

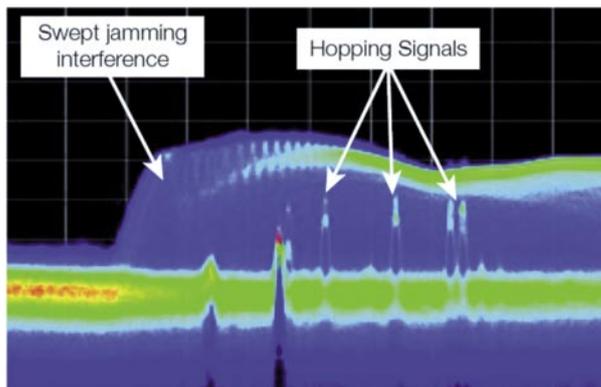
Superación de los desafíos en la prueba y diseño de radios con salto de frecuencias

Artículo cedido por Tektronix Inc

Traducido por Juan Ojeda, departamento comercial de AFC Ingenieros (jojeda@afc-ingenieros.com)

Debido a que el espectro de radiofrecuencia (RF) está cada vez más poblado y resulta más caótico se están empleando varias técnicas para asegurar la eficiencia de las comunicaciones por radio. Entre ellas las radios definidas por software (SDRs) con saltos de frecuencias, que están diseñadas para evitar su detección, mitigar los bloqueos y las interferencias y mejorar el rendimiento. A pesar de que el salto de frecuencias no es una nueva técnica, los diseñadores están continuamente tratando de aumentar la velocidad de salto de sus señales en un intento de evitar interferencias, señales con trayectorias múltiples, desvanecimientos y además, mejorar su rendimiento. El errático comportamiento de estas señales puede hacerlas muy difíciles de adquirir, verificar y medir usando la instrumentación tradicional. Afortunadamente, están disponibles nuevas herramientas y metodologías para superar de manera efectiva los desafíos de las pruebas y del diseño asociados con las radios con salto de frecuencias.

Figura 1. Señales con salto de frecuencias bloqueadas por una fuerte interferencia. Señal capturada por un analizador de espectro en tiempo real (RTSA) de Tektronix utilizando la tecnología de fósforo digital (DPX).



Los diseñadores siempre han tratado de mejorar el rendimiento y la capacidad de recuperación de las comunicaciones por radio. Con un espectro de radiofrecuencia cada vez más poblado y con más interferencias en los últimos años, estos esfuerzos se han convertido cada vez más en esenciales.

En este momento se están utilizando varias técnicas para garantizar una comunicación eficaz a través del saturado espectro radioeléctrico. Entre ellas están las radios definidas por software (SDR), las cuales permiten que un software controle dinámicamente parámetros de las comunicaciones tales como: la banda de frecuencia utilizada, el tipo de modulación, la velocidad de transmisión de datos y los esquemas de salto de frecuencias.

Las aplicaciones de radio militares, que deben llevarse a cabo en entornos de misiones críticas donde es común el bloqueo malicioso de las señales, emplean frecuentemente las tecnologías SDR. Su huella se puede encontrar en una amplia gama de aplicaciones, desde unidades compactas y portátiles hasta plataformas montadas a bordo de vehículos y buques. Varias aplicaciones comerciales, tales como las comunicaciones celulares basadas en redes de área local inalámbricas (WLAN) y 3G, surgidas también recientemente, emplean muchas de las tecnologías de SDR utilizadas por vez primera en la industria electrónica de defensa.

A pesar de la amplia variedad de senderos y aplicaciones de la SDR, hay un rasgo común entre ellas: el salto de frecuencias. Empleado en radios tanto analógicas como digitales, el salto de frecuencias se utiliza para mejorar el rendimiento, evitar la detección y mitigar los bloqueos y las interferencias, tales como los trayectos múltiples y desvanecimientos de las señales.

El salto de frecuencias se utiliza en conjunto con los esquemas de codificación, lo cual mejora la capacidad de recuperación ante interferencias y desvanecimientos, difunde la información a través de un amplio espectro de frecuencias, haciendo que el sistema sea más robusto. Si se bloquea una frecuencia particular, el sistema sólo puede perder la información que se transmite en esa frecuencia, en lugar de todo el flujo

de datos. En estas circunstancias, puede utilizarse el entrelazado y la corrección de errores FEC (Forward Error Correction) para recuperar los datos perdidos durante el salto bloqueado.

