

Medidas en la capa física de la Señal Digital Serie

Por Juan Navalpotro

ABACANTODIGITAL

Traducción de "Physical Layer Testing of Serial Digital Signals" Nota de aplicaciones de Tektronix.



Juan Navalpotro

La actividad en el campo de la electrónica y especialmente en el de la TV se extiende desde 1962 con los once años de trabajo en Telefunken Ibérica, los seis últimos en el Laboratorio de Desarrollo de TV Color. Otros seis años (desde 1973) en Honeywell SA dedicado a la instrumentación y ordenadores de control de procesos industriales en tiempo real. Desde 1979 hasta 2002, veintidós años con Tektronix Española SA, y un año en PESA, 1982. Desde 1996 hasta 2002 la labor de desarrollo de mercados en Tektronix le permitió representar a dicha empresa en diversos organismos internacionales como el DVB (UER), UIT y 3GPP (ETSI) Actualmente es Director Gerente de Abacanto Digital SA, compañía que representa en España a Tektronix, Anritsu, Albalá Ingenieros, Rigol, Nextamp, Z-Technology.

La transición a la Alta Definición puede ser suave si se siguen unas esmeradas prácticas de ingeniería en las etapas iniciales de la planificación de la instalación. La selección de la clase de cable apropiado para las altas velocidades de flujo de una señal HD (High Definition) es crítica para asegurar una instalación de calidad. La instalación cuidadosa del cable evitando rizos (crimping) torceduras (twists) dobleces (bends) o tensiones (stresses) al cable asegurará que la señal de HD se transmita fácilmente desde el punto A hasta el punto B. Se pueden llevar a cabo procedimientos simples de comprobación y medida durante la instalación para asegurar el buen comportamiento de cada eslabón y asegurar que cada equipo funciona al máximo de sus especificaciones. Un Monitor de Forma de Onda con posibilidades de medida de Ojo y de Jitter es una herramienta invaluable para investigar los problemas de la capa física con señales SDI.

El cable

Los diferentes tipos de cables poseen diferentes propiedades físicas que permiten que una señal digital se propague a lo largo de una cierta longitud de cable. El fabricante del cable puede facilitar especificaciones para la distancia máxima recomendada que debe utilizarse para transportar señales de HD (Alta definición) y SD (Definición estándar) del tipo SDI (Serial Digital Interface) por un cable determinado.

Hay otros factores que pueden afectar la decisión acerca de que tipo de cable se utilizará y como asegurarse de que el cable se instala correctamente.

- El índice de temperatura del cable debe estar de acuerdo con el ambiente en el que se utilizará.
- Las dimensiones físicas del cable afectarán al tipo de conector BNC que se vaya a utilizar en la instalación.



- El grosor del cable afectará al radio de curvatura máximo y a la tensión de estiramiento que se le dará durante la instalación.
- El peso del cable y los múltiples puntos de apoyo o ataduras deben entrar en consideración, pues pueden causar tensiones a los cables una vez instalados.
- Las sujeciones mecánicas usadas para soportar las longitudes de cable deben ser adecuadas para soportar el peso de los cables.

Durante la instalación del cable es importante tratar el cable con respeto si se desea mantener la salud del sistema. La HD perdona mucho menos que una señal SD-SDI. Durante el proceso de instalación se puede someter al cable a unas tensiones que no se pueden ver físicamente pero que afectarán al margen de calidad del sistema. Si una persona pisa un cable o hace pasar un carrito sobre el cable se puede distorsionar su forma y aunque no parezca que se haya producido daño visible, afectará a las propiedades de propagación del cable. Cuando el cable se desenrolla del tambor de transporte es importante asegurarse que no se retuerce pues los dobleces pueden crear reflexiones cuando se transmite la señal.

La tabla 1 muestra algunos de los cables comúnmente usados y la distancia recomendada del cable tanto para SD como para HD, con velocidades de flujo de 270 Mb/s y 1,5 Gb/s respectivamente.¹

Durante la instalación, a menudo, es necesario tirar del cable a lo largo de los conductos previstos. Debe tirarse del cable de un modo lento pero constante. Los tirones en los cables o excederse en la máxima tensión permitida estirarán y distorsionarán las propiedades del cable. Incluso aunque aparentemente no haya daño visible, las propiedades físicas del cable pueden haber cambiado y resultar en una disminución de sus prestaciones. Debe utilizarse un lubricante "anti-fricción" compatible con la envoltura del cable cuando se realizan varias tiradas de cables múltiples.

A menudo, los cables, deben doblarse a para sortear ciertos obstáculos para cambiar el camino del cable. Cada tipo de cable tiene un radio de curvatura mínimo de unas 10 veces su diámetro. Excederse en este radio de curvatura es, de nuevo. Poner presión en el cable que puede causar tensión y degradación de sus propiedades. Debe notarse que un doblez de 90° del cable equivale a perder unos 10 metros en el camino de la señal.

Muchos de los cables se agrupan dentro de los racks de instrumentos y se llevan en bandejas de soporte de cable.

Un grupo grande de cables puede ser muy pesado y cada cable presionará a los demás ocasionando pérdida de características. No deben

Tipo de cable	HD-SDI	SD-SDI
Belden 8281	79 metros	305 metros
Belden 1694A	113 metros	415 metros
Belden 1855A	64 metros	229 metros
Belden 1505A	91 metros	1.110 metros
Image 1000	117 metros	404 metros
Canare L-5CFB	≈105 metros	368 metros

dejarse combaduras de más de 20 centímetros pues puede dar lugar a la distorsión del cable. Los instaladores, a menudo, usan sopotes o ganchos tipo J o incluso ataduras para soportar los mazos de cables. Una buena regla a tener en cuenta es que si no se puede mover cualquier cable dentro de un mazo, es que la atadura está demasiado fuerte. El espaciado de los soportes, ataduras o ganchos también es importante. Suelen disponerse, por simetría o por estética, igualmente espaciados. Pero hacer esto puede dar lugar a una deformación que se manifiesta como una acumulación de la disminución de las pérdidas de retorno a una determinada longitud de onda.² Por lo tanto las fijaciones de los cables deben disponerse a distancias aleatorias y deben además permitir el movimiento de cada cable dentro del mazo³.

Al conectar los cables a los equipos también es importante recordar que los mazos de cables han de doblarse y que cada cable debe alcanzar a un conector específico de su equipo con la curvatura correspondiente que pueden ocasionar tensión sobre el cable y el propio conector y a lo largo del tiempo puede dar lugar a fallos de contacto entre conductores y conectores. De nuevo extremo cuidado debe ponerse cuando el cable se conecta al equipo y los instaladores deben asegurarse de que el radio de curvatura y el peso de otros cables del mazo no pongan tensión sobre el cable ni el conector. Todas estas medidas ayudarán a mantener la forma física original del cable y mantener las propiedades del cable para obtener un comportamiento óptimo.

“Stress Testing”

Al contrario de lo que sucede en los sistemas analógicos, que tienden a degradarse paulatinamente, los sistemas digitales tienden a trabajar sin fallos hasta el punto de ruptura. Hasta la fecha

no hay medidas “en servicio” (in-service) que permitan medir el margen de una señal SDI. Es necesario recurrir a las medidas “fuera de servicio” (out-of-service) para evaluar la operación del sistema. Stress Testing consiste en modificar uno o más parámetros de la señal SDI hasta que ocurra un fallo. La cantidad de cambio del parámetro necesario para producir un fallo es una medida del margen de trabajo del sistema.

Comenzando con las especificaciones en el estándar que sea relevante para la señal digital serie (SMPTE 259M o SMPTE 292M) el proceso más intuitivo para “forzar” al sistema es añadir cable hasta que ocurran errores. Recuérdese que, a pesar que el vídeo se codifica digitalmente como un flujo de datos, la señal SDI en sí misma es de naturaleza analógica y sufre de los mismos tipos de distorsiones analógicas, tales como atenuación y desplazamientos de fase.

Para compensar estas distorsiones, se usa un ecualizador “adaptativo” de cable en la etapa receptora de los equipos. Este dispositivo compensa las pérdidas de señal y desplazamientos de fase de la señal debidos a la atenuación y pérdidas de respuesta de frecuencia a lo largo del cable. Añadiendo longitudes de cable adicionales al sistema, se pueden evaluar las características del receptor, especialmente el rango automático del receptor y comportamiento frente al ruido.

Los resultados experimentales indican que las medidas extendiendo la longitud del cable (cable length testing), en particular cuando se usan conjuntamente con las señales SDI Check Field descritas en las secciones siguientes, son las medidas de stress con más significado porque representan condiciones de operación real.

Medida de Stress en la longitud del cable

La una buena regla de sentido común para probar el margen de operación en un sistema es añadir una cierta longitud de cable a cada tramo en el sistema y verificar su funcionamiento. “Cable length stress testing” puede realizarse con cable coaxial propiamente o con un simulador de cable. El generador TG2000 HDST1 provee 20 y 100 metros de simulador de cable junto con la posibilidad de variar diversos parámetros como la amplitud, jitter y ciclo de trabajo.

La decisión acerca de qué longitud de cable debe añadirse a un sistema para proveer un margen aceptable es, de alguna manera, arbitrario. Para sistemas SD-SDI el organismo japonés de estandarización ARIB define 40 metros de cable, basados en medidas realizadas por dicha organización. En generadores SD-SDI como el TSG601 se incluye un simulador de cable de 50 metros, pero no hay actualmente ninguna recomendación para sistemas de HD. Por ello puede admitirse como regla a seguir que unos 50 metros de cable para SD y unos 20 metros para HD son longitudes razonables para usarse como margen adicional en cada tramo o enlace de un sistema.

