Últimas tendencias en las pruebas de transceptores ópticos

Por Greg Le Cheminant, Agilent Technologies

Agilent Technologies

www.agilent.com

A medida que aumentan las velocidades de transmisión de datos en los sistemas de comunicación basados en fibra, el rendimiento del canal óptico puede convertirse en un factor de limitación en el rendimiento de los sistemas. Los receptores pueden emplear la ecualización para compensar el rendimiento del canal. Esto constituye un problema interesante para las pruebas de transceptores. Si un receptor sofisticado puede compensar las señales degradadas, ¿qué define el rendimiento adecuado para el transmisor? ¿Cuánto se puede exigir a un receptor hasta que ya no pueda compensar las señales degradadas?

Históricamente, el rendimiento de los transmisores se ha definido mediante máscaras, ruido y potencia de modulación. Estos parámetros seguirán siendo importantes. Sin embargo, se han definido nuevas medidas para determinar "cuán ecualizable es un transmisor". Para el receptor también se han desarrollado medidas complementarias para determinar hasta qué punto puede ser "mala" una señal y, no obstante, se pueda ecualizar.

Hace algún tiempo, verificar el rendimiento de un sistema de comunicaciones digitales era sencillo. La red entera se instalaba y era propiedad de una única empresa y, si el sistema funcionaba, no era necesario efectuar pruebas exhaustivas de los subcomponentes. Pero en las redes ópticas de hoy en día, que utilizan componentes producidos en distintas fuentes, se deben realizar las pruebas de cumplimiento adecuadas para garantizar que se cumplan las especificaciones a nivel de sistema cuando se conecten todos los componentes, independientemente del lugar que procedan.

Básicamente, un sistema de comunicaciones ópticas consta de un transmisor, un canal (fibra) y un receptor. Cuando un transmisor se empareja con un receptor (mediante fibra óptica) y no se consigue la BER deseada, ¿falla el transmisor o el receptor? Quizá fallan los dos. Un receptor de baja calidad puede compensarse con un transmisor de alto rendimiento (y viceversa). Cuando se diseña un sistema de comunicaciones estándar (Ethernet, fibra óptica, etc.), se determinan especificaciones de dispositivo para que la carga de coste/rendimiento se equilibre correctamente en ambos extremos de la fibra. Las especificaciones se establecen de modo que cualquier receptor pueda interoperar con el peor caso de transmisor permitido y cualquier transmisor proporcione una señal con suficiente calidad para poder interoperar con el peor caso de receptor permitido.

Para establecer las especificaciones del transmisor, es importante saber lo bueno (o quizá lo malo) que será el receptor y el canal, y viceversa para las especificaciones del receptor. Un punto de partida para este proceso iterativo podría utilizar niveles de rendimiento de un sistema de una generación anterior. Cuando se desarrolla un nuevo estándar, es probable que se utilicen componentes que todavía no se hayan desarrollado completamente, ya que los niveles de rendimiento suelen dar un salto importante en los sistemas de la siguiente generación. Esto puede suponer algunas dificultades, ya que los desarrolladores de componentes no siempre están dispuestos a hacer grandes inversiones en nuevos componentes hasta que un estándar y las subsiguientes especificaciones del componente sean estables. Esto puede resultar en un proceso lento y pesado, ya que el estándar y los componentes se desarrollan conjuntamente.

No obstante, un transmisor debe poder funcionar con receptores del más bajo rendimiento y canales considerados aceptables. Si un receptor requiere un nivel mínimo de potencia para conseguir el objetivo de tasa de error de bit (BER) del sistema, esto se utilizará para determinar la potencia de salida mínima permitida del transmisor. Si el receptor sólo puede tolerar un determinado nivel de jitter, esto se utilizará para definir el jitter máximo aceptable del transmisor. En un sistema de comunicaciones digitales, el receptor toma decisiones lógicas acerca de cada bit de entrada, de modo que también se debe especificar el diseño de la forma de onda del transmisor.

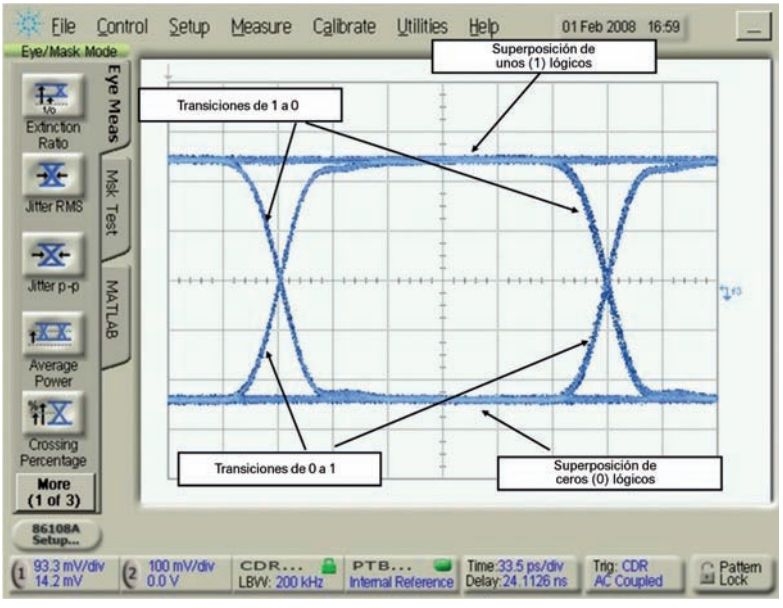

Figura 1. El diagrama de ojo es una buena indicación de la calidad de un transmisor.