Aunque el salto de frecuencias es un método ya probado para mejorar las comunicaciones por radio, su utilización sigue evolucionando. Cuanto más rápido salta de frecuencia una señal, menos probabilidades hay de detectarla, bloquearla o interferirla. Por lo tanto, a pesar de que el salto de frecuencias no es una técnica nueva, los diseñadores están continuamente tratando de aumentar la velocidad del salto de frecuencias en las radios modernas para mejorar y reforzar el rendimiento.

Estos esfuerzos han dado lugar a retos notables de diseño y prueba. Las señales con salto de frecuencia y las fuentes de interferencia operan en espectros extremadamente complejos que varían en el tiempo. El errático comportamiento de estas señales puede hacer que sea difícil adquirirlas verificarlas y medirlas. Efectivamente el diseño y las pruebas de las radios modernas que emplean cada vez más técnicas de saltos rápidos de frecuencias requieren nuevas herramientas y metodologías.

Los saltos de frecuencia más rápidos conducen a nuevos retos de diseño y prueba

Los saltos rápidos de frecuencias plantean una serie de retos en el diseño de sistemas de comunicación, especialmente en la arquitectura del sistema y en los sintetizadores de frecuencia. Las radios modernas son sistemas complejos y por ello el software de control, el procesador digital de señal (DSP) y todos los componentes del sistema deben trabajar de manera concertada para garantizar un rendimiento óptimo. Dado que el software altera activamente los parámetros de funcionamiento de la SDR, hay un sinnúmero de combinaciones de hardware/soft-

ware que pueden causar errores. Son también comunes errores como: los transitorios de modulación y filtrado, los de distorsión, los efectos no lineales de las etapas de potencia, las aberraciones de los pulsos, los de sintonización y establecimiento de la frecuencia, el acoplamiento de las fuentes de alimentación, los acoplamientos entre la parte digital y la de RF y los errores de fase dependientes del software.

El diseño de sintetizadores de frecuencia rápidos presenta también un reto importante. Por ejemplo, un JTIDS (Joint Tactical Information Distribution System) desplegado por las fuerzas armadas de los EE.UU. que trabaja en una red L-Band TDMA, funciona a 38461,5 saltos por segundo. Esto significa que el sintetizador de frecuencia tiene que saltar de una frecuencia a otra, estabilizarse y comunicar en menos de 26 ns tiempo; las respuestas transitorias del sistema deben estabilizarse en tan sólo unos cientos de nano-segundos para permitir que la comunicación esté libre de errores.

de frecuencias de banda ancha de hoy en día. Debido a que estas señales saltan más allá de la banda de su funcionamiento, se requiere el análisis fuera de las frecuencias centrales para garantizar la óptima calidad de la modulación.

La generación dinámica de formas de ondas de RF a través de DSPs y la integración de circuitos digitales y de RF -a menudo en el mismo circuito integrado (IC)- crean también problemas no vistos en los diseños tradicionales de transceptores de RF. Entre dichos problemas se incluyen: los transitorios de modulación, los efectos no lineales de los amplificadores y las interferencias entre las partes digital y de RF, por nombrar algunos.

El rendimiento de los transmisores de SDR debe ser verificado con medidas que van más allá de las pruebas de conformidad tradicionales de los transmisores de RF. Con solo pasar estas pruebas no se garantiza que un dispositivo funcione correctamente y el comportamiento del sistema debe

re un evento transitorio. Es necesario realizar un análisis en varios dominios con correlación en el tiempo para determinar la causa específica de cada problema. La captura completa de todo el evento en la memoria es valiosa para su posterior análisis, ya que las condiciones en las que se produjeron los transitorios pueden ser realmente difíciles de recrear. Estos métodos avanzados de solución de problemas de verificación de las prestaciones de señales variables en el tiempo, combinado con las pruebas tradicionales de conformidad realizadas bajo condiciones de estado de reposo, son necesarias para las pruebas completas de SDR.

Verificación de las prestaciones y resolución de problemas a nivel del sistema

El desarrollo de la arquitectura de un sistema de verificación de diseños es vital para el éxito de un sistema moderno de comunicación. Cuanto más puntos de acceso sean probados y verificados, menos probable es que se manifiesten problemas durante la última fase de integración de los sistemas. Por otra parte, cuanto más adelante en el ciclo de desarrollo y de integración se aborden esos problemas, más caros serán de resolver. Algunos de los principales contribuyentes a los fallos de los sistemas son: los DSPs, los circuitos de RF y el software de control. Las herramientas de depuración en la verificación ayudan enormemente a los diseñadores a descubrir los problemas de manera efectiva.