El parámetro clave a medir es la aparición de errores porque es donde se define el punto de ruptura del sistema (crash point). Disponiendo de un método de medida de errores, la calidad de la medida se determinará por la agudeza de la curva de error en función de la longitud del cable. Después usando el instrumento de medida para monitorizar el ojo y el jitter, se puede determinar la calidad de la capa física de la señal.

SDI Check Field

La señal SDI Check Field (también conocida como “señal patológica”) es una señal de test a campo completo y por lo tanto debe ser utilizada “fuera de Servicio”. Es una señal difícil de manejar para el sistema digital serie y resulta ser una medida a realizar muy importante. LA SDI Check Field se especifica para crear un patrón de datos que representa un peor caso para energía de baja frecuencia después

Tabla 1. Tipos comunes de cables y distancias recomendadas

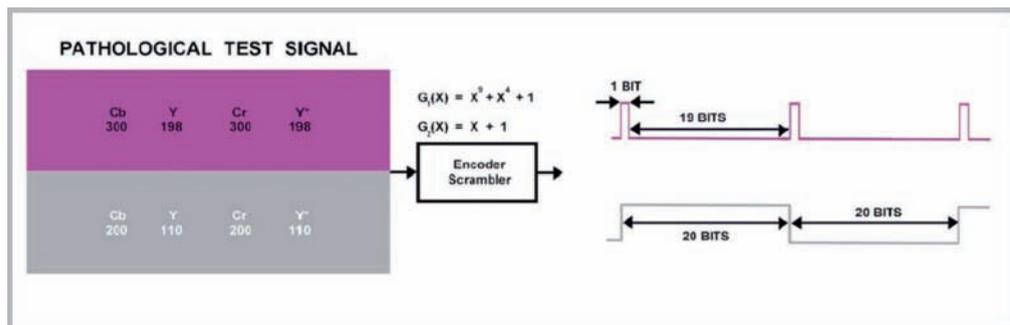
del embrollado (scrambling) en dos partes separadas del campo. Estadísticamente, estos intervalos ocurrirán una vez por cuadro de imagen.

Una componente de la señal SDI Check Field está diseñada para comprobar la operación de los ecualizadores por medio de la generación de una señal embrollada NRZI (Non-Return-to Zero Inverted) con una secuencia de 19 niveles bajos seguidos por uno alto (es decir 18 ceros seguidos de 2 unos) o al revés, 19 niveles altos seguidos de un nivel bajo (también son 18 ceros seguidos de 2 unos). Esto se repite a lo largo de una sola línea y una vez por campo, aproximadamente cuando el embrollador recibe la condición de arranque necesaria y persiste por toda la línea terminando al llegar el paquete EAV.

para la extracción del reloj. Esta parte de la señal suele aparecer como la mitad inferior de la pantalla como un tono Gris, con el valor de luminancia fijado a 110h SMPTE (44,0h en nomenclatura EBU) y ambos canales de croma fijados a 200h SMPTE (80,0h en nomenclatura EBU).

Algunos generadores pueden usar diferente orden de valores digitales, con tonos de color verdoso en lugar de magenta. Los receptores deben ser capaces de funcionar sin errores con la señal SDI Check Field. Esta señal es completamente legal para un sistema de componentes digitales, pero no lo es para el dominio de las señales compuestas. La señal SDI Check Field se define en SMPTE Recommended Practice RP178 para SD y en RP198 para HD.

Figura 1. SDI Check Field "Señal Patológica"



Esta secuencia contiene un alto nivel de componente continua (DC) que lleva al límite a las capacidades analógicas del equipo y sistema de transmisión que maneja la señal.

Esta parte de la señal de prueba suele aparecer en la mitad superior de la pantalla como un color uniforme de tono Magenta, con el valor de luminancia fijado a 198h SMPTE (66,0h en nomenclatura EBU) y ambos canales de croma fijados a 300h SMPTE (C0,0h en nomenclatura EBU) como se ve en la figura 1.

La otra parte de la señal está diseñada para comprobar el comportamiento de los circuitos recuperadores de reloj Phase-locked-Loop con una línea ocasional consistente en una secuencia de 20 niveles altos (es decir 19 ceros seguidos de 1 uno) seguidos por 20 niveles bajos (también son 19 ceros seguidos de 1 uno) que también se repite a lo largo de una línea hasta la llegada del paquete EAV. Esto proporciona un mínimo número de cruces por cero (unos)

Medida de errores CRC

Se puede usar un código CRC (Cyclic Redundancy Check) para dar información al operador, o incluso hacer sonar una alarma externa si los datos no llegan intactos. En los formatos de Alta Definición cada línea de vídeo lleva un par de códigos CRC con valores separados para luminancia y crominancia, mientras que en los formatos de Definición Estándar se pueden insertar, opcionalmente, en cada campo, son los denominados EDH. Se calcula e inserta un CRC en la señal de datos para comparación con otro CRC calculado nuevamente en el lado receptor.

Statistics	Status	Err Desc	Err Fields	% Err Fields
RGB Control Error	OK	RGB	398023	100.0000 %
Control Channel Error	OK	C	3	0.0008 %
Control Channel Error	OK	RGB	398023	99.9992 %
Y Chroma CRC Error	OK	Y	65	0.1544 %
C Chroma CRC Error	OK	C	42	0.1044 %
Y Anc. Checksum Error	OK	Y	0	0.0000 %
C Anc. Checksum Error	OK	C	20	0.0050 %

Figura 2. Presentación de estado "Status Display" mostrando errores de CRC de una señal HD-SDI

Para los formatos de definición estándar, el CRC se inserta en el intervalo vertical después del punto de conmutación. Se define en SMPTE RP165 define el método opcional para la detección y manejo de los errores de datos. Se calculan dos palabras de 16 bits, con valores separados de CRC para las señales de Campo Completo (Full Field) y de Imagen Activa (Active Picture), una vez cada campo. La parte de Campo Completo incluye todos los datos transmitidos exceptuando las líneas reservadas para conmutación en intervalo vertical (líneas 9 a 11 en sistemas de 525 líneas y líneas 5 a 7 en sistemas de 625 líneas). La parte de Imagen Activa cubre solo las palabras de datos correspondientes a la parte activa de vídeo comprendidas entre SAV y EAV, pero sin incluirlas. Las medias líneas (correspondientes al formato analógico, es decir líneas 23 y 623) no se incluyen. Los monitores digitales pueden mostrar los valores de CRC y alarmas en cualquiera de los errores CRC.

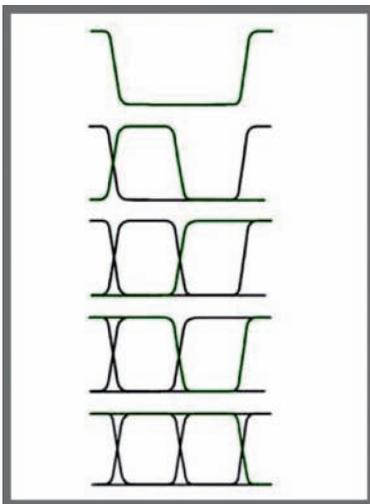
El CRC para los formatos de Alta Definición se define en SMPTE 292M y siguen a las palabras EAV y número de líneas, o sea, la comprobación con CRC se realiza línea por línea. Los Monitores de Forma de Onda WFM y los rasterizadores WVR de Tektronix presentan estos datos en la sesión de vídeo de la presentación de estado, tal como se muestra en la figura 2 y proporcionan el número de errores que han recibido campo a campo. El usuario, puede monitorizar el número de errores recibidos a lo largo del camino de transmisión.

Idealmente, el instrumento mostrará Zero Errors indicando un camino de señal libre de errores. Si el número de errores comienza a aumentar, hay que prestar atención a ello. Si el incremento es a un error por hora o por minuto indica que el sistema se acerca al límite digital (digital cliff). En estos casos, el ingeniero debe investigar y aislar la causa del error antes de que se alcance dicho límite digital y sea más difícil encontrar el problema.

Los errores visibles pueden apreciarse sobre la imagen inicialmente como efecto de centelleo de puntos blancos y negros a medida que el receptor falla en la recuperación de la información correctamente. Si la señal se degrada más, aparecerán líneas parciales o completamente perdidas antes de que finalmente la imagen se congele o valla a negro. En este punto la transmisión de la señal habrá cruzado el límite digital. Para prevenir esta situación la salud de la capa física ha de ser monitoreada.

Monitoreo de Ojo y Jitter

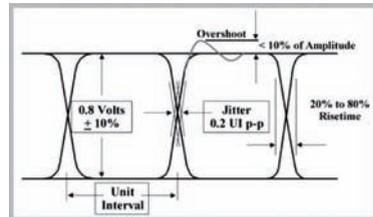
Los monitores WFM7100 y WFM6100, véase la figura 3, disponen de la posibilidad de monitorear la capa física de la señal SDI. Admiten la opción EYE para que el usuario pueda ver el diagrama de ojo de la señal SDI. El diagrama de ojo se usa para analizar las señales de datos serie y diagnosticar problemas. Familiarizarse con las características del diagrama de ojo puede ayudar a determinar problemas en el camino de la señal SDI.



El diagrama de ojo es una vista de tipo osciloscopio de la señal analógica que transporta los datos digitales. Los valores altos y bajos de la señal deben ser detectados con fiabilidad por el receptor para producir el reloj y los datos en tiempo real sin errores.

