

# La tecnología de fósforo digital estimula el descubrimiento y el análisis de las señales de RF

Por D. Ireland

Dave Ireland  
EMEA Marketing  
Manager, Design &  
Manufacturing  
Tektronix, Inc.

*El espectro de la radiofrecuencia (RF) es ahora más caótico que nunca antes, con más canales y señales cada vez más complejas saturando un espectro limitado de frecuencia. En tanto las nuevas aplicaciones utilizan transmisiones inalámbricas y proliferan los sistemas de digitales de RF, los ingenieros necesitan mejores herramientas que les sirvan de ayuda para encontrar e interpretar comportamientos e interacciones intrincadas en las señales de RF.*

Afortunadamente, la tecnología del fósforo de Digital, usada tradicionalmente en osciloscopios avanzados, se ha aplicado al dominio del RF y se puede ahora encontrar en los analizadores de espectro en tiempo real (RTSAs) de mayores prestaciones. Esto permite por primera vez a los usuarios ver las señales de RF "en vivo"; ya que, la tecnología del fósforo de Digital proporciona una comprensión incomparable del comportamiento de la señal de RF. De hecho, la visualización a plena velocidad del fósforo digital permite observar señales y detalles que son omitidos totalmente por los analizadores de espectro convencionales y por los analizadores vectoriales de señal (VSAs), acelerando en gran medida el descubrimiento y el diagnóstico de problemas referentes a las señales de RF variables en el tiempo.

El nombre de "fósforo digital" deriva del fósforo que cubre el interior de los tubos catódicos (CRT) usados como pantallas en televisiones, monitores de ordenador y equipos de prueba más antiguos. Cuando un haz electrónico excita el fósforo, éste despidió luz fluorescente, iluminando la trayectoria dibujada por la corriente de electrones. Aunque las tecnologías raster-scan, tales como las pantallas de cristal líquido (LCDs), los cuales han reemplazado a los CRTs en muchas aplicaciones debido a las ventajas de su reducida profundidad y consumo, la combinación de las capas de fósforo y el trazado en la pantalla basado en vectores de los

CRTs proporcionan aún varias ventajas que son útiles para las aplicaciones modernas de test y medida.

En primer lugar, esta combinación ofrece persistencia. El fósforo continúa brillando intensamente incluso después de que el haz electrónico haya pasado por algún lugar en la pantalla. Generalmente, la fluorescencia se desvanece tan rápidamente que los observadores no perciben ningún tipo de persistencia, aunque incluso una pequeña cantidad de persistencia permitiría que el ojo humano detectase los eventos que serían de otra manera demasiado cortos para verlos.

En segundo lugar, las capas de fósforo y el trazado en la pantalla basado en vectores hacen posible la proporcionalidad. Cuanto más lentamente el haz electrónico pasa a través de un punto en la pantalla revestida de fósforo, más brillante es la luz que se obtiene como resultado. El brillo de un punto también aumenta cuanto más frecuentemente es golpeado por el haz de electrones. Los usuarios intuitivos saben interpretar esta información del eje-zeta: una sección brillante de la traza en la pantalla indica un evento frecuente o un movimiento lento del haz y una traza débil es el resultado de eventos infrecuentes o de haces rápidos.

La persistencia y la proporcionalidad no están incorporadas naturalmente en los instrumentos con pantallas LCDs (o incluso en los CRTs de tipo raster) y con trayectorias de la señal basadas en un procesado digital. La tecnología de fósforo digital fue desarrollada para conseguir las ventajas analógicas de una pantalla CRT e incluso mejoradas, como ocurrió hace años en el caso de los osciloscopios digitales y ahora en los RTSAs.

Las mejoras digitales tales como el gradiente de intensidad, las paletas de color seleccionables y las trazas estadísticas proporcionan más información en menos tiempo.

## Funcionamiento de la tecnología de fósforo digital

La tecnología del fósforo de digital puede comprimir 1465 capturas espectrales en una sola actualización de la pantalla cada 33 milisegundos, con todo ello, ésta es una descripción muy simplificada de lo que un RTSA es capaz de realizar. En cada segundo se toman 48.828 adquisiciones y se transforman en espectros. Esta elevada velocidad de transformación es la clave para detectar eventos infrecuentes, pero es demasiado rápida para que una pantalla LCD pueda seguirle los pasos y todavía más difícil que pueda ser percibida por los ojos humanos. Por lo tanto, los espectros entrantes se escriben en una base de datos de bits de memoria de imagen a plena velocidad y luego se transfieren a la pantalla a una velocidad de visualización de 30Hz.

