

Cómo mejorar el rendimiento de la radio digital

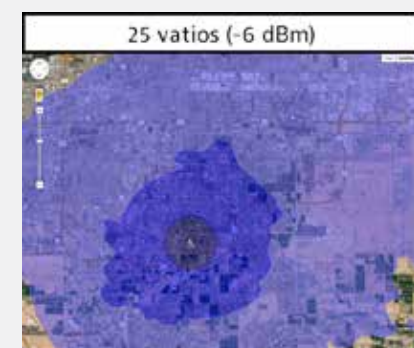
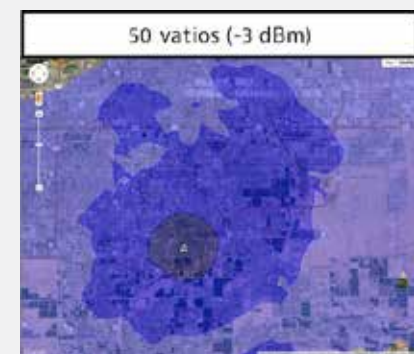
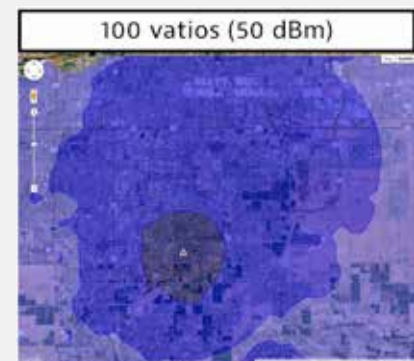
Las pruebas y la comprobación adecuadas de los parámetros de modulación de radiofrecuencia garantizan un rendimiento de la red digital óptimo.

A medida que una gran parte del mundo adopta la radio digital y deja atrás la analógica, es importante comprender que las redes digitales requieren una alineación más precisa que las analógicas para conseguir un rendimiento óptimo. Es necesario realizar pruebas y comprobar los parámetros de alineación de radiofrecuencia (RF) para maximizar y ofrecer el alto rendimiento que proporciona la tecnología digital. Una alineación inadecuada resulta en una menor precisión de la modulación digital, lo que tiene un impacto significativo en la capacidad del receptor de recuperar los datos digitales.

Introducción

La mayoría de los profesionales de RF son conscientes de los estudios de cobertura relacionados con la variación de la potencia de transmisión. Si se asume que todo es igual excepto el nivel de potencia, el área de cobertura se hace más pequeña a medida que disminuye el nivel de potencia del transmisor de la radio. Esto es lo que cabe esperar y lo que ocurre tanto para los sistemas analógicos como para los digitales.

No obstante, con los sistemas digitales, la calidad de la señal digital transmitida tiene un efecto significativo en el área de cobertura. Las pruebas de laboratorio demuestran que las alineaciones de modulación inadecuadas de los parámetros del transmisor de una radio afectan negativamente al rendimiento del receptor de otra radio digital. Por ejemplo, un error de calibración



del 20 % puede afectar al rango en la misma medida que una reducción de potencia del 75 %.

Comprender el funcionamiento y la alineación de la radio digital, un ajuste adecuado de los parámetros del filtro de audio y el uso de medidores de desviación precisos mejorará en gran medida el rendimiento de las radios digitales. Por el contrario, con medidores de desviación imprecisos, ajustes inadecuados del filtro, y el desconocimiento de las especificaciones y el funcionamiento del medidor, el rendimiento de la radio digital se verá negativamente afectado de manera radical.

Diferencias entre radio analógica y radio digital

Los transmisores de RF digital tienen atributos que se deben medir para comprobar la calidad de la señal digital. En numerosas radios digitales, la calidad de la señal está relacionada directamente con la desviación de la modulación de frecuencia (FM). El receptor debe observar una señal digital de buena calidad para decodificar los unos y los ceros digitales. Esto exige mediciones precisas y exactas que garanticen que la radio está alineada con las especificaciones publicadas.

