

NOTA 101

EVOLUCIÓN DE LOS CODIFICADORES DE ESTEREO

Breve reseña

Por el año 1950 ante la necesidad de poder transmitir en la banda de FM señales en estéreo, se propuso poner a consideración de la Federal Communications Commission (FCC) varios sistemas, finalmente en abril de 1961 la FCC aprobó formalmente el sistema presentado por las empresas GE y Zenith considerados teóricamente iguales como el método de radiodifusión FM estéreo estándar en los Estados Unidos y más tarde adoptado por la mayoría de los países.

Para que las señales de los canales de audio izquierdo y derecho de un programa puedan ser ingresadas a la etapa moduladora de un transmisor de FM deben ser convertidas en una señal de matriz codificada, a esta se la refiere comúnmente como una señal multiplexada o matriz MPX.

Esta señal estéreo codificada tiene que ser compatible con la señal mono ya existente, un ancho de banda de 53kHz, y estar formada por:

1. Una parte monoaural formada por los canales izquierdo y derecho (M)
2. Un tono piloto de 19kHz
3. Una parte estéreo, formada por una doble banda lateral, modulando en AM una portadora suprimida de 38kHz. (S).

La gráfica de dicho espectro se puede observar en:

[Espectro Banda Base Transmisión FM Estéreo.](#)

Para que los receptores existentes puedan recibir la información de ambos canales, estos se suman algebraicamente (L+R) transmitiéndose en banda base en el rango de 30Hz a 15kHz.

Para la recepción de estéreo se le sumará la señal diferencia (L-R) a la señal suma para recuperar el canal izquierdo, y se restará la señal diferencia de la señal suma para recuperar el canal derecho, ésta es modulada en amplitud sobre una subportadora de 38 kHz de doble banda lateral de portadora suprimida (DSB-SC) que ocupa las frecuencias desde 23kHz a 53 kHz.

Se transmitirá un tono piloto de 19kHz con una precisa paridad de fase con la subportadora suprimida de 38kHz para poder recuperar la señal estéreo en el receptor.

La información completa a transmitir está formulada en la siguiente ecuación, donde L y R corresponden a los canales, izquierdo y derecho, f_p al tono piloto de 19kHz y 75kHz es la desviación de la portadora del canal de FM para 100% de modulación.

$$\left[0.9 \left[\frac{L+R}{2} + \frac{L-R}{2} \sin 4\pi f_p t \right] + 0.1 \sin 2\pi f_p t \right] x 75kHz = L$$

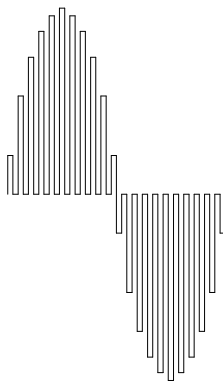
$$\left[0.9 \left[\frac{L+R}{2} - \frac{L-R}{2} \sin 4\pi f_p t \right] + 0.1 \sin 2\pi f_p t \right] x 75kHz = R$$

Para la generación de esta señal se aplicaron dos métodos:

El método de conmutación y el método de matriz

El método de conmutación

La generación de la señal estéreo codificada se efectúa mediante una llave electrónica, que a una frecuencia de 38kHz alternativamente conecta las entradas de las señales izquierda y derecha a la salida.



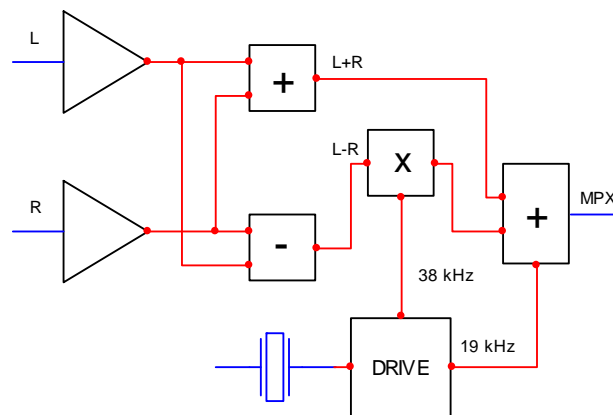
Este método tiene grandes ventajas, pero aún mayores desventajas, la ventaja de tener gran simplicidad en sus circuitos, la obtención de las señales M y S simultáneamente en una sola operación, la insensibilidad a los cambios de temperatura, y una separación de canales máxima, sin embargo la gran desventaja es que se producen innumerable cantidad de armónicas no deseadas.