La base de datos de memoria de bits de imagen se puede imaginar como rejilla densa creada dividiendo un gráfico del espectro en filas que representan valores la amplitud de la traza y en columnas que representan los puntos en el eje de la frecuencia. Cada célula en esta rejilla contiene un número que representa el total de veces que fue "escrita" por la traza de un espectro entrante. Teniendo en cuenta la evolución de ese número es cómo la tecnología de fósforo de digital implementa la proporcionalidad del brillo, permitiendo al usuario distinguir visualmente entre los transitorios esporádicos presentes en las señales normales y el ruido de fondo.

La figura 1 ofrece una vista simplificada (a) de la base de datos de los bits de memoria de la imagen; así como, la visualización verdadera (b) del fósforo digital. La rejilla de la figura 1a muestra el número de ocurrencias (Number of Occurrences) después de que han tenido lugar nueve transformaciones espectrales.

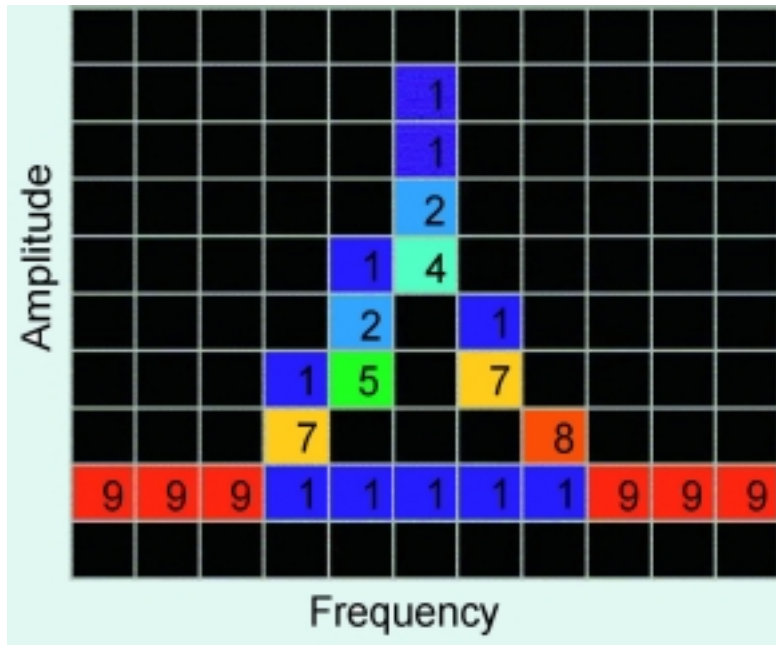


Figura 1a

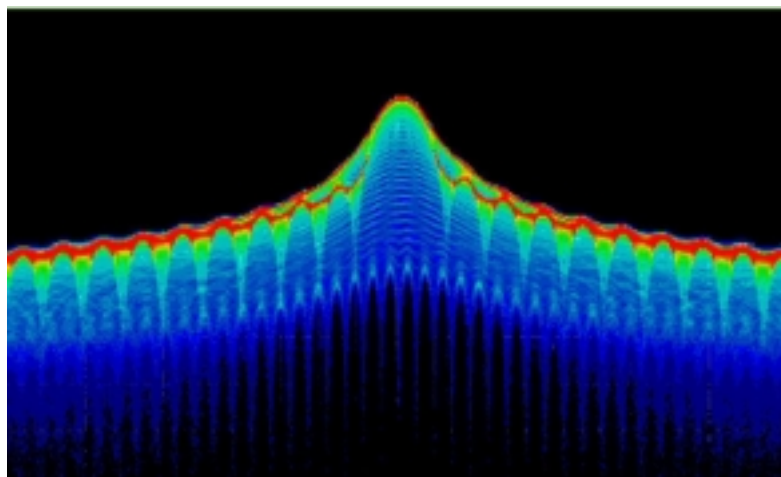


Figura 1b

Las células en blanco contienen el valor cero, significando que ninguno de los puntos de los espectros han caído en ellas todavía. Uno de los nueve espectros fue procesado en un momento en el que estaba ausente la señal, como se puede ver por la cadena de los valores "1" en el pedestal del ruido. Cuando se hace un mapa con estos valores utilizando una escala de colores, los datos se convierten en información visual. En este ejemplo, los colores más calientes (rojo, anaranjado,