Numerosas tecnologías de radio digital emplean la modulación basada en manipulación por desplazamiento de frecuencia de cuatro niveles (four-level frequency shift keying o 4FSK) para representar los unos y los ceros digitales a fin de transmitir información por radio. En la modulación 4FSK hay cuatro estados de desviación de frecuencia permitidos de la portadora de RF (también denominados símbolos) que representan los datos digitales. Estos símbolos se denominan "dibits" y representan dos bits de datos por símbolo: 00, 01, 10 y 11. Los estados de desviación se deben sincronizar de manera precisa con el periodo de los símbolos. Para el proyecto 25 (P25), estos puntos de desviación son -1800 Hz, -600 Hz, +600 Hz y +1800 Hz, los cuales son transmitidos a una frecuencia de 4800 símbolos por segundo a momentos exactos derivados del reloj del sistema. Dado que hay dos bits por símbolo, la tasa de bits (bit rate) es de 9600 bits por segundo (bit/s).

El rendimiento del receptor de radio digital se comprueba con mediciones de la tasa de errores de bits (Bit Error Rate o BER) para determinar la sensibilidad del receptor en comparación con la relación entre la señal y el ruido y la distorsión (Signal-to-noise-and-distortion o SINAD). Los problemas del receptor incrementarán

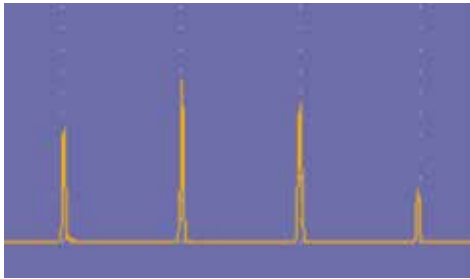
la BER y afectarán negativamente al rendimiento del sistema. En un sistema digital de comunicaciones bidireccionales, la calidad del transmisor de la radio emisora también afecta a la BER del receptor.

Dado que el transmisor debe modular la transportadora con la modulación 4FSK al valor exacto de la desviación del símbolo en el momento preciso dado por el reloj del transmisor, el grado de cercanía de estos símbolos a los puntos de desviación de frecuencia ideales afecta al funcionamiento de la radio receptora. La medida de la precisión del transmisor se establece como la fidelidad de la modulación (en sistemas P25) o el error de modulación 4FSK. Transmitir una señal 4FSK modulada de manera deficiente puede funcionar durante una comprobación de radio de corto alcance. Sin embargo, con cualquier distancia significativa, la interfaz aérea de RF entre el transmisor y el receptor de radio causa un fallo adicional de la señal de RF. Efectos como el ruido, las interferencias, la multipropagación y la interferencia entre símbolos (Inter-symbol interference o ISI) degradan la calidad de la señal recibida.

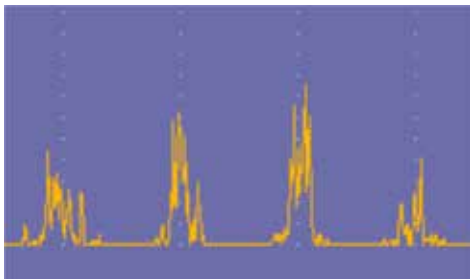
Todas las señales de RF, tanto analógicas como digitales, pierden amplitud y son más susceptibles al ruido cuando la onda de radio se propaga a lo largo de una determinada distancia. Con las señales analógicas, el ruido se demodula directamente y está presente en el altavoz. Sin embargo, con las señales de modulación 4FSK digitales, el ruido degrada la calidad del símbolo, lo que hace más difícil la recuperación de los datos. Las alineaciones de desviaciones de FM inadecuadas provocan el mismo problema, lo que reduce el rango efectivo y disminuye la calidad de la voz.