Los codificadores estéreo que utilizan el método de conmutación, presentan a menudo una inadecuada supresión de frecuencias espurias por encima de 53kHz, mientras la separación de canales a frecuencias superiores de 5kHz disminuye a un nivel de 6dB por octava.

El método de matriz

Los problemas encontrados en el método de conmutación, todos ellos causados por la necesaria inclusión del filtro paso bajos, tales como la pobre supresión de señales por encima de 53kHz, y la disminución de la diafonía izquierda-derecha por encima de 5kHz, no se perciben en el método de matriz.

Los generadores de estéreo donde este método fue puesto en práctica por primera vez, contaban con una separación de canales superior a 46dB sobre todo el rango de frecuencia, de 30 Hz a 15kHz. En el método de matriz, las señales suma y diferencia se generan en forma separada, donde luego son añadidas como se muestra.



El sistema ofrece las siguientes ventajas: una excelente separación de canales izquierdo-derecho, siendo apenas dependiente de la frecuencia, un espectro limpio por encima de 53kHz, y una gran relación señal-ruido.

Las frecuencias generadas por el driver, tanto la de 38kHz como la de 19kHz, deben ser señales senoidales puras, con una distorsión mejor al 0.1%.

Ante la necesidad del uso de filtros, para mantener la paridad de fase no se puede evitar la inclusión de circuitos correctores, el uso de un multiplicador implicaba la instalación de ajustes en el mismo, estos ajustes tomaban su tiempo y variaban con el uso, en la actualidad con los modernos multiplicadores o moduladores balanceados algunos de esos problemas han sido resueltos.

Cabe destacar que en el presente, ciertos fabricantes han incluido para generar la sub portadora de 38kHz y el piloto de 19kHz osciladores de síntesis directa (DDS) controlados por un μ P, estos entregan señales senoidales muy puras y con una excelente paridad de fase, evitando así la inclusión de filtros y correctores de fase.

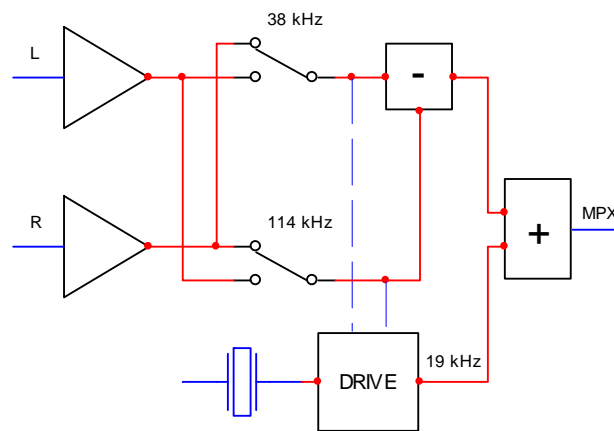
Las prestaciones son muy buenas, alcanzan una separación de canales de 66dB pero encarecen notablemente el producto.

Forma intermedia

A medida que la tecnología evolucionaba se introdujeron codificadores estéreo que tenían muy buenas especificaciones, en estos codificadores se han aprovechado las ventajas que ofrecía combinar ambos sistemas. La señal codificada estéreo esta generada de acuerdo con el método de conmutación. A través de un cuidadoso sistema de ajuste de la simetría, la componente de 76kHz es suprimida lo máximo posible, mientras que la componente de 114kHz no deseada se produce normalmente.

Al mismo tiempo, también de acuerdo con el método de conmutación, es generada por separado una componente de 114kHz que es, en la medida de lo posible, igual a la componente no deseada de 114kHz.

En un amplificador diferencial, las componentes deseada y no deseada de 114kHz son equilibradas.



Las ventajas de este método es que entre ambos canales, izquierdo y derecho, la separación puede ser muy alta, con una baja distorsión.