Para construir el diagrama de ojo, el instrumento alinea los segmentos muestreados en modo de tiempo equivalente usando un reloj de referencia. Este reloj se extrae por el propio monitor de la señal recibida. Las muestras en tiempo equivalente de este flujo de datos se superponen para reconstruir el diagrama de ojo tal como se muestra en la figura 4.

	SD	HD
Amplitud	800 mV +/- 10%	800 mV +/- 10%
Sobre impulso	10% de la amplitud	10% de la amplitud
Tiempo de subida y bajada	Comprendido entre 0,4 ns y 1,5 ns y no diferirán en más de 0,5 ns	No será mayor que 270 ps y no diferirán en más de 100 ps
Jitter Timing (10 Hz)	0,2 UI (740 ps)	1.0 UI (674 ps @ 1,4835 Gb/s)
Jitter Alignment	0,2 UI (740 ps) @ i kHz	0,2 UI (135 ps) @ 100 kHz



Los parámetros básicos medidos usando el diagrama de ojo son, amplitud de la señal, sobreimpulso, tiempo de subida y tiempo de bajada. El jitter puede también medirse con el diagrama de ojo si el ancho de banda del circuito de recuperación de reloj se especifica claramente. Los estándares SMPTE 259M, 292M y RP184 definen especificaciones para estos parámetros y la amplitud de salida de los dispositivos. Estas especificaciones están resumidas en la tabla 2 y en la figura 5.

Se recomienda utilizar un cable corto de alta calidad (típicamente 1 m) entre el dispositivo bajo test y el equipo de medida. En este caso los efectos del ruido y caída de respuesta de frecuencia serán insignificantes. El dispositivo debe suministrar una señal de barras de color, que es una señal no estresante.

El intervalo de tiempo entre dos transiciones adyacentes se denomina Intervalo Unitario (UI) y es el recíproco de la frecuencia del reloj. Este intervalo unitario es de 3,7 ns (270 Mb/s) para las señales de componentes de 525/625 líneas (SMPTE 259M) y de 674 ps (1,4835 Gb/s) para las señales de alta definición (SMPTE 292M). Visualizando el diagrama de ojo se pueden usar cursores para medir estos parámetros en el monitor. Una dificultad estriba en que cada operador puede dar diferentes resultados debido al proceso de muestreo y el ruido inherente a la señal pues puede ser difícil determinar la posición de los puntos de medida. Para mayor consistencia, el monitor de forma de onda puede hacer estas medidas automáticamente para conseguir resultados más precisos y repetibles,

consiste en la opción PHY, como se muestra en la figura 6.

Un receptor determina si la señal es alta o baja en el centro de cada ojo usando el umbral de decisión, figura 7, detectando así el bit transmitido en el flujo digital. Cuando se usa un cable corto para conectar el equipo que transmite con el receptor, el ecualizador de cable adaptable tendrá poco efecto sobre el sistema. El diagrama de ojo se denomina "abierto" pues hay una máxima distancia entre las transiciones en el punto de cruce. A medida que el ruido y el jitter de la señal aumentan a través del canal de transmisión se estrechará el ojo. A medida que el camino de la señal se hace mayor causará una atenuación de la señal y una caída mayor en las latas frecuencias con lo que el ecualizador de cable adaptable tendrá que compensar estas pérdidas.

Típicamente el receptor selecciona el mejor umbral de decisión en el centro del ojo para recuperar el reloj y los datos, sin embargo algunos receptores seleccionan un punto a una distancia fija después de cada punto de transición. Cualquiera que sea la causa que cierre el ojo puede reducir la utilidad de la señal recibida. En un sistema general de comunicaciones

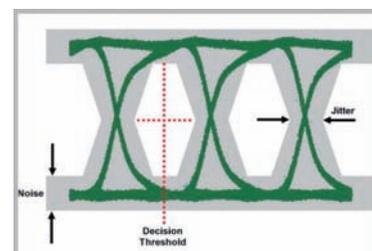
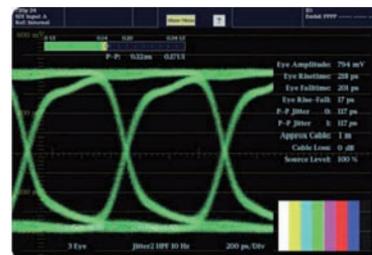


Tabla 2. Especificaciones del diagrama de ojo.

Figura 5. Especificaciones del diagrama de ojo.

Figura 3. Monitor de Forma de Onda WFM7100 mostrando el diagrama de ojo.

Figura 4. Formación del diagrama de ojo.

Figura 6. Medidas de ojo automáticas.

Figura 7. Umbral de decisión en el ojo.

con sistemas de compensación de errores FEC (Forward Error Correction), se pueden recuperar los datos con gran precisión aunque el ojo esté prácticamente cerrado utilizando ambos, ecualización y FE. Sin embargo, sin FEC y con el requerimiento tan exigente respecto a los errores en la transmisión de la señal de vídeo digital serie es necesario disponer de una buena y limpia apertura de ojo después de la ecualización. Esto es así debido a la naturaleza aleatoria de los procesos que cierran el ojo que tienen "colas" estadísticas que pueden causar un error ocasional pero inaceptable. Es conveniente tener en cuenta que el ecualizador SDI se optimiza para compensar las pérdidas del cable coaxial y no ecualiza las distorsiones lineales.

Medidas de Jitter

Idealmente, el intervalo de tiempo entre transiciones en una señal SDI debe ser un múltiplo entero del intervalo unitario. Sin embargo, en la realidad, las transiciones en una señal SDI pueden variar respecto a sus posiciones ideales. Estas variaciones se denominan Time Interval Error (TIE) y más comúnmente jitter. Estas variaciones de tiempo pueden ser inducidas por una variedad de efectos relacionados con la amplitud, la frecuencia o la fase (Se puede encontrar información más detallada sobre el jitter en el Tektronix Primer "Understanding Jitter Measurements for Serial Digital Signal").

Los monitores de Tektronix usan el método de demodulación de fase para medir automáticamente el jitter de vídeo pico a pico en las señales SDI de HD y SD. El monitor de forma de onda mide el jitter en una señal SDI ecualizada que corresponde muy cercanamente a la señal que descodifican los receptores. Puesto que no existe reloj separado que acompañe a los datos de vídeo, el reloj de muestreo ha de recuperarse detectando las transiciones de datos. Esto se lleva a cabo recuperando la energía alrededor de la frecuencia esperada del reloj y excitando a un oscilador de gran ancho de banda que engancha en tiempo real con la señal de entrada. Este oscilador ataca a otro oscilador con circuito de enganche de fase altamente promediado por medio

de un ancho de banda muy estrecho. Estos osciladores se comparan en un demodulador de fase.

Este comparador de fase genera una señal remodulada en tiempo real y muestra una forma de onda del jitter que es correlacionada a la frecuencia de líneas y/o a la frecuencia de campos de la señal de vídeo y el usuario puede seleccionar anchos de banda para filtrar "paso-alto" la señal de jitter demodulada.

Hay dos definiciones de tipos de jitter como se especifica en SMPTE RP184:

Jitter de posición (Timing Jitter)

Es la variación en posición de las transiciones de una señal que ocurren a una velocidad mayor que una frecuencia específica, típicamente de 10 Hz o menos. Variaciones ocurridas por debajo de esta frecuencia específica se denominan wander.

Jitter de alineamiento (Alignment Jitter)

Es la variación en posición de las transiciones de una señal relativas a las de un reloj extraído de esa señal. La banda de paso del proceso de extracción del reloj determina el límite inferior de frecuencias para el jitter de alineamiento. Para los sistemas de SD este límite de frecuencia es de 1 kHz y para los sistemas de HD este límite de frecuencia es de 100 kHz.

El timing jitter permitido se especifica como 0,2 UI para señales SD (740 ps para componentes digitales de 525 y de 625 líneas") y de 1,0 UI (674 ps) para formatos de de HD. En el caso de jitter de alineamiento, la especificación permite 0,2 UI bajando hasta una frecuencia de 1 kHz para SD y bajando hasta 100 kHz para HD.

Los sistemas de video digital funcionan bien incluso más allá de estas especificaciones, pero fallarán en algún punto. Desafortunadamente

es difícil caracterizar cuando ocurrirá dicho fallo y por ello es vitalmente importante mantener la salud de la señal digital y prevenir así una condición que causaría un fallo del sistema más allá del límite digital (digital cliff) debido al jitter.

Diagnosticando problemas de la capa física SDI

La amplitud de la señal es muy importante debido a su relación al ruido y porque el receptor estima la compensación de alta frecuencia (ecualización) basado en la energía remanente a la mitad de la frecuencia del reloj de la señal recibida. Amplitudes incorrectas en la salida de señal pueden resultar en ecualizaciones incorrectas aplicadas en el lado receptor, causando distorsiones en la señal. Las medidas del tiempo de subida se realizan en los puntos del 20% y del 80% como es apropiado para circuitos lógicos ECL. Un tiempo de subida incorrecto puede causar distorsiones de señal tales como rizado y sobreimpulso (ringing and overshoot) o, si es demasiado bajo, puede reducir el tiempo disponible para el muestreo dentro del ojo. Los sobreimpulsos pueden estar causados por tiempos de subida incorrectos, pero es más probable que estén causados por discontinuidades de impedancia o pobres pérdidas de retorno en el lado receptor o en el lado emisor.