Una vez que un error ha sido identificado, debe ser aislado y comprendido. Para aislar un problema y determinar su causa fundamental, es importante correlacionar el error en el tiempo a través del camino de la señal. Dado que la información de la señal cambia de forma en un diseño SDR -desde los bits digitales a las tensiones analógicas que varían continuamente- puede ser necesario un sistema de prueba compuesto de varios equipos para diagnosticar la fuente exacta de los problemas. Debido a que el problema puede ocurrir en cualquier

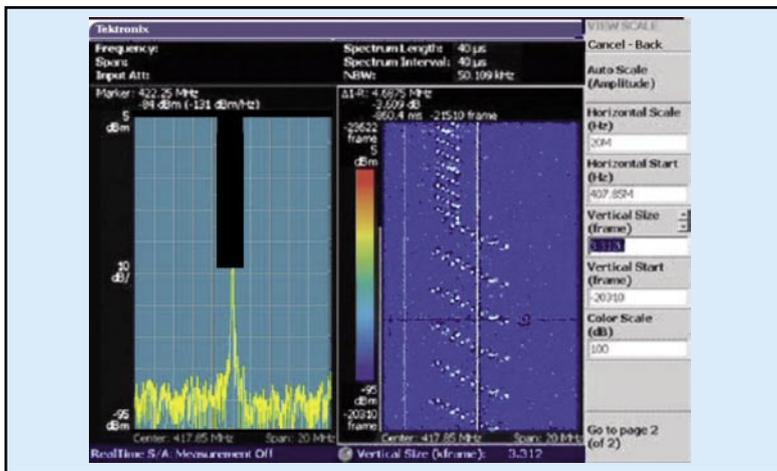


Figura 2. Señal con saltos rápidos de frecuencia capturada con un analizador de espectro de tiempo real (RTSA) de Tektronix. En la parte izquierda se muestra el disparo por máscara de frecuencia (FMT) definido por el usuario, mientras que en la parte derecha se muestra el espectrograma de la señal con saltos de frecuencia capturada.

El deterioro de la calidad de la modulación debido al tiempo de estabilización de la frecuencia de las portadoras de los saltos es una de las principales fuentes de la mala calidad del transmisor y de la baja velocidad de transmisión de los datos del sistema. En el pasado, los diseñadores fueron capaces de utilizar los equipos de prueba convencionales para desmodular las portadoras estacionarias ubicadas en la frecuencia central del analizador de modulación. Sin embargo, los equipos de prueba convencionales no son capaces de desmodular las señales con los saltos

ser completa y cuidadosamente observado puesto que el software está continuamente cambiando los parámetros del sistema. Verdaderamente, hacer frente a estos retos requiere que los diseñadores de SDRs analicen y caractericen completamente sus sistemas.

El descubrimiento del verdadero comportamiento del sistema es importante para identificar las posibles anomalías del espectro de RF. Como los parámetros del sistema de cambian con el tiempo, se necesita un disparo selectivo en frecuencia para determinar el instante en el que ocu-

punto en el camino de la señal y a que la capacidad de la memoria en osciloscopios y analizadores lógicos es limitada, es importante la capacidad de disparar simultáneamente múltiples instrumentos de prueba y capturar el momento exacto en que se produce el evento. Para ello es necesario que cada instrumento pueda disparar en su dominio (los analizadores digitales mediante disparos lógicos, osciloscopios mediante disparos por amplitud en el del tiempo y los analizadores de espectro por disparos en el dominio de la frecuencia).

Una vez que se ha filtrado y amplificado, las anomalías del software pueden crear ráfagas temporales de energía en la salida de RF. Para aislar el rendimiento del software y del hardware, los RTSAs pueden utilizarse para disparar sobre los transitorios en el dominio de la frecuencia, capturar los eventos en la memoria y controlar a los otros instrumentos de prueba para explorar las posibles fuentes de error. Las señales adquiridas se presentan de una forma correlacionada en el tiempo para ayudar a los diseñadores a ver cómo las anomalías en los bloques digitales y analógicos

