recta de carga. Esto se traduce en que en reposo, es decir, sin señal de entrada, tendremos una disipación en el componente de valor $I_{cq} \cdot V_{ceq}$ (coordenadas del punto de trabajo). Además, paradójicamente, cuanto mayor sea la potencia entregada a la carga, menor será la potencia disipada por el componente (imagina un coche que gaste más gasolina al ralentí que a la máxima velocidad que pueda alcanzar).

Por este motivo, la clase A sólo se emplea para potencias bajas (del orden de los milivatios). Como ventaja, presenta muy baja distorsión y una gran linealidad.

En el ejemplo, tenemos:



- **R1 y R2**: Son las resistencias encargadas de fijar el punto de funcionamiento del transistor. Su valor debe ser lo más alto posible. Normalmente fijaremos R1 a un valor tal que sea capaz de suministrar la corriente que requiere I_b (cuanto más alto sea, mayor será la impedancia de entrada).
- **Rc**: Resistencia de colector. Su valor debe ser parecido al de R_e . Es importante para fijar el punto de trabajo (Q).
- **Re**: Resistencia de emisor. Valor crítico para fijar el punto de trabajo, ya que I_{cq} será igual a V_e/R_e .
- **C1**: Condensador de paso. Permite el paso de las señales de corriente alterna (audio), pero bloquea la continua (niveles de polarización).
- **C2**: Condensador de paso. Al igual que C1, bloquea la continua del colector.

- **C3:** Condensador de acoplamiento: Conecta el emisor a tierra para las señales de corriente alterna (audio), pero no las de continua (polarización).

En este tipo de amplificadores el rendimiento máximo en %, no llega a superar el 25%, y típicamente es del 15% (cociente entre potencia eléctrica consumida y potencia eléctrica entregada en la carga).

Debido a su bajo rendimiento, en audio, este tipo de amplificadores, sólo se emplean con señales pequeñas

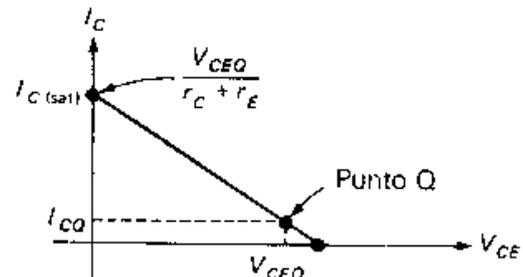
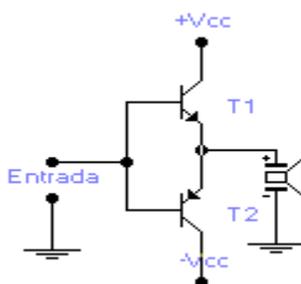
LA CLASE B Y AB

Esta es la configuración preferida por la mayor parte de amplificadores de potencia en audio. El motivo es su rendimiento aceptable, su precio reducido, su fiabilidad, sus prestaciones ...

En clase B, los transistores conducen sólo 180° de la señal de entrada, es decir la mitad del tiempo. Para poder recuperar la señal amplificada sin distorsión, será necesario utilizar dos transistores, uno para cada mitad de la señal.

De esta manera, evitamos el problema del alto consumo de reposo que presentaba la clase A, y sólo se consumirá corriente, cuando haya que entregar potencia en la carga.

En la figura, podemos observar una configuración típica de clase B.



Durante los semiciclos positivos, el transistor T1 se polarizará correctamente y amplificará. Durante los semiciclos negativos, será T2 el encargado de amplificar la señal. En ausencia de señal, no trabajará ninguno de los dos.

Esto se traduce en que el punto de trabajo (Q) de los transistores, no se sitúa en el centro de la recta de carga, sino en el extremo del corte (como puede observarse en la figura).

Ni que decir tiene, que los transistores deben ser muy parecidos en todas sus características, aunque uno del tipo NPN y otro del tipo PNP. Eso se conoce como par complementario.