Analizando las presentaciones del ojo y del jitter, los ingenieros pueden determinar posibles problemas asociados con la transmisión de la señal SDI. La figura 8a muestra una señal HD-SDI de un generador conectado al monitor de forma de onda por medio de un corto cable de solo 1 metro de longitud. Se pueden hacer medidas manualmente por medio de cursores de amplitud y de tiempo que se superponen al diagrama de ojo. Se pueden realizar medidas automáticamente por el instrumento de manera opcional.

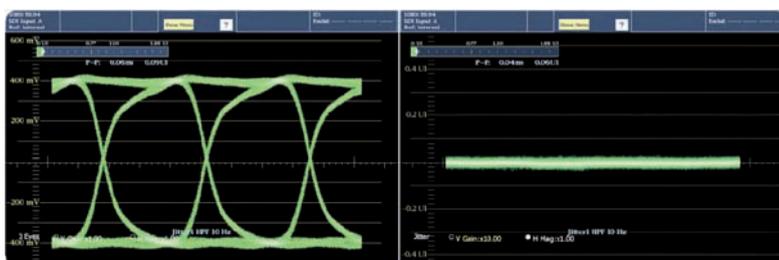
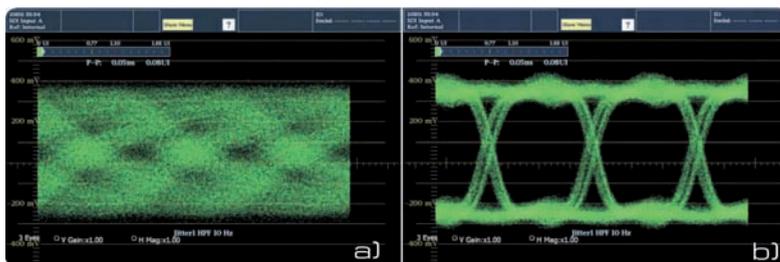


Figura 8. (izquierda) Ojo de señal HD-SDI y (derecha) forma de onda del jitter usando un cable de corta longitud, 1 m.

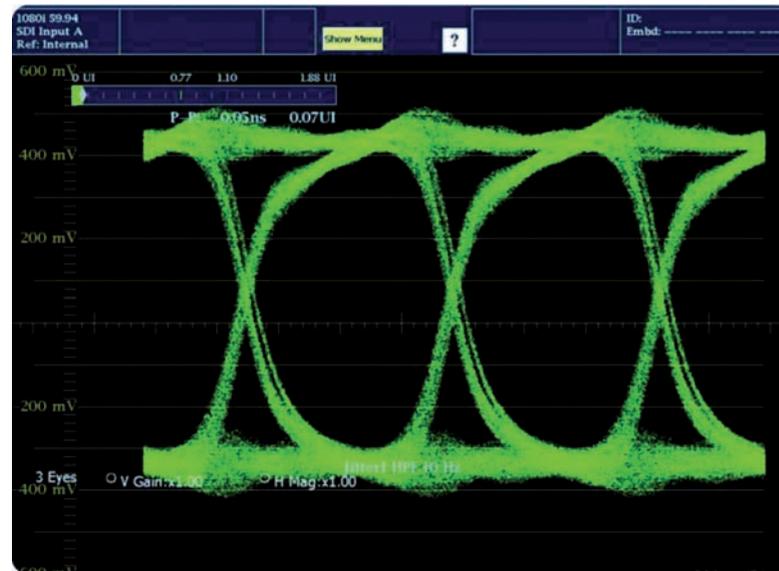
En el ejemplo de la figura 8 (izquierda) el ojo está muy abierto y la señal está dentro de la amplitud de lanzamiento especificada en el SMPTE292. La presentación del jitter es una línea horizontal, y cuando se magnifica a su margen máximo muestra ruido aleatorio a lo largo de la línea horizontal. Este es, básicamente, el ruido de fondo del sistema tal como se puede ver en la figura 8 (derecha).

Si se añaden 40 metros de cable Belden 8281 entre el generador y el instrumento, resulta en una atenuación de amplitud en las altas frecuencias produciendo unos tiempos más largos de subida y bajada en la señal. Las pérdidas a lo largo del cable estrechan la apertura del ojo y este deja de ser claramente visible, tal como se muestra en la figura 9a. Sin embargo, esta señal todavía puede ser descodificada correctamente. En este caso el modo de ojo ecualizado disponible en los monitores WFM7100/6100 permiten al usuario observar la apertura del ojo tal como se muestra en la figura 9b. La presentación "Equalized Eye" muestra la señal que los receptores con ecualizador adaptivo podrán descodificar.



Una terminación adecuada dentro de un sistema HD-SDI es incluso más crítico debido a la alta velocidad de reloj de la señal. Una terminación impropia significará que no toda la energía será absorbida por el dispositivo receptor. Esta energía residual se reflejará hacia atrás en el cable creando una forma de onda distorsionada. Estas reflexiones pueden producir rizado y sobreimpulsos en el diagrama de ojo según se muestra en la figura 10.

En este caso el dispositivo fuente de la señal SDI tiene dos salidas débilmente aisladas entre sí. Una se dejó sin terminar con



la impedancia característica correspondiente (75Ω) creando una reflexión en la otra salida que se está monitoreando, a pesar de que ésta sí estaba terminada apropiadamente.

La anomalía puede ser corregida terminando apropiadamente la salida no conectada. Nótese que este error de terminación, por sí mismo, no causó un problema a la señal recibida. Sin embargo estas distorsiones se añaden a otras

Hay dos tipos de jitter:

Jitter aleatorio (Random jitter)

El jitter aleatorio es inherente de algún modo a todos los sistemas pues se introduce por ruido térmico o ruido impulsivo de los dispositivos. Este tipo de jitter se caracteriza por una distribución de probabilidad Gaussiana sin acotar. Por lo tanto, el valor RMS (Root Mean Squared) del jitter es el adecuado como una medida universal de la amplitud del jitter. Sin embargo, puesto que son los picos de jitter los que causan los errores, incluso si ocurren con baja probabilidad debido a la naturaleza Gaussiana de la distribución, los valores de pico o de pico a pico del jitter son muy importantes y deben cuantificarse.

Jitter determinístico (Deterministic jitter)

El jitter determinístico tiene una naturaleza periódica pero se caracteriza primeramente como estando acotado por con un máximo valor pico a pico. El jitter determinístico se caracteriza más fácilmente dentro de un sistema que el jitter aleatorio puesto que, generalmente, no depende del tiempo de medida. El jitter determinístico puede ser introducido por un dispositivo dentro del sistema por un número de condiciones tales como:

- Una fuente de alimentación conmutada puede introducir jitter determinístico periódico relacionado con las frecuencias de conmutación de la fuente o relacionado con la frecuencia de la red eléctrica de 50/60 Hz.

Figura 10. Diagrama de ojo de una señal con terminación incorrecta.

Figura 9. (a) Diagrama de ojo con el ojo cerrado y (b) con el ojo ecualizado de la misma señal

- Diferencias en los tiempos de subida y bajada de las transiciones de un dispositivo puede introducir jitter de ciclo de trabajo (duty-cycle) en el sistema.
- Un dispositivo durante el procesamiento de las señales de vídeo puede introducir jitter periódico relacionados con las frecuencias de líneas y de cuadros. Por ejemplo un dispositivo que está enganchado en gen-lock a una referencia de vídeo puede causar variaciones en el master clock. Estas componentes de jitter relacionado a las frecuencias de líneas y cuadros pueden transferirse a la señal SDI de salida.
- El proceso de conversión paralelo a serie en un dispositivo puede introducir jitter correlacionado con la palabra digital (word-correlated) a la salida SDI.
- En algunos casos la respuesta de frecuencia del cable puede producir jitter dependiente de los datos transmitidos a lo largo del cable.

El jitter dentro de una señal SDI cambiará el instante de tiempo en el ocurre una transición y causar un ensanchamiento global del punto de de la transición tal como se muestra en la figura 7. Este jitter puede causar un estrechamiento o cerrado del ojo y hacer más difícil la determinación del umbral de decisión. Solo es posible medir hasta un intervalo unitario (UI) de jitter dentro del diagrama de ojo con el uso de los cursores manualmente o haciendo medidas automáticas basadas en el diagrama de ojo. También es difícil, con el diagrama de ojo, determinar los eventos de jitter que ocurren infrecuentemente porque la intensidad de estos eventos serán más difíciles de observar comparados a las transiciones regularmente repetibles de la señal SDI.

Figura 12. Jitter de zumbido de 60 Hz procedente de la red eléctrica.

que son muy útiles en los sistemas operacionales para indicar cuando una señal SDI excede los umbrales de jitter. Este umbral es seleccionable por el usuario. La barra está configurada de modo que muestre un margen alrededor del umbral seleccionado. El total de la barra representa un 170% de dicho umbral y cambia desde un verde a un amarillo y finalmente rojo a medida que el valor medido del jitter aumenta, como se muestra en la figura 11. El cambio entre el verde y el amarillo se encuentra en el 70% de la barra y el cambio entre el amarillo y el rojo está en el 100%, dejando otro 70% para el valor rojo. Esto permite una fácil visualización de un problema potencial de la señal SDI y ver rápidamente cualquier cambio en el comportamiento de jitter del sistema. La lectura de jitter se ve afectada por el filtro elegido y puede proporcionar lectura de timing jitter o de alignment jitter seleccionando el filtro adecuado.

sistemas hay presente una pequeña cantidad de jitter pero la traza debe ser una línea horizontal. Aumentando la ganancia diez veces mostrará el ruido inherente o ruido de fondo del sistema de medida como se ve en la figura 8b. Este ruido debe ser aleatorio en naturaleza y no correlacionado con la señal de vídeo. Si no es así, lo más probable es que haya una componente de jitter determinístico en la señal.