amarillo) indican más ocurrencias. Los usuarios del RTSA, pueden definir otros esquemas de gradiente de intensidad. Al visualizar estas células coloreadas, una por píxel en la pantalla, se crea una visualización espectacular gracias al fósforo digital. La base de datos que contiene los bits de memoria de la imagen tridimensional real de los RTSAs con tecnología de fósforo de digital contiene 501 columnas y 201 filas que se utilizan para acumular datos y producir la visualización del espectro.

Según lo mencionado previamente, cada segundo se incorporan 48.828 espectros a la base de datos. Al final de cada trama con más de 1400 espectros de entrada (obtenidos aproximadamente 30 veces por segundo), la base de datos de los bits de memoria de la imagen es transferida para sufrir un proceso adicional antes de ser visualizados en la pantalla y los datos de una nueva trama comienzan a llenar la memoria de bits de la imagen.

Para implementar la persistencia, el motor del fósforo digital puede guardar el número de cuentas existentes y añadir las que llegan correspondientes a nuevos espectros, en lugar de poner a cero la base de datos de la memoria de bits de la imagen al principio de cada nueva trama. Cuando se mantienen todos los valores de cuenta correspondientes a todas las tramas se obtiene una "persistencia infinita." Cuando solo se mantiene una fracción de cada cuenta para la siguiente trama se obtiene una "persistencia variable." Ajustando dicha fracción se puede cambiar el tiempo que tarda un evento de la señal en desaparecer de la base de datos y desvanecerse en la pantalla.

Vamos a imaginar que una señal ha aparecido solo una vez durante el tiempo en que el motor de fósforo digital estaba en funcionamiento. Además, vamos a suponer que estaba presente en todas las 1465 actualizaciones del espectro de una trama y que el factor variable de persistencia provocaba un 25% de atenuación después de cada trama. Las células afectadas comenzarían con un valor de 1465 y serían visualizadas de forma plena. Una trama más adelante, el número de los valores de los eventos se convertiría en 1099. En el caso de la trama siguiente en 824, después y sucesivamente los valores serían más y más pequeños hasta que se volverían invisibles. En la pantalla de RTSA, el usuario vería inicialmente un rastro

Figura 2a

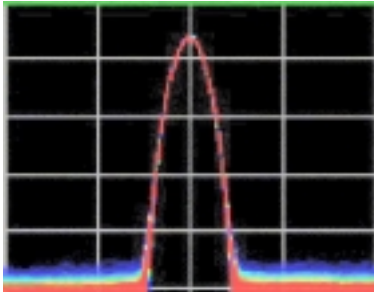


Figura 2b

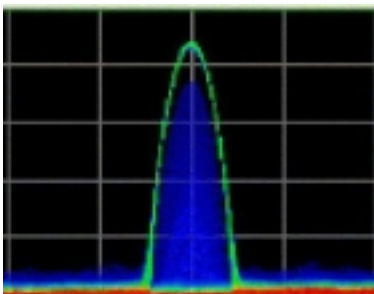


Figura 2c

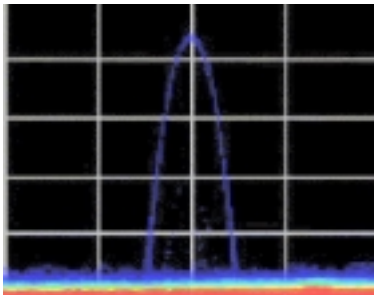
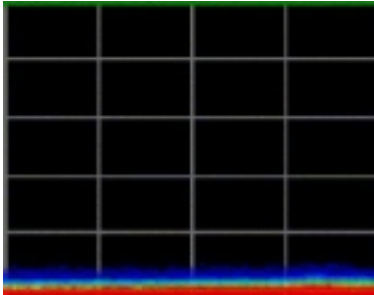


Figura 2d



brillante con un punto en la frecuencia de la señal. La parte de la traza donde ocurrió la señal esporádica se desvanecería poco a poco. Durante este tiempo, los píxeles comienzan brillando al nivel del ruido por debajo de la señal que se desvanece. Al final, solo queda la traza de la línea base en la pantalla, como puede ser visto en la figura 2.