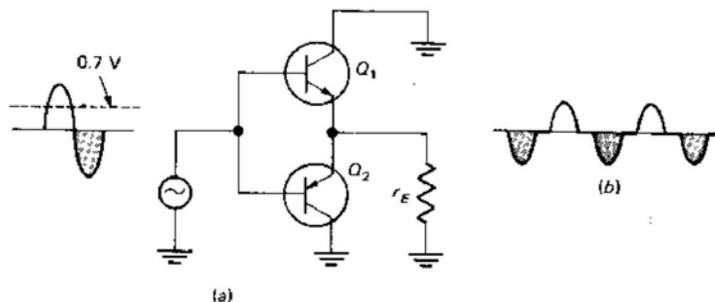
RENDIMIENTO

El rendimiento máximo teórico es del 78.5%. En la práctica se sitúa en torno al 55% (esto quiere decir que la potencia consumida de la fuente, se entrega al altavoz un poco más de la mitad. El resto se pierde, en forma de calor en los transistores.

No obstante, la clase B pura, presenta un gran inconveniente, que se conoce como distorsión de cruce.

DISTORSIÓN DE CRUCE

Aparece en los amplificadores clase B, ya que los transistores que deberían comenzar a conducir, a partir de 0 voltios, lo hacen a partir de 0.7 aprox., esto se traduce en una señal de salida similar a la de la figura:



Lo cual no es admisible.

Para solucionarlo, se polariza levemente el transistor, y así se salvan estos 0.7 voltios.

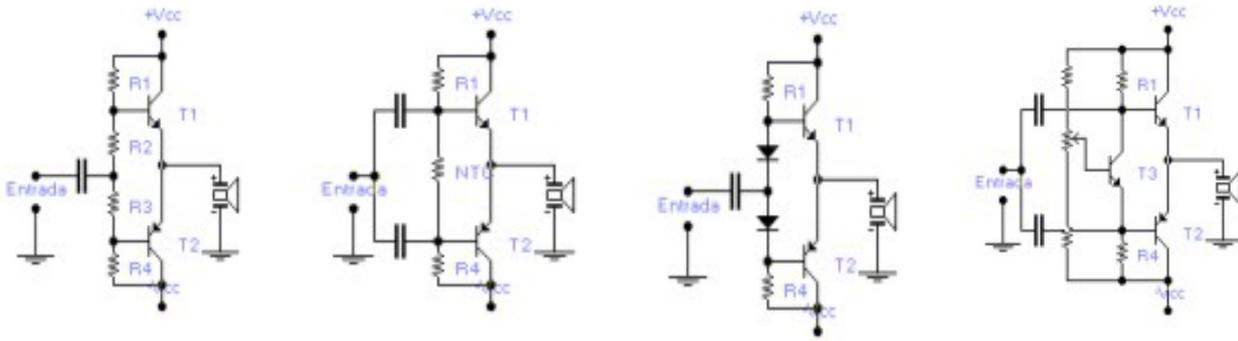
Para solucionarlo, se polariza levemente el transistor, y así se salvan estos 0.7 voltios.

AMPLIFICADORES CLASE AB

Reciben este nombre las configuraciones clase B levemente polarizadas. El ciclo de trabajo de los transistores, será superior a los 180° (sólo un poco).

Tipos de polarización:

- ❖ Por resistencias. Mediante un divisor de tensión con resistencias, se fijan las tensiones en las bases de T1 y T2. Presenta el inconveniente que que no estabiliza térmicamente.
- ❖ Por resistencia NTC. Una resistencia de coeficiente térmico negativo, permite una autoajuste cuando los transistores se calientan. La resistencia debe estar en contacto con el radiador.
- ❖ Por diodos. Se emplean varios diodos para conseguir los 0.7v que necesita cada transistor. Los diodos se seleccionan para que tengan un coeficiente térmico similar al de los transistores.
- ❖ Con estabilizador transistorizado. Se emplea un transistor como regulador de tensión para ajustar el nivel más adecuado. Si se coloca el transistor cerca del disipador, también el sistema podrá ser compensado térmicamente.



Polaz. Resistencias

Polarz. NTC

Polarz. Diodos

Polarz. Transistor

ACOPLAMIENTO DIRECTO Y ACOPLAMIENTO POR CONDENSADOR.