Verificación de la calidad de las formas de onda IQ en banda base

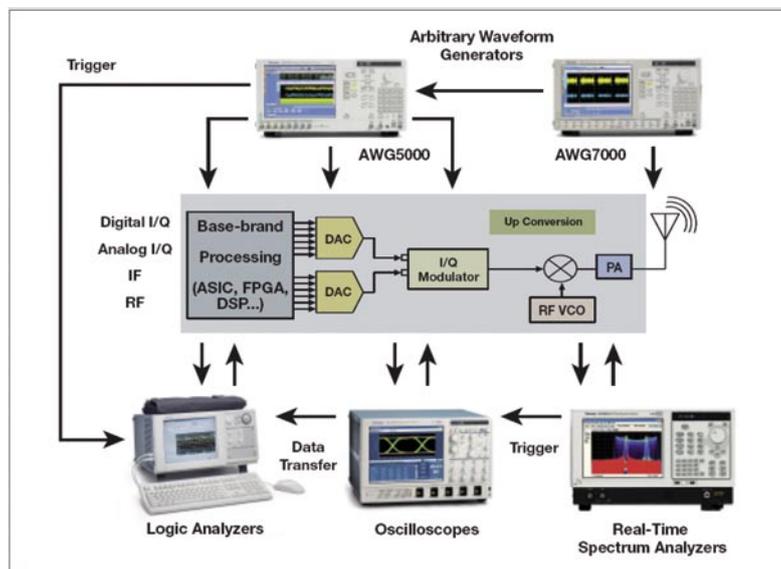
La verificación de la calidad de las formas de onda IQ en banda base es importante tanto para los ingenieros de sistemas, como para los diseñadores de FPGAs (Field Programmable Gate Array). Ayuda a los ingenieros a probar la banda base para asegurarse de que su funcionamiento es correcto en una etapa temprana del desarrollo, ya que muchos de los problemas en los que los circuitos digitales se ven involucrados provienen del diseño de la FPGA.

Las señales de banda base en los diseños y aplicaciones actuales son diferenciales (I+, I-, y Q+ Q-) y pueden poseer un 'offset' de CC. En el pasado, eran muy pocos los analizadores de espectro que podían probar señales IQ directamente y menos aún, los analizadores de espectro que podían probar señales IQ en banda base con 'offset' de CC. Los ingenieros se veían obligados a utilizar osciloscopios con software adicional para análisis posteriores.

La selección de RTSAs permite realizar pruebas de IQ en banda base utilizando entradas diferenciales. Gracias a ello proporciona consistencia en la medida cuando se analizan señales IQ, IF y RF. La prueba de de señales IQ con un RTSA reduce también la complejidad del sistema y simplifica los procedimientos de verificación, al mismo tiempo que ofrece un mayor rango dinámico y una mayor profundidad de memoria que los instrumentos de propósito general.

Los RTSAs modernos incorporan a la vez las funcionalidades de análisis de banda base, análisis de RF y post-análisis. Por ejemplo, los RTSAs de alta gama pueden realizar medidas de CC en banda base con un convertidor analógico/digital (ADC) de 14 bits, asegurando la precisión de la medida. Algunos también poseen la función de entradas IQ diferenciales, que permite a los ingenieros conectar el RTSA directamente a las señales IQ en banda base para el análisis de la magnitud del vector de error (EVM) - sin ningún conjunto adicional de sondas diferenciales. Además del EVM, estos RTSAs proporcionan

Figura 3. Sistema de prueba integrado de extremo a extremo para verificar y solucionar problemas de SDR. Incorpora un analizador de espectro de tiempo real (RTSA) de Tektronix, un generador de formas de onda arbitrarias (AWG), un osciloscopio y un analizador lógico.



Un sistema de prueba integrado de extremo a extremo que incluya un analizador de espectro de tiempo real (RTSA), un generador de formas de onda arbitrarias (AWG), un osciloscopio y un analizador lógico, puede resultar muy útil para la realización de pruebas de SDR. Se deben seleccionar instrumentos de los principales vendedores de prueba y medida que sean capaces de trabajar al unísono - con disparos cruzados y visualización del subsistema con correlación temporal - para verificar el rendimiento de SDR y realizar múltiples procedimientos de prueba sobre la capa física y las diversas capas de software. Estos sistemas de prueba también se pueden utilizar para comprender las complejas interacciones entre los subsistemas de SDR en los dominios de la frecuencia y del tiempo, especialmente en señales con trenes de pulsos o con saltos de frecuencias.

de SDR se propagan a la salida de RF como ruido impulsivo.