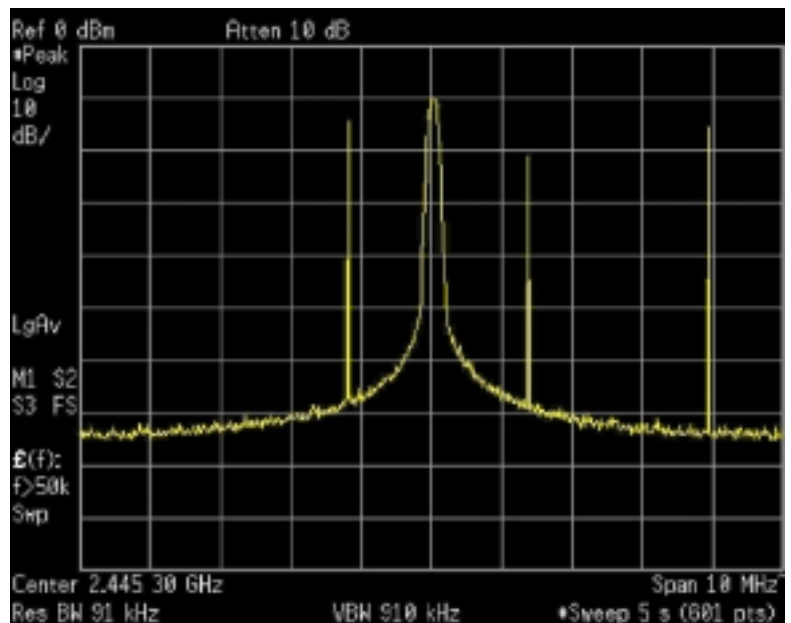
Figura 3

Las capacidades de persistencia de los RTSAs con tecnología de fósforo digital son de una ayuda extremadamente valiosa para la localización de averías, proporcionando todas las ventajas de MaxHold y otras más. Para descubrir si hay una señal intermitente o un cambio ocasional de frecuencia o amplitud, el usuario puede seleccionar la persistencia infinita y dejar al RTSA funcionando continuamente. Cuando el usuario vuelve, no sólo verá el nivel más alto para cada punto de la frecuencia, sino también los niveles más bajos y cualquier punto entre ellos. Una vez que la presencia del comportamiento transitorio o de las señales interferentes se hayan revelado, el usuario puede caracterizar el problema detalladamente utilizando la persistencia variable.

Una traza representada por un mapa de bits de imagen es la "firma" de la tecnología de fósforo digital, pero esta tecnología es también capaz de producir trazas con datos estadísticos. Para registrar en cada columna de frecuencia los valores de amplitud más altos, los más bajos y los medios se requiere la utilización del contenido de la base de

datos. Las tres detecciones de la traza resultante son: los valores de pico positivos (+Peak), los valores de pico negativos (-Peak) y los de valor medio (Average). Las trazas correspondientes a +Peak y -Peak muestran los máximos y mínimos de la señal de forma clara e inmediata. La detección del valor medio encuentra el nivel medio de la señal en cada punto de la frecuencia. Todos estas trazas se pueden guardar y restaurar para su empleo como trazas de referencia.

De la misma forma que las trazas correspondientes a un analizador de espectro tradicional, las trazas de un analizador de espectro de fósforo digital pueden ser acumuladas sobre adquisiciones consecutivas para proporcionar las trazas de MaxHold, MinHold y Average. La utilización de Hold en la traza +Peak es casi exactamente igual que la traza obtenida con MaxHold en un analizador de espectro típico, con la diferencia importante que la velocidad de la actualización de la traza de fósforo digital (48k/segundo, justo como el mapa de bits de la imagen de fósforo digital) es de tres ordenes de magnitud más rápida.



### Detección garantizada de señales de corta duración y poco frecuentes

El ejemplo siguiente expone en líneas generales y en breves palabras el descubrimiento y análisis de una anomalía intermitente en una señal de RF utilizando un analizador de espectro tradicional y un RTSA moderno con tecnología del fósforo digital. La señal en cuestión es una señal sinusoidal continua (CW) de 2.4453GHz. Cada 1,28 segundos su frecuencia cambia durante 100  $\mu$ seg y entonces vuelve a la frecuencia normal. El ciclo de trabajo de este transitorio es de menos del 0.01%.