En las etapas que hemos visto hasta ahora, hemos empleado acoplamiento directo, esto quiere decir, que el altavoz se conecta directamente a los transistores. Esto es bueno porque mejora la respuesta en bajas frecuencias, y los tiempos de subida y de bajada. Además nos ahorramos un condensador de alta capacidad. Como inconvenientes, requiere fuente de alimentación simétrica, y los altavoces no están protegidos, ya que ante la destrucción de un transistor final, se produciría una corriente continua a través de la bobina del altavoz, que produciría su destrucción inmediata. En condiciones de reposo, la corriente por el altavoz será 0, ya que entre los emisores se crea una tierra virtual.

Las etapas vistas, se podrían haber configurado con condensador de la forma: **Fg.A**

Donde para C3 se tomaría un valor alto, del orden de los 4.000µF, y para Vcc un valor doble al de tensión simétrica. De esta manera entre los emisores, tendremos un potencial mitad de la alimentación, por lo que si no pusiéramos el condensador, la continua destruiría el altavoz.

OTRAS CONFIGURACIONES DE LOS TRANSISTORES DE SALIDA

Existen algunas variantes de la etapa de salida. Entre ellas:

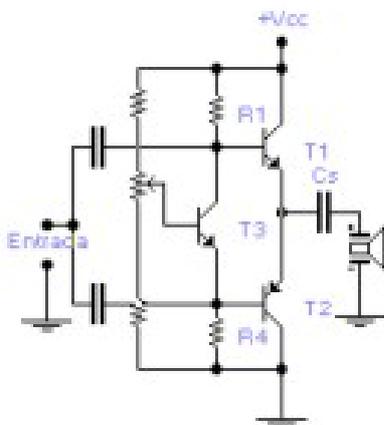


Fig. A

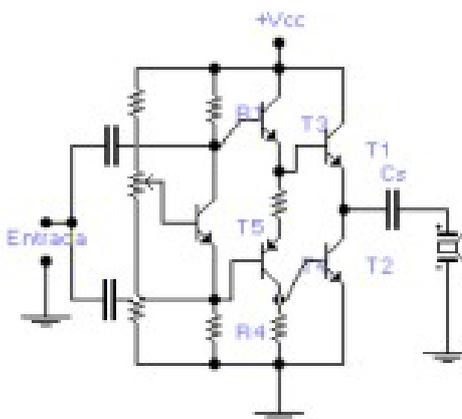


Fig. B

Simetría casicomplementaria:

Utiliza dos transistores NPN (son los más empleados), en lugar de un par complementario. La configuración es la de la **Fg B**:

Observamos que T1 y T2 constituyen la pareja amplificadora de potencia (paso final), mientras que T3 y T4 realizan la inversión de fase con (T5), para que T1 trabaje con el semiciclo positivo y T2 con el negativo.

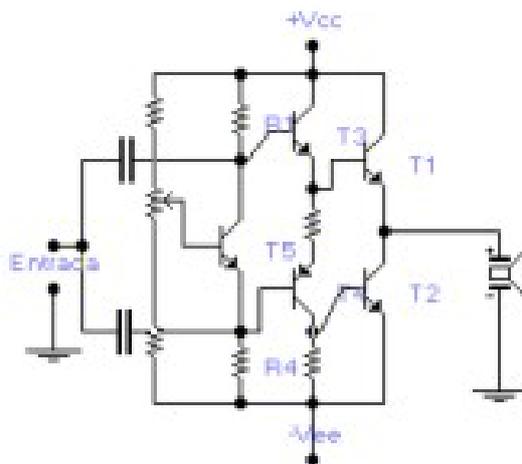
También se podría haber tomado el acoplamiento directo. **Fg. C**

- Etapa con salida con transformador.