La capacidad única de los RTSAs para encontrar problemas de transitorios en el espectro puede utilizarse para disparar a los demás instrumentos y obtener la visualización con correlación en el tiempo de las implementaciones funcionales considerablemente diferentes del hardware y del software. Por ejemplo, el RTSA puede capturar la señal en las partes de RF y FI del camino de la señal y un analizador lógico puede capturar la señal digital de banda base y compararla con la tabla de símbolos producidos por el RTSA. Por otra parte, algunos RTSAs ofrecen software para trabajar fuera-de-línea que puede utilizarse para analizar los datos adquiridos a partir del analizador lógico y del osciloscopio, permitiendo la correlación de las medidas del hardware y del software.

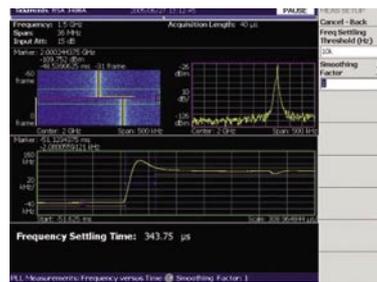
medidas totalmente correlacionadas en el tiempo a través de múltiples dominios (es decir, en el dominio del tiempo, en el dominio de la frecuencia, en el dominio de la modulación y en el dominio de la constelación). Esta capacidad puede resultar muy útil para la solución de problemas de SDRs con saltos de frecuencias.

Medida de los tiempos de establecimiento de frecuencias en señales de salto de frecuencia

El tiempo de establecimiento de la frecuencia se define como el intervalo de tiempo que transcurre entre dos saltos de frecuencia. Es uno de los principales contribuyentes a la eficiencia de un sistema basado en saltos de frecuencias. Cuanto más corto es el tiempo de establecimiento de la frecuencia, más rápido se pueden realizar los saltos de frecuencia en el sistema. La medida del tiempo de establecimiento de la frecuencia asegura el funcionamiento óptimo del sintetizador y maximiza el rendimiento general del sistema.

La forma tradicional de medir tiempo de establecimiento de la frecuencia estaba limitada por la instrumentación y consumía mucho tiempo. Los ingenieros se vieron obligados a depender de los osciloscopios y de los discriminadores de frecuencia para realizar las pruebas, que mostraban sólo la envolvente de la señal y daban alguna pista sobre la estabilidad de las señales. Aunque los osciloscopios tienen una excelente resolución temporal, su utilización para medir pequeños cambios de frecuencia pueden resultar difícil (dependiendo de la resolución de frecuencia requerida para la medida). Los osciloscopios no pueden medir automáticamente las frecuencias de los saltos y el tiempo de establecimiento de la frecuencia sólo puede ser estimado.

Los RTSAs más avanzados ofrecen medidas automáticas del tiempo de establecimiento de la frecuencia. Al establecer parámetros como el umbral de establecimiento de la frecuencia y el factor de suavizamiento, los ingenieros pueden medir el tiempo de establecimiento de la frecuencia para las señales con salto de frecuencia con rapidez y precisión. Los ingenieros también pueden ver los cambios del espectro durante los saltos.



Además de las medidas realizadas en múltiples dominios con correlación en el tiempo, solo unos pocos RTSAs son capaces de producir una visualización "en vivo" del espectro de RF y de proporcionar un disparo mediante máscara de frecuencia (FMT). Estas características exclusivas simplifican la solución de los problemas de señales con saltos de frecuencias de forma más eficaz y fácil que nunca antes.

La visualización de la RF "en vivo" proporciona a los ingenieros una herramienta que les permite descubrir los problemas al instante. Al permitir a los usuarios ver las señales reales por primera vez, los RTSAs más avanzados proporcionan información sobre el comportamiento de señal de RF. Con una velocidad de actualización del espectro en la pantalla que es al menos 500 veces más rápida que la que pueden ofrecer los analizadores de espectro de barrido, los cambios transitorios en la frecuencia se puede ver directamente en la pantalla. En el ámbito de SDR, esta capacidad ofrece una forma completamente nueva de evaluar rápidamente la salud de la señal de RF e identificar rápidamente los problemas potenciales.