Dado que la precisión en la desviación al momento exacto de la transmisión de los símbolos es crítica para el receptor a fin de decodificar el símbolo correcto los sistemas digitales se deben mantener y alinear correctamente para garantizar el mejor rendimiento. La precisión de las alineaciones se ve afectada significativamente por la precisión del medidor de desviación empleado para las alineaciones digitales. Tanto la precisión absoluta como la precisión relativa del medidor sobre el rango de frecuencias de modulación son factores importantes para medir correctamente la desviación de FM. Una vez que se ha completado una alineación en una radio, se debe comprobar también el rendimiento de la modulación digital (desviación de símbolos y fidelidad de la modulación o error de FSK). Esto garantiza que la alineación analógica produzca una señal digital óptima.

En el ejemplo que aparece a continuación, un receptor tendrá dificultades para decodificar la señal modulada con ruido una vez que la calidad de la señal se pierda progresivamente a lo largo de su distancia de propagación.



Señal 4FSK óptima



Señal 4FSK modulada insuficientemente

Medidores de desviación

Un medidor de desviación se puede considerar un voltímetro de corriente alterna con indicador de pico que mide el audio de la salida demodulada del receptor de pruebas. Hay dos tipos distintos de mediciones de desviación de FM comunes a la alineación de radios digitales: absolutas y relativas.

Las mediciones absolutas deben hacer referencia a un valor absoluto; la potencia de RF, el error de la frecuencia, el nivel de audio y la desviación son todos parámetros que hacen referencia a un estándar absoluto. Es importante tener en cuenta todos los factores que pueden afectar a estas mediciones. Los medidores de desviación de FM ofrecen lectura de pico, por lo que otros componentes de frecuencia se combinarán y se sumarán al nivel de desviación indicado en el medidor. El ruido es el elemento que más contribuye a las mediciones de desviación. La mayoría de los receptores de pruebas y medidores de modulación que emplean un receptor superheterodino permiten establecer los filtros de frecuencia de audio (AF) y de frecuencia intermedia (IF) de modo que limiten la cantidad de ruido que se permite transmitir e influir en la medición.

Por ejemplo, una medición típica para radios P25 consiste en establecer el nivel de desviación de un tono de 1200 Hz en 2,83 kHz. Este es un ajuste común y un ejemplo en el que la precisión absoluta es necesaria para definir el nivel de desviación, ya que afectará directamente a la desviación de símbolos de la señal digital del transmisor.

Las mediciones relativas hacen referencia a un nivel de un tono en relación con otro tono. En las radios digitales P25 y DMR (radio móvil digital), se mide un tono bajo (por ejemplo, 100 Hz) y el tono alto correspondiente (de 3 kHz a 6 kHz) se establece de modo que coincida exactamente con el nivel del tono bajo. El tono de 3 kHz o 6 kHz es relativo al tono de 100 Hz.

Los medidores de desviación de FM no deben presentar cambios de precisión de una frecuencia a la siguiente. En otras palabras, no debe haber "inclinación" de una frecuencia a otra. Se trata de un parámetro crítico, como muestra la especificación de un fabricante que requiere que el tono alto esté a 0,05 decibelios (dB) del tono bajo. La planicidad es crítica en un medidor de desviación para realizar mediciones relativas.

Reducción de los errores

Cuando se seleccionan filtros de IF y AF, un filtro más ancho permite el paso del ruido y eso pasa a formar parte de la señal medida. Por lo tanto, los ajustes de filtro no deben ser más amplios de lo necesario a fin de reducir errores causados al permitir el paso de demasiado ruido y afectar a la medición, al tiempo que se permite un ancho de banda adecuado de modo que el filtro no atenúe el nivel. Existen métodos para determinar el ajuste adecuado. En el caso del filtro de AF, este se establece normalmente al doble de la frecuencia del tono para acomodarla.