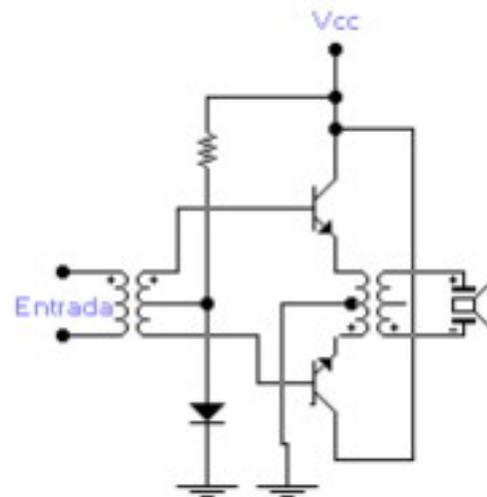
Adopta una configuración como en la **Fg. D**:

El diodo tiene como función fijar la tensión de base a 0.7v (para eliminar la distorsión de cruce). El primer transformador, efectúa una inversión de fase de la señal de entrada, con lo que ya no será necesario utilizar transistor PNP y NPN (los dos son NPN). El segundo transformador, se encarga de realizar la suma de las señales de los dos transistores.

Esta configuración, ha sido empleada en equipos alimentados a pilas, pero no para altas potencias, debido a lo incómodo que resulta trabajar con transformadores (son grandes, voluminosos, caros..).



Fg. C

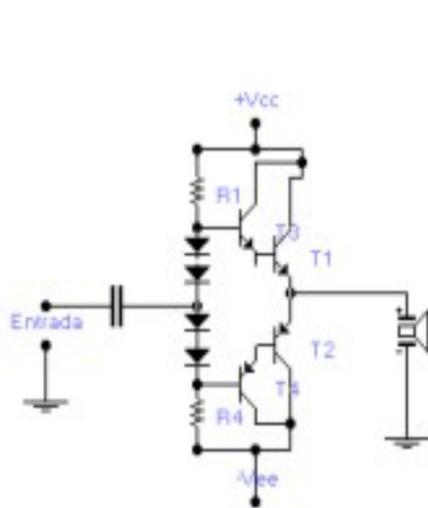


Fg. D

- Etapa de salida con pares Darlington.

Su filosofía es la normal, pero con pares darlington, lo que acarrea algunas modificaciones. **Fg E**.

Los transistores T1,T3 y T2,T4 constituyen los pares darlington y vendrán encapsulados juntos. Habrá que variar el circuito de polarización para obtener 2.8v, en lugar de 1.4v.



Fg. E

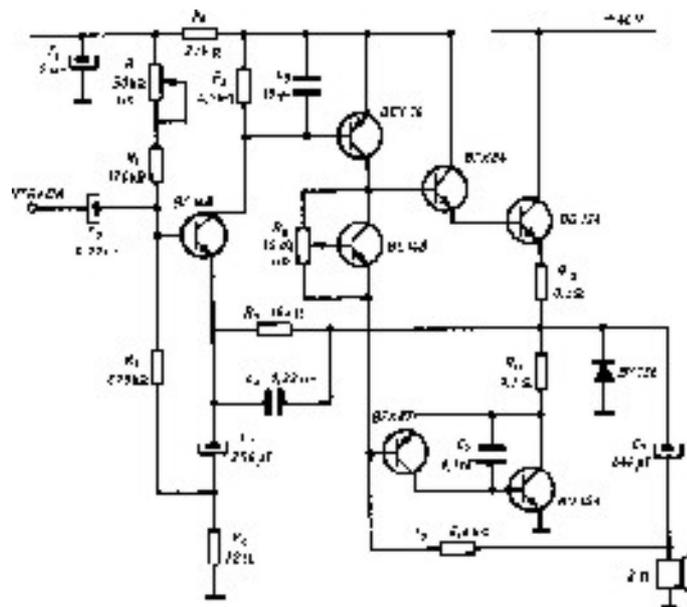


DIAGRAMA ETAPA DE POTENCIA

En la figura, puede verse el diagrama de una etapa de potencia de 15W. Emplea simetría casicomplementaria y acoplamiento con condensador. El primer transistor BC148, actúa como amplificador de tensión, para elevar el nivel de la señal de entrada. El BCY70, actúa como 2ª etapa amplificadora. El segundo transistor BC148, actúa como estabilizador de tensión para regular la corriente de reposo de los transistores de potencia BD124.

El diodo BY126, protege ante inversiones de tensión producidas por la bobina del altavoz.