El analizador de espectro de barrido tradicional se prepara para realizar un barrido de cinco segundos y la adquisición se realiza en el modo MaxHold. En la pantalla se puede ver que hay algo que ocurre alrededor de la señal, como se puede ver en la figura 3. La velocidad de barrido se determinó empíricamente para ser la óptima en la obtención de una captura fiable de esta señal en el tiempo más corto posible. Las velocidades de barrido rápidas disminuyen la probabilidad de la captura, ya que dan como resultado pocas coincidencias entre el barrido y la señal transitoria.

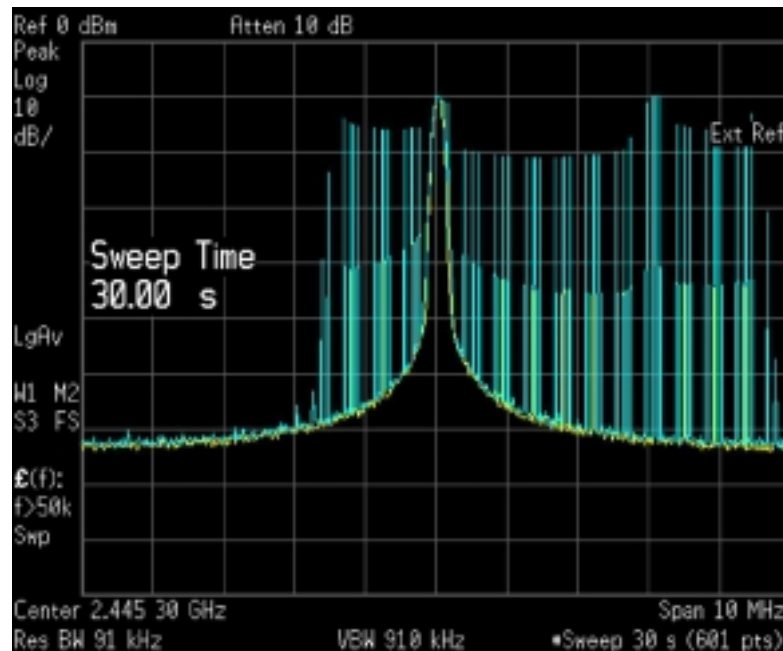
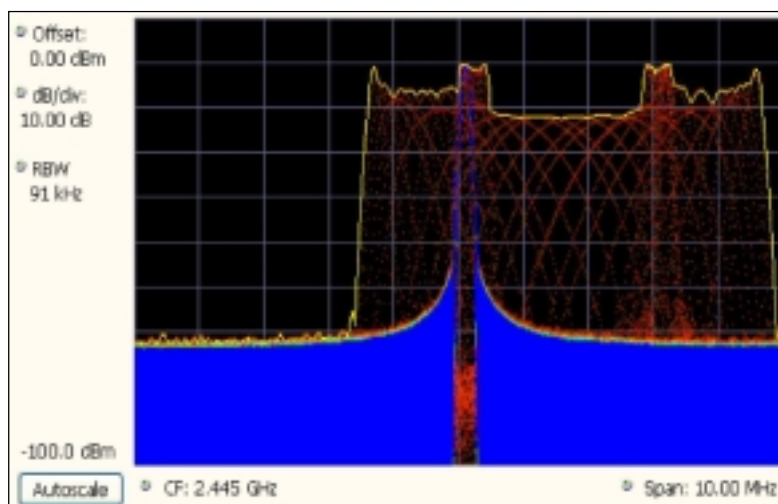


Figura 5

Sin embargo, al utilizar un RTSA moderno con tecnología de fósforo digital, la pantalla del instrumento, con un mapa de bits de la imagen y la función +PeakHold, muestra mucha más información sobre el transitorio después del mismo periodo de cinco segundos, como se puede ver en la figura 4.