Si hay zumbido de red en la señal se añadirá una desviación de la traza a la frecuencia de red. Esto producirá una perturbación cíclica vertical en la traza de jitter relacionada con dicha frecuencia de red como puede verse en la figura 12. hay una variedad de filtros en el instrumento que pueden ayudar a aislar las frecuencias de jitter. La selección del filtro de 100 Hz reducirá el efecto del zumbido de red sin atenuar las componentes relacionadas con la frecuencia de líneas ni otras frecuencias superiores.



Figura 11. Umbral de decisión del ojo.



En la opción de medida de ojo de las familias de monitores de Tektronix WFM7000 y WFM6000 se dispone de una lectura de jitter en la pantalla del diagrama de ojo. Este indicador provee los resultados de medida tanto en unidades de intervalo como en tiempo equivalente. Esta barra de tipo termométrico para el jitter proporciona avisos simples,

Sin embargo, para caracterizar mejor los diferentes tipos de jitter, la presentación de forma de onda del jitter ofrecida por la opción PHY de los monitores permite un método superior para investigar los problemas de jitter de la señal que el diagrama de ojo y la barra del jitter. La forma de onda del jitter puede mostrarse como una línea, dos líneas, un campo y dos campos de la señal de vídeo. Al investigar el jitter es útil seleccionar el modo de dos campos y aumentar la ganancia vertical. En todos los

Las lecturas de la barra siguen dando valores en intervalos unitarios y en unidades de tiempo. Si las medidas exceden el umbral seleccionado, la zona correspondiente de la barra termométrica se vuelve roja y esta condición de alarma puede ser incluida en el informe "Error log" del sistema de manera que estos errores pueden ser consultados a lo largo del tiempo para ver sus variaciones y esto puede ayudar a determinar cuando ocurre un error en el sistema.



Figura 13. Medida simultánea del jitter de alineamiento y de timing.

aislar todas las componentes individuales de jitter, y una forma simplificada de aislarlos es utilizar los filtros paso banda disponibles en el instrumento.

Echando un vistazo mas cercano a los componentes de de frecuencia derivados de la señal en la figura 14 y poniendo el filtro paso bajos de 10 Hz (Timing jitter) y mirando a la forma de onda del jitter en el modo de dos campos puede verse una variedad de componentes de frecuencia presentes en la señal. Puede ser difícil aislar cada componente individualmente pero el uso de los filtros de paso banda puede ayudar a ver dentro de qué rango de frecuencias se encuentran la mayor parte de los componentes que contribuyen al valor pico a pico del jitter.

Por medio del menú del instrumento se pueden aplicar filtros de 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz y 100 kHz. En el ejemplo mostrado en la figura 15, se han usado diferentes filtros y se muestran la lectura directa del jitter así como la forma de onda del jitter en cada caso.

Figura 14. Presentación de las medidas automáticas en la opción PHY.

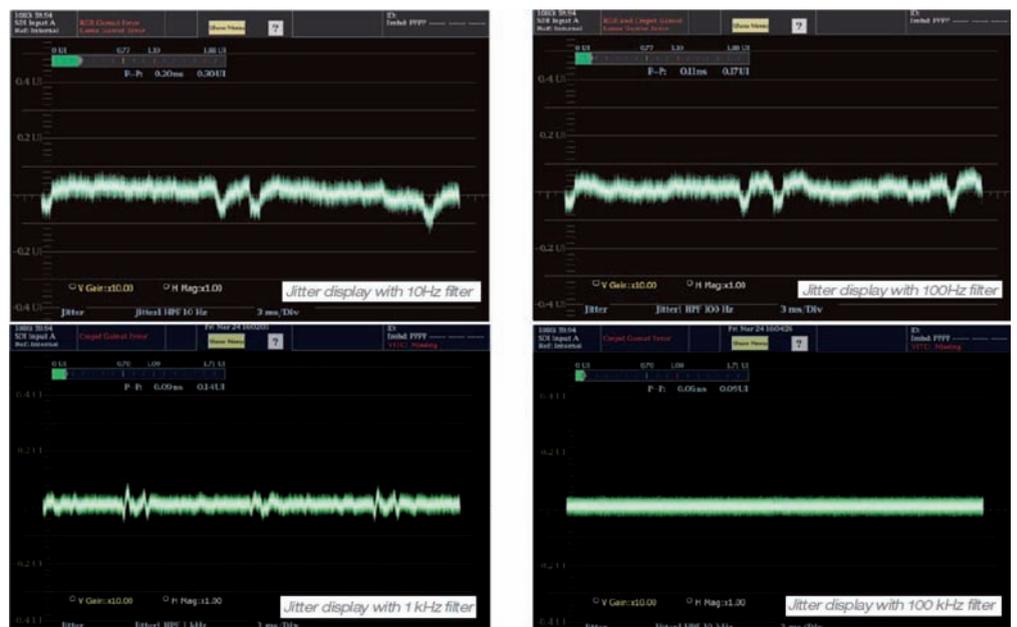
Con el filtro fijado a 10 Hz la medida del jitter es de 0,3 UI y se aprecian perturbaciones en la traza al ritmo de cuadros. También hay ocasionales desplazamientos verticales en la traza cuando se observa en el monitor (que no se ven en la instantánea de la fotografía) que dan lugar a medidas pico a pico mayores que las que pueden apreciarse visualmente observando la pantalla. Esto indica que puede haber una componente de wander en el jitter de la señal.

Figura 15. Forma de onda del jitter con diferentes filtros



En los monitores de las series WFM7000 y WFM6000 es posible medir simultáneamente el jitter con dos filtros diferentes. Por ejemplo un filtro puede seleccionarse para medir timing jitter y otro para medir alignment jitter. En la figura 13 se muestran los oscilogramas 1 y 2 asociados con las medidas de jitter 1 y los 3 y 4 están asociados con la medida de jitter 2. En este caso se han seleccionado los filtros de Timing (oscilogramas 1 y 2) y de Alignment (oscilograma 4) permitiendo la comparación del jitter entre dos filtros paso-alto diferentes.

El caso simplificado de la figura 12 muestra un componente individual de jitter a 60 Hz. Sin embargo en muchos casos puede haber componentes de jitter de diversas frecuencias en la señal como en la figura 13. Puede ser difícil



Cuando se aplica el filtro de 100Hz algunos de los componentes de jitter se reducen y los saltos verticales de la traza no aparecen. Esto crea una presentación más estable y la medida ahora es de 0,17 UI. Sin embargo las distorsiones al ritmo de cuadros siguen presentes. El uso de un filtro de 1 kHz reduce los componentes adicionales del jitter y la traza se parece más a una línea plana, aunque las perturbaciones a la frecuencia de cuadros todavía pueden apreciarse. El valor numérico del jitter no cambió mucho entre los filtros de 100 Hz y de 1 kHz (de 0,17 UI a 0,14 UI). Con el filtro de 100 kHz la traza se vuelve prácticamente plana y la lectura del jitter es significativamente menor 0,07 UI. En este ejemplo la salida del dispositivo está dentro de parámetros normales y provee una señal a nivel de capa física que puede ser descodificada por los receptores que la reciban.

Normalmente a medida que el ancho de banda se estrecha pues la selección del filtro aumenta se puede esperar típicamente que la medida de jitter se haga menor como en este caso. Pero supóngase que a medida que el valor del filtro se hace mayor y se estrecha la banda pasante el valor del jitter aumenta. ¿Qué significaría esto en una señal SDI?. En un caso así una explicación de este hecho sería que un pulso de jitter podría estar presente en la señal y que la mayor parte de la energía de este pulso se encuentra en el borde de la banda de paso de un filtro. En lugar de desaparecer esta componente del jitter, lo que ocurre es que se diferencia dicho pulso y se produce un rizado en los flancos de subida y bajada de las transiciones de dicho pulso produciendo efectivamente un valor pico a pico mayor en la medida del jitter.

Este ejemplo se ha usado para ilustrar como determinar problemas de jitter dentro de un dispositivo o de un sistema. Sin embargo, a veces hay componentes de muy baja frecuencia de jitter dentro del dispositivo que pueden causar problemas en longitudes de cable grandes o en la conversión a señal analógica compuesta. Jitter de muy baja frecuencia en la señal. Típicamente por debajo de 10 Hz, se denomina wander y generalmente no se considera parte de las medidas de jitter. El wander puede ocasionar su propio conjunto de problemas en un sistema.

Por ejemplo, en redes de comunicaciones del tipo ATM que transportan una señal SDI, o un sistema de transporte del tipo usado en sistemas MPEG pueden introducir componentes de wander (desplazamientos momentáneos de frecuencia) en el sistema. En estos casos no suele observarse ningún efecto al descodificar la señal SDI, aunque en el diagrama de ojo puede observarse una ligera oscilación del ojo hacia delante o hacia atrás. Si esta señal SDI se aplica a un codificador de señal compuesta, las componentes de wander pueden introducir pequeñas variaciones de frecuencia en el Burst de la señal compuesta. Cuando esta señal compuesta se engancha en gen-lock en el estudio, es posible observar movimientos ocasionales en la posición del Burst cuando se ve en un vectorscopio. Algunos registradores antiguos tienen a menudo problemas en el seguimiento del wander y graban un desplazamiento permanente de color en la señal de video.