La resistencia R1 regula la tensión del punto medio de R10 y R11(salida altavoz), que debe ser exactamente 1/2 de la tensión de alimentación.

La resistencia ajustable R6 regula la corriente de reposo de los transistores de potencia (típicamente 5mA).

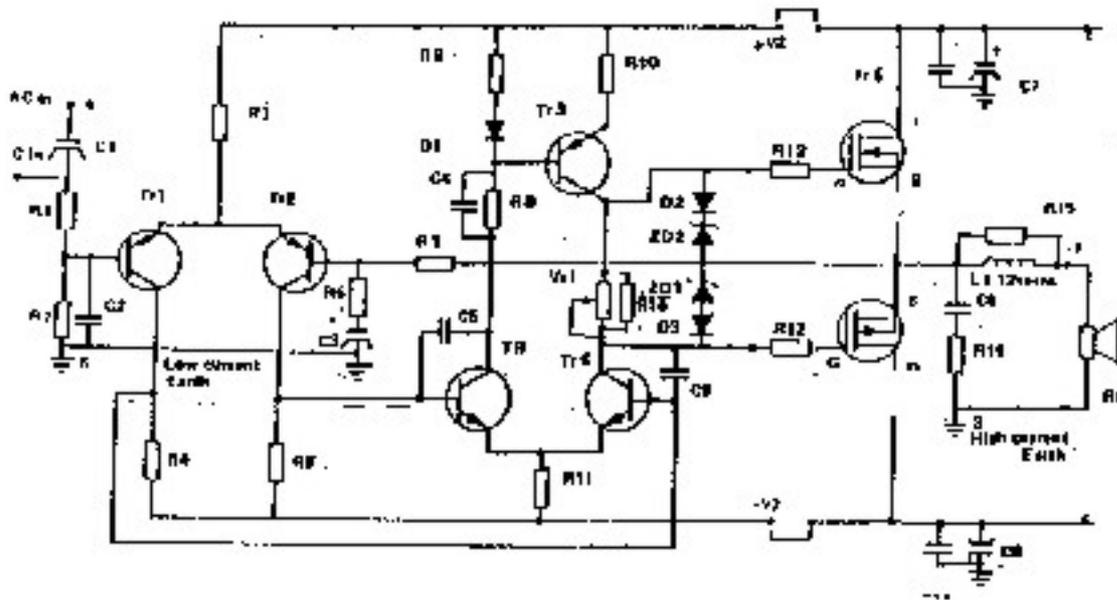
El condensador C5(10nF), ayuda a mantener la estabilidad del circuito en altas frecuencias, impidiendo que autooscile.

El condensador C4 junto con R7 forman la red de realimentación. La realimentación es muy importante, ya que mejora sustancialmente la respuesta en frecuencias, así como otros parámetros (impedancia de entrada, de salida, estabilidad...).

Realimentar consiste en reintroducir una parte de la señal de salida de nuevo en la entrada. La realimentación en este tipo de circuitos debe ser negativa, es decir, que la señal reintroducida debe estar en contrafase con respecto a la señal de entrada.

ETAPA CON TRANSISTORES DE SALIDA MOSFET

Hoy en día se construyen muchos amplificadores cuyo paso final está constituido con transistores Mosfet de potencia. Éstos presentan una buena respuesta en frecuencias, una buena velocidad de conmutación y unas características de distorsión muy bajas. Además, requieren niveles de excitación muy bajos, por lo que las etapas son muy compactas.



En la figura podemos observar el aspecto de una etapa de potencia con Mosfet. Tr1 y Tr2 forman un par diferencial que proporciona estabilidad al circuito (es una de las configuraciones de entrada preferidas en muchas etapas de potencia). Una entrada es la de la etapa y la otra contiene una red formada por R7, R6 y C2, que proporciona la realimentación negativa (procede de la propia salida de la etapa). Las salidas (colectores) atacan a un segundo amplificador diferencial formado por Tr4 y Tr5. La salida la tenemos en el colector de Tr5, ataca las puertas de los Mosfet. El transistor Tr3 actúa como fuente de corriente, para estabilizar la tensión de polarización de los Mosfet.