Si bien sus especificaciones eran excelentes también tenían sus desventajas, la componente deseada de 114kHz debe ser exactamente igual en amplitud y fase a la componente no deseada para que el resultado sea nulo.

En este proceso de equilibrio, al igual que en el método de matriz, emergen problemas de temperatura, sumado a esto, para poder lograr estas buenas especificaciones era requerido un largo, minucioso y tedioso proceso de ajuste que se degradaba con el tiempo.

Principio del método de conmutación senoidal

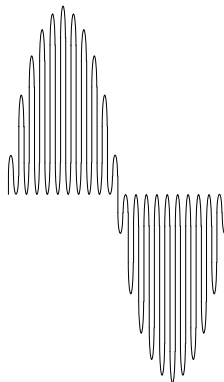
Después de un profundo estudio, hasta qué punto sería posible mejorar las especificaciones de los métodos de generación, se encontró que las características inherentes de cada método eran factores de limitación demasiado grandes.

Sin embargo una cosa quedó clara, el método de conmutación en sí mismo era el más adecuado, pero la absoluta necesidad del uso de un filtro pasa bajos (LPF), cancelaba las buenas características de este método.

Las ideas que formarían la base para una solicitud de patente, son bastante simples, se debían adoptar las buenas características del método de conmutación, sin ser influenciadas por un filtro pasa bajos.

Las armónicas superiores a 38kHz ocurren porque se utiliza una onda cuadrada para la conmutación entre los canales izquierdo y derecho.

Si esta señal cuadrada fuera una señal puramente senoidal, no se producirían armónicas.



Sin embargo en este caso, no se puede usar el método de conmutación, para que la salida entre los canales izquierdo y derecho varíe en forma senoidal, debe ser usado un potenciómetro.

Las grandes ventajas de este sistema es que no aparecen productos indeseados, siempre que esté garantizada una muy baja distorsión en los 38kHz. Cabe destacar que todas las ventajas del método de conmutación han sido mantenidas, es decir, la muy buena separación de canales, baja distorsión y baja susceptibilidad a variaciones por temperatura.

Por otra parte, las señales M y S son generadas en una sola operación, por lo tanto los circuitos se mantienen relativamente simples y no hay problemas de sumar correctamente las señales M y S.

Un último problema quedaba por resolver, el enganche de fase entre el tono piloto y la subportadora de 38kHz.

La igualdad de fase entre las dos señales es una condición indispensable para una alta separación de canales cuando la señal múltiplex es decodificada y convertida en canales izquierdo y derecho.

En los sistemas usados hasta ese momento, el tono piloto era generado separadamente, o derivado de los 38kHz, éste se añadía a la señal múltiplex por medio de un sumador.

Por este método, la señal de 38kHz y el tono piloto de 19kHz no siguen la misma cadena de señal, a raíz de esto se hace necesario una muy precisa compensación de fase entre ambas frecuencias.

Las desventajas de este método ante la necesidad de usar correctores de fase implica que los ajustes entre las dos señales puede ser influenciada por las variaciones de temperatura y el envejecimiento de los componentes, dando como resultado una disminución de la separación de canales después de la decodificación.

Esta desventaja de hacer ajustes, debe ser considerada una gran desventaja en vista de la precisión con la que debe ser medida y ajustada.

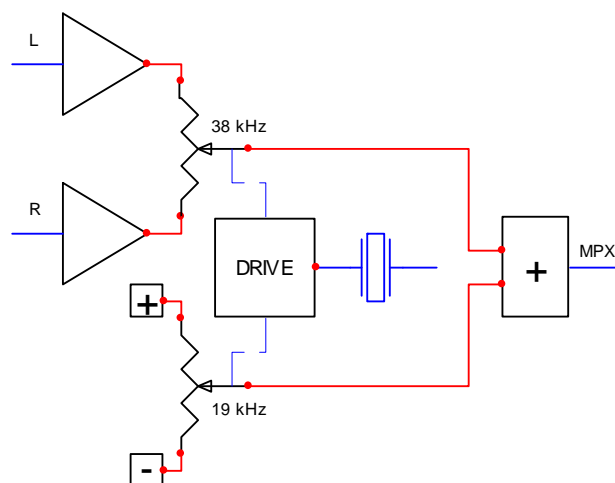
Como forma de ilustración de la importancia de la paridad de fase damos el siguiente ejemplo:

Si la fase final entre el tono piloto y la portadora auxiliar de 38kHz muestra una desviación de solo $0,4^\circ$, entonces la máxima separación de canales obtenible es de tan sólo 53dB.