En algunos casos puede observarse un flash de color en el monitor de imagen si la perturbación es significativa y causa el desenganche del Burst. En estos casos será necesario trabajar a lo largo del sistema para encontrar la pieza específica de equipo que produce esa componente de wander.

En el diseño de estos sistemas SDI, es posible caracterizar más los componentes individuales del jitter por medio del uso de la salida del demodulador de fase disponible con las opciones de EYE y PHY de los monitores de las familias WFM7000 y WFM6000. Esta

señal de salida puede aplicarse a un osciloscopio con capacidad espectral vía FFT o a un analizador de espectros para un análisis más detallado de las frecuencias componentes de jitter presentes en la señal SDI.

El diagrama de ojo tiene típicamente los cruces de las transiciones en el medio del diagrama en los puntos del 50% como se muestra en la figura 8a, pero si el tiempo de subida y de bajada de las transiciones de la señal son desiguales, entonces dicho punto de cruce se desplaza del 50% hacia arriba o hacia abajo dependiendo del grado de desigualdad entre las transiciones. El acoplamiento en alterna (AC) dentro de los dispositivos receptores de señal desplazará los niveles altos o bajos de la señal hacia el umbral de decisión reduciendo el margen de ruido. Típicamente, las señales SDI tienen tiempos de subida y bajada simétricos, pero excitadores de línea y adaptadores electro-ópticos pueden introducir asimetrías en las transiciones como se indica en la figura 16.

Aunque sean potencialmente significantes, estas asimetrías de las fuentes de señal no tienen especial impacto en los tiempos de subida y bajada, en particular, la atenuación del cable suele tener más impacto en los tiempos de transición de las señales. Pero sin una compensación apropiada u otros ajustes, las asimetrías en las señales SDI pueden reducir los márgenes de ruido con respecto a los umbrales de decisión usados en los receptores y pueden dar lugar a errores.

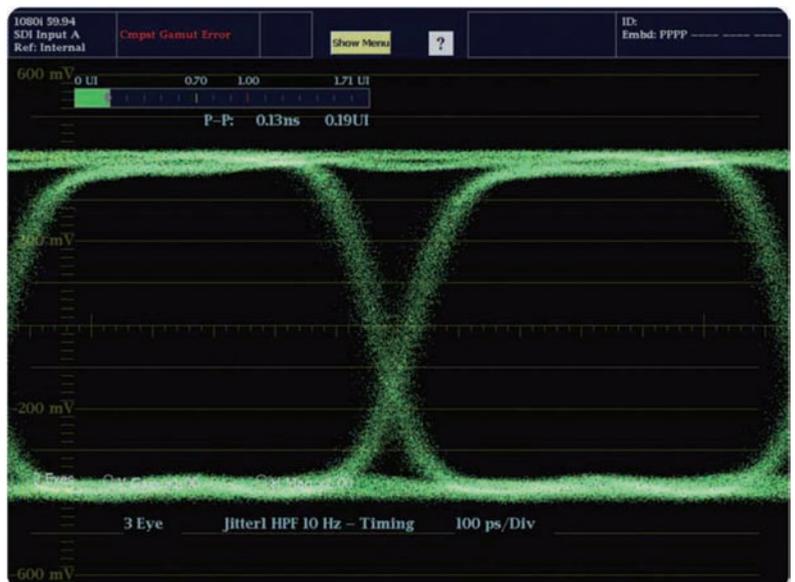


Figura 16. Diagrama de ojo con diferentes tiempos de subida y bajada.

Hasta este punto se ha mostrado la presentación típica de tres ojos que es común en muchos instrumentos. Este tipo de diagrama no está correlacionado con la estructura de datos de la señal SDI. En el proceso de conversión la señal SDI desde un bus de datos en paralelo a una señal serie ocurre un determinado número de procesos. En la señal de definición estándar (SD) los 10 bits de datos de las componentes Cb, Y, Cr, Y* del flujo de datos se aplican al registro de desplazamiento que proporciona la salida en formato NRZ (Non-Return to Zero). Después de la serialización de la información paralelo, el flujo de datos se embrolla o aleatoriza dividiendo por la función matemática siguiente:

$$G1(x) = X9 + X4 + 1$$

Donde los exponentes representan retardos de reloj y los signos "más" representan la suma módulo 2 (exclusive OR). Después se codifican al formato NRZI (Non-Return to Zero Inverse) por la concatenación con la función:

$$G2(x) = X + 1$$

El embrollado de la señal hace que estadísticamente haya un bajo contenido de componente continua (DC) para un mejor manejo y hace que haya un mayor número de transiciones para facilitar la recuperación del reloj. El formateo a NRZI hace que la señal sea insensible a la polarización puesto que un "uno lógico" se obtiene por un cambio de nivel desde el intervalo del bit anterior (Hi/Lo o Lo/Hi) en lugar de estar representado por un nivel de voltaje alto o bajo. Un "cero lógico" se obtiene cuando no hay cambio de nivel desde un intervalo de bit al siguiente (Hi/Hi o Lo/Lo).

En el caso de la señal HD el proceso del flujo de datos en paralelo es de 20 bits en lugar de los 10 bits multiplexados que se usan en SD. El resto del proceso de serialización es el mismo que en SD. En estos procesos de serialización las variaciones de reloj en el registro de desplazamiento o determinados patrones de datos de la señal de video pueden dar lugar a jitter correlacionado con las palabras a 1/10 o a 1/20 de la frecuencia del reloj.

Para aislar el jitter correlacionado con las palabras en la serialización de la señal SDI, se puede disponer de diagramas de 10 ojos para SD y de 20 ojos para HD. Estos diagramas están correlacionados con las palabras de datos de la señal SDI y deben mostrar aperturas de ojo idénticas para cada uno de los bits de la palabra de datos tal como se

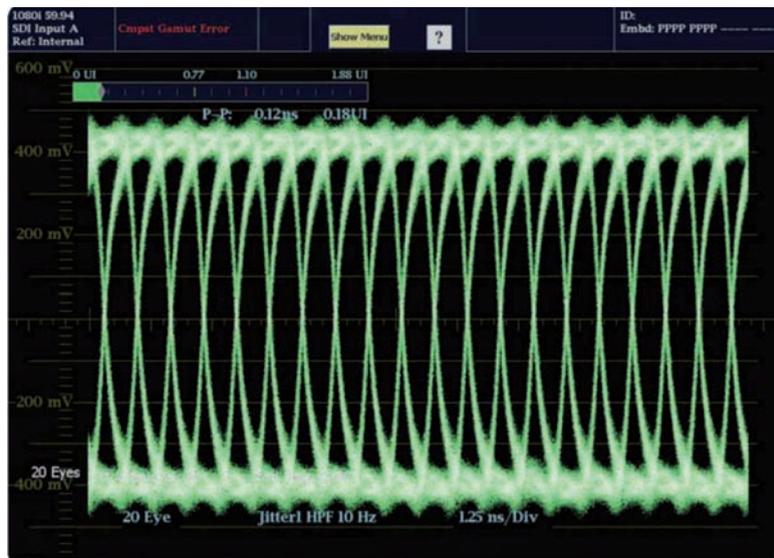


Figura 17. Diagrama de 20 ojos de una señal HD-SDI

muestra en la figura 17 para esta señal de HD. Ciertas estructuras de datos de la señal de video o la conversión incorrecta en el proceso de serialización pueden afectar la estructura de los diagramas de 10 o 20 ojos.

En la figura 18, se aplicó al monitor la señal de test del ecualizador, es la señal patológica que crea con cierta frecuencia el patrón de bits específico (18 ceros seguidos de 2 unos) para verificar el comportamiento de los ecualizadores. Esto ocurre cada vez que el circuito embrollador alcanza la condición inicial necesaria. En la parte de la figura con 20 ojos se ve como una zona borrosa en las partes alta y baja pero en la parte de barrido en campo completo se pueden distinguir claramente las dos líneas de barrido en las que ha ocurrido dicho patrón.

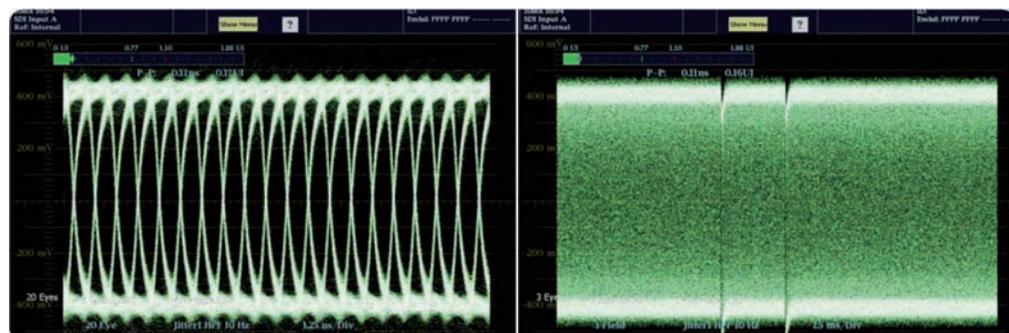
Cuando se cualifica un sistema es útil conocer la longitud de cable por la que está pasando la señal. Los monitores de las series WFM7000 y WFM6000 así como en las series WVR se dispone de una medida de longitud de cable dependiente del tipo de cable usado. Están disponibles varios de los cables más comúnmente utilizados (Belden

8281, 1505, 1695^a, 1855^a, Image1000 y Canare L5-CFB). La medida de cable equivalente es útil cuando se evalúa un problema o cuando se mide un cable determinado. Sin embargo, si en una instalación se está utilizando un tipo de cable diferente no hay que considerar que la medida no pueda hacerse. No es este el caso, pues la mayoría de los fabricantes especifican la longitud de cable que la señal de sus dispositivos puede transmitir utilizando uno de estos tipos de cables listados, por lo que basta con seleccionar dicho tipo y evaluar si la instalación no excede la longitud especificada.