Los diodos D2, D3, ZD1 y ZD2, son de protección, contra tipos transitorios en la salida.

La red resistiva, capacitiva que rodea al altavoz, protege al paso final de los picos inversos que puede proporcionar el altavoz.

AMPLIFICADORES DE CLASE C

Presentan una distorsión muy elevada. Para reducirla se emplean circuitos sintonizados LC. Por este motivo su uso está restringido a aplicaciones que trabajan a frecuencias fijas, como son los transmisores de radiofrecuencia. Presentan un rendimiento alto.

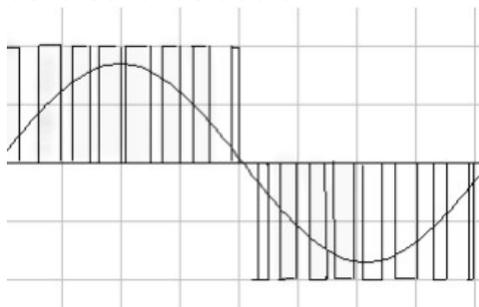
En audio, no se utilizan

AMPLIFICADORES DE CLASE D

La clase D se basa en transistores trabajando siempre en conmutación, es decir, en corte o saturación. El principio de funcionamiento se basa en una señal cuadrada de frecuencia fija (de unos 100kHz), con modulación por anchura de impulsos. Esto quiere decir que si la entrada tiene una gran amplitud, los impulsos estarán más tiempo a uno que a cero. Si la amplitud es pequeña, estarán más tiempo a cero que a uno. Lo que ocurre, es que la energía que necesita el altavoz, no llega con una señal de tensión variable, sino que lo hace con otra de nivel fijos, pero con un ciclo de trabajo que no es del 100% del tiempo, sino que está entrecortada. Para poder reconstruir la señal, será

necesario un filtro pasa bajos, que elimine las altas frecuencias introducidas en la modulación.

En la figura puede observarse, la variación de la anchura de los pulsos, en función de la señal de audio.



Modulacion

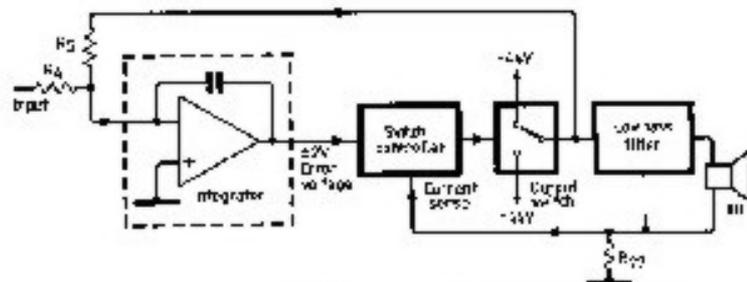
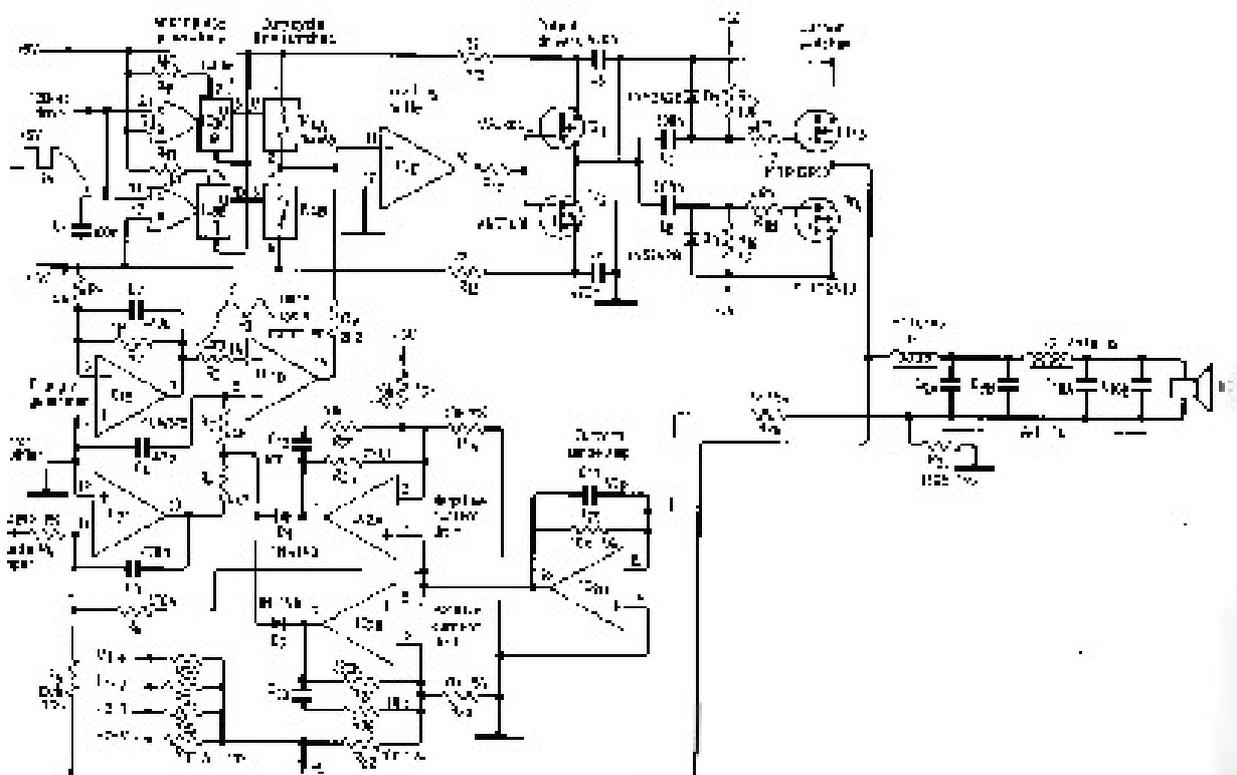