En el caso del analizador barrido y después de 120 segundos (cuatro barridos de 30 segundos), se com-

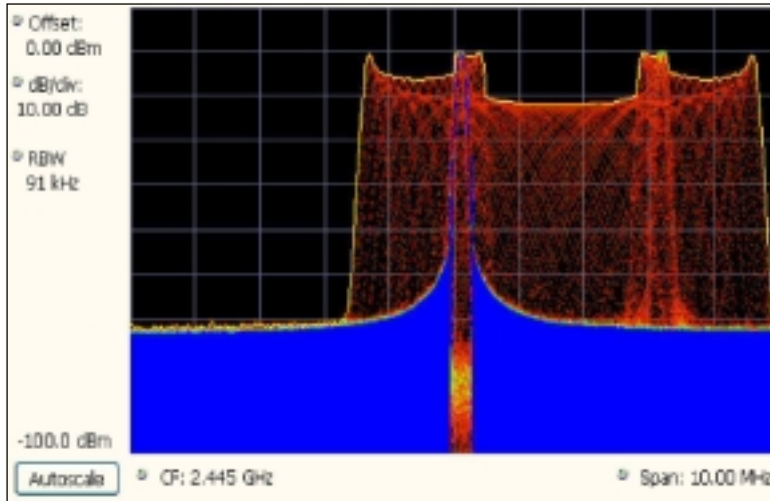
mienzan a ver algunos detalles adicionales en la pantalla, como se muestra en la figura 5. En cambio, después de tan solo 20 segundos, la pantalla de fósforo digital muestra una imagen mucho más informativa, como se puede ver en la figura 6. Mirando la pantalla de fósforo digital, es obvio a primera vista que la señal de CW está saltando hasta una frecuencia que es aproximadamente 3MHz más elevada que su punto de partida, pero que llega a superar esa frecuencia en más de 2,5MHz debido a una oscilación de sobreimpulso en el momento de la conmutación para acabar reposando finalmente en esos 3MHz. A continuación la frecuencia de la señal salta de nuevo a 2,4453GHz, con una cierta oscilación de sobreimpulso hasta que éste acaba amortiguándose hasta llegar a esa frecuencia de reposo.

Además del nivel del detalle en la pantalla del analizador de espectro, la probabilidad de captura (POI: Probability of Intercept) varía con los diversos tipos de analizadores.

Los analizadores de espectro de barrido y de barrido por pasos no

Figura 4

Figura 6



pueden proporcionar el 100% de POI para una señal que no esté continuamente presente porque pasan solamente un corto período de tiempo sintonizados en cada pequeña porción de la ventana de frecuencia durante cada barrido. Si algo sucede en cualquier otra parte de la ventana de frecuencia distinta a la frecuencia donde está sintonizado en ese momento, el evento no será detectado, ni visualizado. Hay también un período del tiempo entre barridos durante los cuales el analizador no está prestando atención a la señal de entrada. Los analizadores de espectro VSAs y otros basados en FFT también omiten las señales durante el

tiempo que transcurre entre las adquisiciones. Su POI es típicamente mejor que un analizador barrido, pero no obstante la mejora no es muy apreciable y depende de una combinación de factores entre los que se incluye el número de los puntos de la FFT, el tiempo de adquisición y la velocidad de barrido. Por otra parte, los RTSAs capturan datos de todas las frecuencias dentro de su ventana de frecuencia (Span) en tiempo real (hasta 110MHz en los RTSAs de más prestaciones) durante cada adquisición.

Con las características avanzadas únicas, tales como el disparo por máscara de la frecuencia, la POI de

estos instrumentos aumenta hasta el 100%, asegurando la captura de cualquier evento espectral que cumpla con la definición del disparo. Cuando trabaja en el modo de funcionamiento libre (Free Run) como es el caso de los analizadores de espectro de barrido tradicionales, los RTSAs tienen un POI similar a otros los analizadores basados en FFT, con espacios vacíos (sin capturar) entre cada adquisición. Sin embargo, la adición de la tecnología de fósforo digital a los RTSAs proporciona un POI del 100% en el modo de funcionamiento libre (Free Run) para cualquier señal durante al menos 24 microsegundos de largo y dentro del ancho de banda máximo en tiempo real del RTSA.

Además de garantizar la detección de los eventos infrecuentes y de corta duración incluidos en la señal, la tecnología de fósforo digital proporciona una representación verdadera de las señales múltiples del RF que ocupan el mismo rango de frecuencia. Pero resulta más espectacular que cualquier especificación técnica ver la rapidez con la que los diseñadores de RF y los operadores de red pueden descubrir y resolver los problemas con una clara visualización de las señales efímeras en la pantalla de fósforo digital. □