Una vez que se ha identificado y definido un espurio o transitorio en el dominio de la frecuencia mediante la visualización "en vivo" y tiempo real, el fiable disparo por máscara de

frecuencia (FMT) puede capturar la señal en la memoria para un análisis profundo mediante post-proceso. La frecuencia de la máscara es definida por el usuario y puede dibujarse para capturar mejor la señal. Por ejemplo, en el caso de saltos de frecuencia que ocurren con poca frecuencia, el usuario puede definir la máscara para disparar sobre la excursión de la frecuencia, en lugar de sobre el cambio del nivel de potencia. La máscara de la frecuencia se define como una envolvente en torno a esa señal y el instrumento dispara una vez que la señal entra en la zona de la máscara de la frecuencia.

La combinación de la visualización "en vivo" del espectro de RF y el disparo por máscara de frecuencia proporcionan a los diseñadores una habilidad única para encontrar y solucionar los problemas que se encuentran frecuentemente en SDR y en el entorno de la RF digital.

Análisis de modulación en señales de salto de frecuencia

El análisis de la modulación de señales con salto de frecuencia en todo el ancho de banda requiere un instrumento que no sólo pueda disparar y capturar señales dinámicas de RF, sino que también tenga la capacidad de análisis vectorial con seguimiento de la portadora. Los analizadores vectoriales de señal convencionales (VSAs) ofrecen el análisis vectorial para las frecuencias centrales, pero sólo un análisis muy limitado de las señales que están fuera de la frecuencia central del analizador (es decir a unos 300KHz o incluso menos). La mayoría de los analizadores

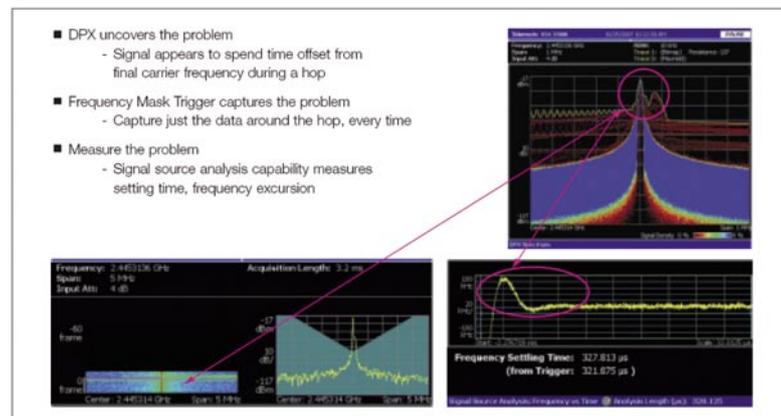


Figura 4. Medidas automáticas del tiempo de establecimiento de la frecuencia con un RTSA

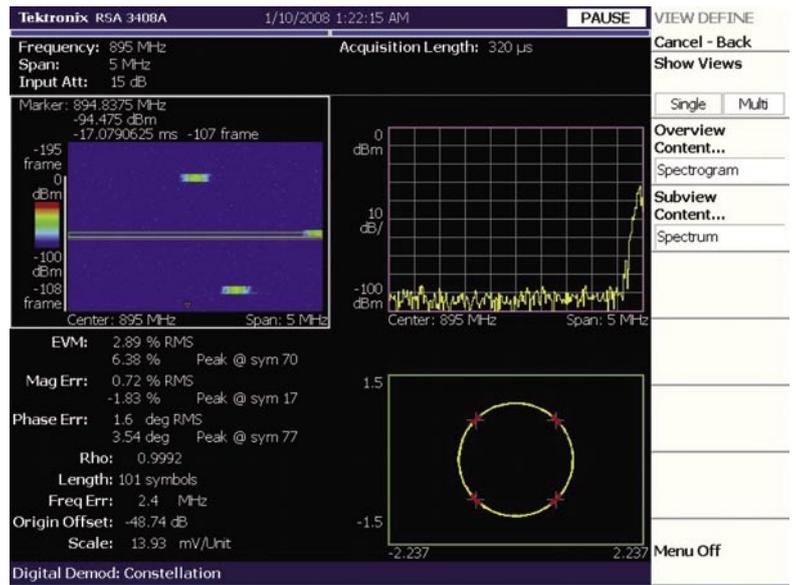
Figura 5. Las características exclusivas de visualización mediante fósforo digital (DPX) y de disparo mediante máscara de frecuencia (FMT) de los RTSAs ayudan rápidamente a identificar, capturar y solucionar los problemas de las señales con saltos de frecuencias.