Para el diseño de nuevos generadores era necesario buscar un método que pudiese mantener el tono piloto y los 38kHz con una igualdad de fase ante toda circunstancia, eliminando la necesidad de complejos ajustes.

Como resultado de ello, fue utilizado el mismo método para generar tanto el tono piloto como la señal múltiplex.

En la aplicación de la patente este principio de operación se describe con mayores detalles, (los diagramas de bloques expuestos no reflejan la totalidad de las etapas, son solamente a título ilustrativo).



La información digital para generar los 38kHz y 19kHz es derivada del mismo oscilador a cristal, a causa de esto no se producen variaciones de tiempo.

El potenciómetro superior genera la señal multiplex mientras que el inferior genera una señal senoidal a la frecuencia del tono piloto, para ello la parte variable se mueve senoidalmente entre una tensión continua positiva y una negativa en los extremos del potenciómetro, la fase de ambas señales solo puede ser influenciada si en el cruce por cero de las mismas no se encuentran en forma simultánea.

Cabe destacar que esto forma parte de la construcción, dado que el control proviene de una palabra digital, la diferencia de fase en los procesadores **TRITÓN** es fija e inamovible.

La precisión del potenciómetro ha sido elegida de tal manera que garantiza una máxima desviación de fase en 0,04°.

Esta desviación de fase asegura una separación de canales de 73 dB.

La diafonía en los procesadores **TRITÓN** está garantizada en 60dB.

Así el deterioro de la diafonía como resultado del cambio de fase y los tediosos procesos de ajuste, sin lugar a duda ahora han quedado en el olvido.

Queda claro que los potenciómetros utilizados para la generación de las señales no son del tipo convencional.

La función de potenciómetro ha sido lograda mediante el uso de circuitos con síntesis digital, por lo que todos los problemas que ocasionaban los circuitos analógicos tales como la inestabilidad, offset, etc., se evitan, todos estos circuitos están alojados en un módulo intercambiable totalmente libre de ajustes.

Esta capacidad de trabajo es posible con el advenimiento de los DSP (Digital Signal Processor), herramientas que trabajan con algoritmos matemáticos realmente muy interesantes, con grandes ventajas, pero, también tienen sus limitaciones.

Todos sabemos que sus ventajas más importantes son:

No precisan ajustes y poseen mejor control donde se requiere operaciones de precisión.

Se pueden implementar en circuitos digitales de alto rendimiento, de propósitos generales o de aplicaciones específicas.

Parámetros que no se modifican por temperatura y se mantienen en el tiempo.

Datos fáciles de almacenar y actualizar.

Operatividad muy flexible, pueden emplearse para otros algoritmos en el tratamiento de señales.

Fase lineal en la implementación de filtros etc.

Pero ningún sistema es perfecto, entre las limitaciones más importantes se encuentran:

Pobre velocidad de conversión A/D y en el tiempo de asentamiento (setting) del conversor D/A, restringiendo la frecuencia máxima de muestreo en el procesado de señales.

Dificultad en el tratamiento de señales de banda ancha, tales como los sistemas de tiempo real, a pesar que se ha mejorado notablemente la velocidad en la operatoria de los procesos, los retardos de grupo siguen siendo importantes y fácilmente detectables.

En la implementación de filtros digitales, donde deben ser ejecutados con números aritméticos de precisión finita, durante los cálculos se hace necesario cuantificar con redondeos o truncamientos, a consecuencia de ello los ceros y los polos de los filtros no se puedan ubicar en las posiciones adecuadas, dando como resultado diferencias de la respuesta real a la ideal, cuantos más lazos recursivos se apliquen, más se acumularán ruidos de cuantificación, provocando inestabilidad en el sistema.

Este coeficiente de error de cuantificación y otras que no vienen al caso enumerar son algunas de las desventajas de los DSP que están en vías de solución.

Dto Técnico