En el caso de los filtros de IF, una regla de Carson modificada determina el ajuste de ancho de banda. Esta variación de la regla del ancho de banda de Carson establece que el doble de la suma de la tasa y la desviación transmitirá el 98 % de la energía de audio de un sistema analógico. En el caso de los sistemas digitales, es necesario obtener un nivel superior al 98 % de la energía para obtener la lectura más precisa, de modo que la norma básica es multiplicar por tres la suma de la tasa y la desviación: $3 * (\text{tasa} + \text{desviación})$.

Los medidores de desviación de FM más antiguos utilizan normalmente un movimiento de medidor analógico. Los medidores tienen una aguja que desplaza una determinada cantidad del medidor para indicar el nivel medido de desviación de FM. Una especificación típica de uno de estos medidores de desviación de FM es:

Rango	De 2 kHz a 60 kHz (escala completa; secuencia de 2, 6 y 20 pasos)
Precisión	$\pm 5\%$ de la lectura; $\pm 3\%$ de la escala completa (tono de 1 kHz)

Mientras que el medidor parece tener un nivel adecuado de precisión al $\pm 5\%$, la especificación también establece un $\pm 3\%$ de escala completa. Para este medidor, los rangos disponibles son de 2 kHz a 60 kHz en una secuencia de 2, 6 y 20 pasos. Si analizamos una señal modulada con una desviación de 3 kHz, emplearíamos el rango de 6 kHz. La especificación mantiene que se debe añadir también el $\pm 3\%$ del medidor a escala completa. De esta manera, se puede calcular la verdadera precisión del medidor.

Medición en una desviación de 3 kHz:

$\pm 5\%$ de una lectura de 3000 Hz = ± 150 Hz
 $\pm 3\%$ de una escala completa de 6000 Hz = ± 180 Hz
 De error potencial total = ± 330 Hz
 Precisión real = 330 Hz/3000 Hz = $\pm 11\%$

Otro problema significativo es que este tipo de medidor no está indicado para su uso en tonos de audio que no sean de 1 kHz. Cuando se analizan mediciones de desviación relativas, es necesario saber si el medidor está plano entre las frecuencias de 100 Hz y 6 kHz. Con la especificación dada, sencillamente se desconoce la precisión del medidor de desviación a 100 Hz y a 6 kHz. Los medidores analógicos normalmente caen después de 4 kHz y pueden producir errores de medición de más

del 20 % cuando se combinan con ajustes inadecuados de filtros de IF y AF. Los medidores digitales tienen limitaciones similares en sus especificaciones. Una especificación típica para un medidor es una precisión absoluta del 3 % con una planicidad de 0 dB.

Al comprender cómo los errores de desviación de FM pueden afectar al rendimiento de la modulación FSK digital de una radio, podemos determinar el impacto que la calidad de la señal transmitida tiene en la capacidad de un receptor de decodificar la modulación. En la tabla siguiente, se muestran las consecuencias en un receptor P25. Dada la similitud entre los tipos de modulación, estos resultados son típicos de las radios digitales actuales. En este ejemplo, el uso de un medidor de desviación de FM con una precisión deficiente, de ajustes inadecuados de los filtros de IF y AF, o de demasiada pendiente en la planicidad del medidor provocará un impacto en la sensibilidad del receptor equivalente a una reducción de la potencia del 72 %.

Error de calibración	-5 %	-10 %	-15 %	-20 %
Degradación de la BER del receptor	-0,2 dB	-1,6 dB	-3,3 dB	-5,5 dB
Reducción equivalente de potencia	-5 %	-31 %	-53 %	-72 %

Conclusión

Con un conocimiento adecuado de las operaciones de las radios digitales, se puede mejorar significativamente el rendimiento del sistema. Un ajuste adecuado de los parámetros del filtro de audio y el uso de medidores de desviación precisos pueden mejorar el rendimiento de las radios digitales. Por el contrario, el uso de unos medidores de desviación de FM imprecisos, ajustes inadecuados del filtro de audio, y el desconocimiento de las especificaciones y el funcionamiento del medidor pueden dramáticamente afectar negativamente el rendimiento de la radio digital.