Figura 6. Desmodulación de una señal de salto de frecuencia capturada fuera de la frecuencia central del analizador con visualización del espectrograma (ventana superior izquierda), frecuencia vs. amplitud (ventana superior derecha), calidad de la modulación de la señal (ventana inferior izquierda) y constelación (ventana inferior derecha).

vectoriales carecen de la capacidad de seguimiento de la portadora para desmodular las señales de salto de frecuencia en todo el ancho de banda capturado.

Algunos RTSAs son capaces de desmodular señales con salto de frecuencia en todo el ancho de banda capturado. Los ingenieros son capaces de verificar y depurar sus diseños sin tener que asumir el problema de la medición de la calidad de la modulación a frecuencias distantes de la central. Se puede escoger la desmodulación de cualquiera de las señales con salto de frecuencia capturadas, visualizando con correlación temporal las medidas en múltiples dominios con un análisis detallado de la calidad de la modulación.

A pesar de su capacidad para mejorar el rendimiento de SDR, las técnicas de saltos de frecuencias presentan unos retos sin precedentes en cuanto a diseño y prueba que los instrumentos convencionales de prueba no están en condiciones de abordar. Estas radios requieren un método nuevo, flexible e integrado para la validación de los sistemas y subsistemas de SDR.



Los RTSAs de vanguardia proporcionan medidas en varios dominios que están correlacionadas en el tiempo y la capacidad para ver "en vivo" el espectro de RF. Además, proporcionan un disparo por máscara de frecuencia (FMT), medidas de IQ en banda base y la desmodulación de señales con salto de frecuencia desplazadas fuera de la frecuencia central del analizador. Estas capacidades simplifican el análisis y

las pruebas de las radios con saltos de frecuencias, que son comunes en el mundo de la RF digital de hoy en día. Trabajando de forma independiente o en concierto con otros sofisticados equipos de prueba, los RTSAs avanzados representan la solución de prueba más eficaz para el diseño de las modernas comunicaciones por radio, en la depuración de RF en el laboratorio y en la evaluación del sistema en campo.

www.redeweb.com

Revista Española de **electrónica**

Inicio
News
Artículos
Sumarios
Seminarios
Buscar
Enlaces
Contactar

ELECTRÓNICA MAYO 2008

ELECTRÓNICA ABRIL 2008

LO MÁS LEIDO

- Amplificador de RF para recepción DRM
- Diseño eficiente de una distribución de reloj
- Las pruebas integradas en FPGA aceleran el desarrollo
- Caracterización y búsqueda de fallos en RF de banda ancha
- Evolución de las Tecnologías de medida en redes inalámbricas
- ISL29002 : Sensor 'luz-a-digital' con interfaz I2C
- News Arrow Iberia Marzo 2008
- Tecnología FPGA para pruebas dinámicas de vehículos
- Unidades SMD Reconfigurables para Procesado de Imagen
- Cómo utilizar de manera eficaz los datos de parámetros S

ACTUALIDAD

- VENCO Electrónica cumple 25 años
- Realización de pruebas con soluciones versátiles de generación de pulsos
- Convertidores conmutados de Fairchild Semiconductor
- Equipos de Medida de Potencia Eléctrica
- Sistema de Medidas MIMO de Banda Ancha Basado en un Analizador de Redes Multipuerto
- Aplicación de procesadores de comunicaciones Freescale en Servidores NAS (Network Attached Storage)
- Generación de señal para pruebas de producción de componentes de RF
- Uso del emulador 9960 para evaluar la transferencia de datos de audio/vídeo
- Plataforma flexible PXI portátil para ingeniería de pruebas en aviónica
- Sistemas de alimentación redundantes para aplicaciones donde fallos de alimentación son inaceptables
- El diseño de sistemas embebidos toma una nueva apariencia
- Sumario Mayo 2008
- National Instruments Presenta la Cumbre sobre Pruebas Automatizadas en línea

National Instruments Presenta la Cumbre sobre Pruebas Automatizadas en línea
Escrito por J. Prades
lunes, 05 de mayo de 2008

National Instruments Presenta la Cumbre sobre Pruebas Automatizadas en línea, el Automated Test Summit 2008

Este evento virtual reúne a empresas líderes en la industria que compartirán las estrategias de reducción de costos.

National Instruments ha anunciado la quinta cumbre anual de pruebas automatizadas, el Automated Test Summit, un evento en línea que ofrece sesiones técnicas centradas en la identificación de las tendencias y en la superación de los retos de las pruebas automatizadas.

El evento Automated Test Summit 2008 será presentado en directo en...