Diagrama de bloques de etapa en conmutación.

La primera parte es integrador, con una función similar a un filtro pasa Bajos. Esta señal se aplica al modulador del ciclo de trabajo de los transistores., que conmutan tensiones de 44v. Un filtro p. Bajos, se encarga de eliminar las frecuencias parásitas, y transformar el tren de impulsos en señal audible.

El la figura siguiente, vemos el esquema de una etapa de potencia funcionando de esta manera. Las características que entrega son las siguientes: Respuesta en frecuencias de 20 a 20kHz, 100db de relación s/r, una distorsión de intermodulación del 0.24%, y una potencia máxima de 72W, con un rendimiento del 92%(lo que se traduce en que los transistores de potencia apenas disparían calor).

A pesar de las ventajas que aporta, el uso de este tipo de etapas es poco frecuente.



AMPLIFICADORES INTEGRADOS

Entendemos por tales , las etapas de potencia que están constituidas por un circuito integrado. En general, la constitución de los mismos se asemeja a la de un amplificador operacional, pero con una salida más potente. La entrada suele ser diferencial, por lo que admitirá la red de realimentación. Existen amplificadores integrados para todas las gamas, y su uso cada vez está más extendido. Podemos encontrarlos en el interior de un “walkman”, o incluso dentro de una etapa de 200W. Aportan ventajas, sobre todo a la hora de los diseños, que son más sencillos, no necesitan ajustes, y sus prestaciones suelen ser buenas.

Además suelen incorporar todo tipo de protecciones contra sobrecargas de todo tipo, térmicas, cortocircuitos, etc.

Existen dos tipos de integrados:

- **Monolíticos:** Son aquellos en los que todos los componentes están integrados en el mismo sustrato. Recordemos que sólo se integran transistores, resistencias y pequeñas capacidades, no se integran condensadores ni bobinas, por lo que éstos tendrán que ser externos.
- **Híbridos:** Son una combinación de componentes integrados, con otros de tipo convencional ('smd'), que se encuentran todos juntos dentro de la misma cápsula. En general presentan un aspecto externo mucho más voluminoso que los monolíticos, pero a cambio, pueden incorporar hasta bobinas.

En etapas de audio , para potencias bajas, se emplean monolíticos. Para potencias altas, todos suelen ser híbridos.