Una vez que se ha seleccionado el tipo de cable, con la señal aplicada al instrumento se proveerán las medidas de pérdidas en el cable, longitud de cable y nivel estimado de la señal en la fuente.

- Pérdidas en el cable (Cable Loss) muestra la pérdida de señal en dB a lo largo de la longitud de cable empleada. El valor 0 dB indica que la señal tiene sus buenos 800 mV mientras que un valor de -3 dB indicaría que solo el 70,7 % de la señal está llegando al equipo de medida, es decir unos 560 mV.

Figura 18. Señal patológica de prueba de los ecualizadores con presentación de 20 ojos y de dos campos.



- Longitud del cable (Cable Length) indica la longitud equivalente de cable, del tipo seleccionado, que hay entre la fuente de la señal y el monitor de forma de onda. El instrumento calcula la longitud basado en la caída espectral de la señal recibida y es independiente del nivel de señal recibido. Se usa el tipo de cable seleccionado para calcular la longitud física de dicho cable o la longitud equivalente si se usa otro cable diferente o una concatenación de dos tipos de cable diferente.
- Nivel de señal (Signal Level) muestra la amplitud calculada de la fuente de señal suponiendo un solo tramo de cable, basado en el tipo especificado y la longitud calculada del mismo.

Estos tipos de medidas pueden ser particularmente útiles cuando se cualifica un sistema para verificar su rendimiento. Conociendo el rendimiento o comportamiento especificado por el fabricante para el tipo de cable utilizado en la instalación el integrador del sistema puede verificar simplemente que cada tramo del sistema está dentro del rendimiento operacional de la recomendación del fabricante respecto a la máxima longitud de cable a utilizar. Por ejemplo en la tabla 1 se ve que la máxima longitud recomendada para un cable Belden 1505A para una señal HD es de 91 metros. Si la presentación de estatus de la señal SDI del monitor forma de onda indica que la medida es de 89 metros, entonces el instalador o integrador sabe que el sistema solo tiene un margen de seguridad de unos 2 metros en el sistema.

El ingeniero del sistema debe decidir, entonces, si esto es admisible para la aplicación. Recuérdese que esta medida supone que se trata de un solo tramo de cable, aunque en la realidad pueden ser varios tramos concatenados. En algunos casos esta medida puede haberse realizado con varios dispositivos activos en el camino de la señal. Si es este el caso, entonces cada tramo ha de medirse separadamente con una señal de test aplicada a un extremo del cable y el equipo de medida en el otro. Esto dará una medida más fiable de la longitud del cable en cada tramo del sistema y permitirá asegurarse de que el sistema tiene suficiente margen en cada tramo⁴.

Si la distancia excede la recomendada por el fabricante del cable conviene intercalar dispositivos activos en el camino de la señal y se puede elegir entre diversos tipos de amplificadores de distribución.

Amplificador de distribución con ecualizador (Equalizing Distribution Amplifier, DA) Este tipo de dispositivo tiene un ecualizador de cable a su entrada que compensará las pérdidas de señal debido a la pérdidas del cable incluyendo la caída de las altas frecuencias y restablecerá la amplitud de la señal, pero no eliminará ningún jitter inherente o ruido que pueda estar presente en la señal. Este tipo de amplificador ecualizador debe utilizarse para longitudes pequeñas de cable donde una señal ha de repartirse a múltiples salidas. Sin embargo no se recomienda para poner múltiples DAs en cascada pues el jitter tiende a acumularse a lo largo de todo el recorrido.

Amplificador de distribución restaurador de reloj (Re-clocking Distribution Amplifier, DA) Este tipo de dispositivo, no solo dispone del ecualizador sino que también extrae el reloj embebido en los datos. El flujo de datos se pasa a la salida a través de circuitos lógicos que utilizan el reloj filtrado y estabilizado para entregar la señal a la salida. Este tipo de DA reduce el jitter que se encuentre fuera de la banda de paso del circuito de enganche de fase (PLL) del circuito de extracción. Sin embargo el jitter que se encuentre dentro de dicha banda se reproducirá y puede acumularse significativamente en cada regeneración. Por lo tanto hay un límite finito al número de estos dispositivos que pueden ponerse en cascada en un sistema. Esto dependerá del tipo de dispositivo utilizado, del tipo de oscilador, de la banda de paso del PLL, del tipo de cables y del tipo de conectores utilizados.

La correcta selección del tipo de DA que se utilizará es importante para asegurar una operación libre de errores del sistema. Es importante comprender la diferencia entre la variedad de dispositivos disponibles y la especificación del fabricante de cada dispositivo.

Aceptación de una instalación HD-SDI

Durante la instalación y aceptación de un sistema SDI se puede utilizar la variedad de herramientas discutidas hasta aquí para cualificar y reparar el sistema a medida que cada parte del mismo se pone en marcha. Inicialmente cada tramo ha de ser cualificada aplicando una señal de test de barras de color y también las señales patológicas en cada tramo y usando un monitor WVR o WFM de las familias 7000 o 6000 para realizar las medidas.

La presentación "FlexVu" de todos ellos permite ver simultáneamente diferentes aspectos de las señales a medir. Por ejemplo, el ojo (EYE), el SDI Status, la imagen y la Sesión de vídeo pueden mostrarse simultáneamente permitiendo al ingeniero ver de un golpe el diagrama de ojo obtener las medidas SDI de jitter y longitud de cable en la presentación de SDI Status. Adicionalmente el ingeniero puede ver la imagen proveyendo un chequeo visual para asegurarse de que no existen pérdidas (drop-outs) o perturbaciones en la imagen. La pantalla de sesión de vídeo facilita un chequeo de los valores CRC presentes en la señal recibida y asegura una operación libre de errores.

Una vez completado el chequeo del cableado del sistema se pueden ir poniendo en marcha los diversos equipos. Idealmente esto debe hacerse de una manera gradual y metódica permitiendo la comprobación de cada unidad a medida que se pone en marcha. La salida de cada equipo debe medirse para asegurarse que está operando normalmente y dentro de especificaciones. Muchos equipos tienen su propio generador de test construido internamente que puede permitir verificar la señal de salida sin tener que usar el paso de una señal a través del equipo. Esto permite el aislamiento de la entrada y salida de los equipos y pueden ayudar a encontrar las averías o problemas que pudiera haber en el camino de la señal dentro del dispositivo. Nuevamente e luso de un WFM o WVR para ver las características de la capa física de la señal puede ayudar a verificar y mantener la calidad del sistema en los puntos clave del mismo.

Si se encuentra un problema en cualquier etapa durante la aceptación del sistema, es importante ser capaz de aislar la causa del mismo. Si se observan destellos o fallos de señal o congelación de imágenes indica que el receptor del final del camino tiene problemas de extracción de reloj y/o datos de la señal SDI.

Aplicando señal al WFM y viendo el diagrama de ojo permitirá una posterior y más detallada investigación del problema. Si el ojo está cerrado como se indica en la figura 19, es difícil hacer una determinación de qué es lo que le ocurre a la señal y el ingeniero debe seleccionar la presentación ecualizada del ojo en el WFM. Si el ecualizador del equipo de medida es capaz de recuperar los datos, el ojo ecualizado

debe aparecer como se ve en la figura 9b. Sin embargo si el ojo ecualizado se ve como en la figura 20, entonces el receptor tendrá un trabajo duro para recuperar el reloj o los datos, en tal caso hay un mayor potencial para errores de datos.

En este caso la apertura del ojo no es discernible y lo más probable es que el cable sea demasiado largo o que haya un problema en el dispositivo que transmite o en los dispositivos en cascada. Ahora se trata de un proceso de eliminación para determinar el problema. El uso del instrumento permite confirmar la longitud del tramo usando en la verificación el tipo de cable empleado en la instalación. En este ejemplo la figura 21 muestra el resultado de la media como 62 metros de de cable entre fuente y destino. Nótese que esto supone un tramo continuo de cable entre fuente y destino y no tiene en cuenta si hay instrumentos en cascada. Puesto que el máximo límite para el cable usado en el ejemplo, el Belden 8281, es de 79 metros y la señal se encuentra dentro de la especificación del cable, parece que no es un problema que no está directamente relacionado con la longitud del cable.

En este ejemplo hay varios dispositivos activos en cascada por lo que se hace necesario trazar el camino de la señal hacia atrás hasta el siguiente dispositivo activo y medir su comportamiento. Si el problema persiste será necesario trazar más hacia atrás a lo largo del sistema hasta observar el punto donde esté la señal libre de errores. Una vez determinado tal punto es necesario verificar el equipamiento hacia debajo de este punto. Esto debe de hacerse inyectando una señal de test conocida para verificar la operación de los equipos y el camino de la señal. Puesto que en este caso parece que no se trata de un problema de longitud de cable se utilizó el diagrama de ojo y la medida de jitter para investigar más acerca del problema. En este ejemplo se encontró que uno de los dispositivos de la cadena mostraba un jitter excesivo en su salida y fue necesario cambiarlo por otro en buen estado.

Usando los filtros paso banda el ingeniero puede encontrar los componentes individuales de jitter presentes en la señal poniendo la presentación en el modo de barrido de dos campos.

La figura 22 muestra varios ejemplos de jitter.

En este sistema, el ingeniero puede desear añadir un amplificador restaurador de reloj o elegir un equipo que tenga un mejor rechazo a los componentes de jitter que están causando el problema. Una vez que el sistema se ha instalado y aceptado sigue siendo una buena práctica de ingeniería dicta que se haga un buen y cuidadoso monitoreo de mantenimiento preventivo. El ajetreo que existe en las salas de post-producción y de emisión significa que a veces se toman atajos para resolver problemas de modo inmediato salir adelante con la producción. Esto puede dar lugar a que el sistema se contamine con muchos cambios incontrolados. Hoy en día, muchos estudios trabajan en modo mixto con señales analógicas, señales SD-SDI y HD-SDI haciendo conversiones de un formato a otro. Con esta variedad y complejidad dentro del sistema existe una mezcla de diferentes tipos de cables, cargas, terminaciones y conectores.

Por ejemplo, ya se ha visto que usando una terminación incorrecta puede causar reflexiones en un tramo de cable, pues si alguien usa la terminación que encuentra más a mano sin fijarse si es la apropiada para una señal HD, la señal SDI puede quedar degradada por el uso de dicha terminación incorrecta. Por ejemplo, si en un rasterizador WVR7100 que tiene una conexión de paso (loop-through) pasiva se pone una terminación de 75 Ω de las utilizadas para señal analógica compuesta, la señal SDI puede verse grandemente comprometida. Por lo tanto es importante realizar monitoreo operacional del sistema para asegurarse de que estos potenciales problemas no ocurren y que puedan ser rápidamente detectados en los sistemas híbridos.

Monitoreo operacional SDI

El operador puede proveerse de algunas herramientas útiles para permitir el monitoreo continuo de la señal HD-SDI. Cada línea de la señal HD contiene un CRC para luminancia y para crominancia. Usar la Sesión de Vídeo cómo se muestra en la figura 2 puede ser una simple aproximación como primera línea de defensa en la

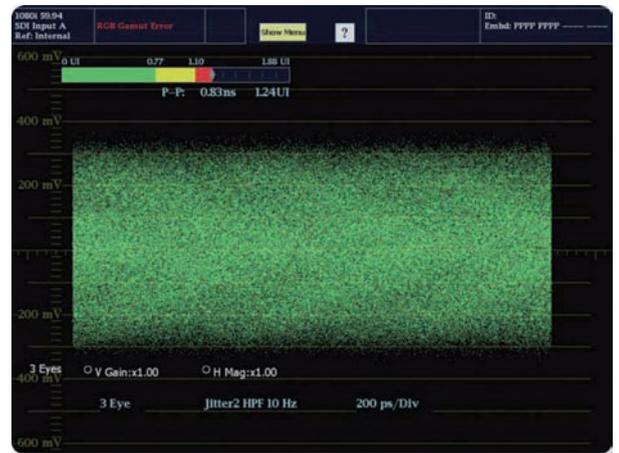


Figura 19.- Diagrama de ojo cerrado de una señal SDI.

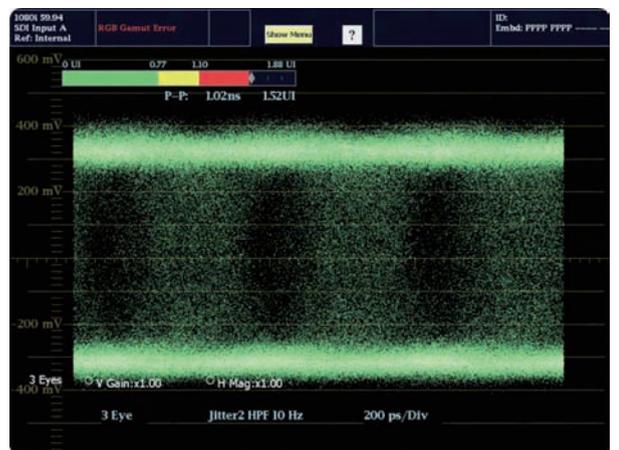
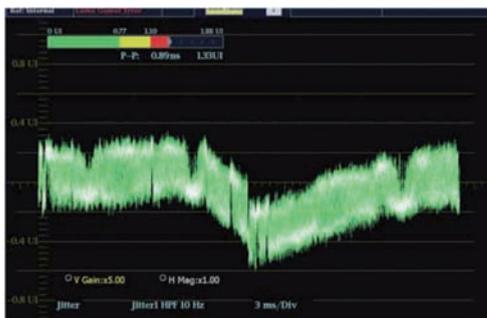


Figura 20. Diagrama de ojo ecualizado con apertura limitada

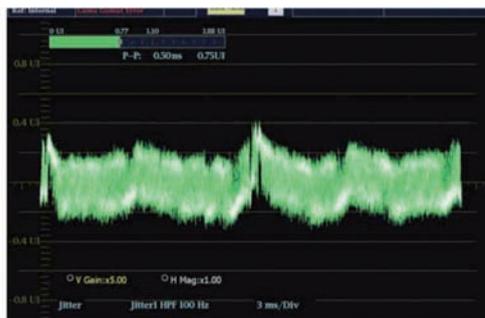


Figura 21. Presentación SDI (Status) mostrando la longitud del cable.

detección de los problemas del sistema. El instrumento de medida puede prepararse para vigilar una señal y proporcionar alarmas cuando ocurra algún tipo de error. Si el instrumento comienza a avisar de errores de CRC, puede ser una indicación de que la señal se está acercando al límite



Jitter waveform display with 10-Hz band-pass filter selected. The jitter readout indicates 1.33UI of jitter present within the signal and shows a significant shift in jitter at the field rate.



With a band-pass filter of 100-Hz used the trace is more horizontal and the jitter readout now reads 0.75UI. This indicates that there were significant components of jitter below 100Hz and likely at the mains frequency.



The jitter readout with the 1kHz selection now reads 0.88UI showing a slight increase in the jitter present within the signal and one can observe a differentiation occurring at field rate with this filter applied. This indicates a component of jitter present on the band-pass edge.



With the 10kHz filter applied to the signal the jitter read indicates a value of 0.75UI. A more horizontal trace of the jitter waveform is observed.

Figura 22. Formas de onda del jitter usando diferentes filtros.



With the 100kHz filter applied the jitter readout shows 0.57UI of jitter.

del sistema (digital cliff). El listado de errores proporciona el tipo de error así como cuando se ha producido y puede utilizarse para aislar un problema de dispositivo o de cableado.

Adicionalmente, si el monitor de forma de onda está equipado con un diagrama de ojo, el ingeniero puede fijar límites para el margen permitido en el cual deba mantenerse la capa física. Si la señal se sale de estos límites el dispositivo de Error Log del monitor proporcionará la lista de cuando han ocurrido los errores que se podrán con un código de tiempos. Cuando se producen los errores se puede seleccionar el diagrama de ojo y la barra de jitter. Si ésta mues-

tra la medida en la zona roja como se ve en la figura 12, entonces esto puede ser un aviso de problemas que han de ser investigados.

Por ejemplo, supóngase que se añade una cierta longitud de cable para añadir un dispositivo en el sistema y que un editor pueda terminar su trabajo. Esto se puede hacer de forma rápida para solventar un problema momentáneo y terminar un trabajo urgente. Sin embargo el cable utilizado era un cable del tipo RG59 del que se emplea en las señales analógicas y que es especialmente no recomendado para este tipo de señales SDI. Esto puede ocasionar un problema de respuesta de frecuencia y hacer que el sistema se salga fuera del margen de trabajo establecido, si esto ha ocurrido con una entrada de lazo pasiva, el equipo ocasional puede que funcione bien y el operador no se percate del problema causado a otro equipo que esté más abajo en la cascada de equipos.

Con un monitoreo diligente del sistema, las alarmas de los parámetros del ojo, del CRC, etc. se puede tener información que alerte cuando el sistema excede en algún punto los límites normales y que anuncien posibles cambios en el sistema.

Conclusión

Seguir buenas prácticas de ingeniería durante la instalación y usar cables adecuados para transportar la señal HD-SDI es importante para conseguir una capa física libre de errores en una instalación. Los equipos de medida, tales como los generadores de señales test y monitores de forma de onda con medidas de ojo y jitter son imprescindibles para verificar el comportamiento de los sistemas durante la instalación y para proveer un monitoreo continuo de la instalación una vez que se ha realizado la aceptación de la misma.

El diagrama de ojo facilita hacerse cargo de la salud del sistema de un vistazo y asegurar que hay una apertura de ojo adecuada para recibir y recuperar el reloj y los datos de la señal SDI. Adicionalmente la forma de onda del jitter y las medidas automáticas del ojo permiten una investigación más profunda de la capa física y un monitoreo continuo de la señal.

Estas herramientas pueden probar ser invaluable en la resolución de problemas de las señales SDI o de los dispositivos por los que pasa la señal.

Los monitores de Tektronix de las series WVR y WFM de las familias 7000 y 6000 disponen de opciones para poder medir el ojo y el jitter que son tan apropiados para la salud de la capa física. 

Notas del traductor

¹ Para HD a 3 Gb/s las longitudes dadas en la columna HD-SDI de la tabla se pueden dividir por 1,5 o por 2 aproximadamente, aunque debe consultarse al fabricante del cable.

² Nótese que a 3 GHz la longitud de onda es de unos 10 cm.

³ Referencia: High Definition Cabling and Return Loss by Stephen H. Lampen, Martin J. Van Der Burgt, and Carl W. Dole of Belden.

⁴ Nótese que un "Patch panel" con conectores defectuosos puede equivaler a varios metros equivalentes de cable.