Algunos sistemas de comunicaciones ópticas son un buen ejemplo de estrategia de pruebas del transmisor. Los requisitos clave para el transmisor se fundamentan en la necesidad del receptor de una amplia separación entre unos (1) y ceros (0) lógicos. Además, se requiere coherencia en la ubicación temporal de las transiciones entre unos (1) y ceros (0) lógicos (jitter bajo). Esto ayuda a garantizar que se tomen decisiones donde haya pocas posibilidades de error. Un diagrama de ojo es el método habitual para ver la forma de onda del transmisor. En el diagrama de ojo, las distintas combinaciones de patrones de datos se superponen unas con otras en un eje de tiempo común normalmente inferior a períodos de dos bits de ancho. Una buena separación de amplitud y un jitter bajo se considera un diagrama de ojo abierto.

En lugar de realizar varias medidas para determinar la calidad del ojo, es posible hacerlo en una sola prueba. La apertura de un diagrama de ojo se puede verificar efectuando una prueba de máscara. Una máscara consta de varios polígonos que se colocan en el diagrama de ojo y a su alrededor y que indican las áreas en las que no debería existir la forma de onda. Una forma de onda "buena" no cruzará con la máscara y superará la prueba de máscara, mientras que una forma de onda "mala" cruzará o perturbará la mascará y no superará la prueba.

El osciloscopio determinará si alguna de las muestras de forma de onda cae en la máscara. La mayoría de los estándares de la industria definen que una señal transmitida no cumple si cualquiera de las muestras de forma de onda perturba la máscara. Con ello surge un problema interesante en el caso de las pruebas de máscaras. Una mayor población de muestras de forma de onda debería proporcionar una valoración más precisa del rendimiento del transmisor. Sin embargo, cada uno de los diagramas de ojo tendrá características aleatorias tanto en amplitud (ruido) como en tiempo (jitter). Cuantos más datos se recojan y se comparen con la máscara, mayor será la probabilidad de obtener perturbaciones de máscara. En teoría, si se obtienen suficientes muestras, al final casi ninguno de los transmisores superará una prueba de máscara. La probabilidad de perturbaciones de máscara puede ser muy baja, pero normalmente las pruebas de máscara no dejan lugar para las probabilidades. Es una prueba de todo o nada, aprobar o suspender. Esto lleva a una pregunta interesante. ¿Cuántas muestras deben obtenerse para efectuar la prueba?

Como mínimo, debe haber suficientes muestras para que el osciloscopio tenga suficientes datos para alinear la máscara a la forma de onda. Normalmente será suficiente una población pequeña. ¿Cuántos datos más se deberían obtener? Si hay un espacio (margen) considerable entre las muestras de forma de onda y la máscara, es probable que recoger más datos sólo modifique ligeramente el resultado. El problema surge cuando un dispositivo apenas supera la prueba de máscara. Recoger más muestras podría originar un fallo.

Algunos estándares industriales recientes, como IEEE 802.3ah (un estándar óptico de corto alcance) e IEEE 802.3aq (transmisión de 10 Gb/s que utiliza una fibra de modo múltiple instalada de baja calidad), reconocen el problema y permiten que se produzcan fallos de máscara. No obstante, sólo se permite una tasa muy baja de aciertos respecto a las muestras (1 muestra errónea por cada 20.000 muestras medidas). Esto permite recoger una población mayor y, posiblemente, produce medidas más precisas sin aumentar la probabilidad de fallo. Otros nuevos estándares también aceptan un porcentaje pequeño de muestras "fallidas" (http://ieee802.org/3/ba/public/mar08/dawe_01_0308.pdf).

Esto lleva a una versión modificada de la prueba de máscara clásica. La prueba de máscara se realiza del modo habitual, pero se lleva a cabo un segundo paso una vez se ha obtenido la cantidad necesaria de muestras. Se efectúa una prueba de margen de máscara automática para determinar hasta qué punto se pueden expandir las dimensiones de la máscara sin que el porcentaje de aciertos respecto al total de muestras de forma de onda exceda el porcentaje permitido por el estándar. En la figura 3, las dimensiones de la máscara se expanden hasta que se encuentran 20 "aciertos" (había 400.000 muestras entre los puntos de cruce del ojo al que está alineada la máscara). La máscara se puede expandir significativamente desde las dimensiones estándar, lo que indica que se trata de un transmisor muy bueno.

El estándar IEEE 802.3aq desarrollado recientemente se ha diseñado para transmitir señales a la velocidad de 10 Gb/s en canales en los que la dispersión domina el rendimiento del sistema. La dispersión modal para ejecuciones instaladas de fibra de modo múltiple con distancias que oscilan entre 200 y 300 m puede cerrar completamente el ojo recibido.

Se requerirán técnicas de comunicación avanzadas para solventar el problema de una dispersión de señal muy grande. Los receptores emplearán esquemas de ecualización para compensar los trastornos causados por el canal. Sin embargo, esto complica la definición de lo que debe ser un transmisor aceptable. Las pruebas de máscaras pueden resultar inútiles si el ojo a la salida del canal está cerrado, independientemente de la calidad de la señal que entre en el canal.

Un nuevo método de pruebas que se utiliza en IEEE 802.3aq (transmisión de 10 Gb/s en fibra de grado FDDI) verifica si es posible ecualizar una señal de transmisor una vez ha pasado a través del peor

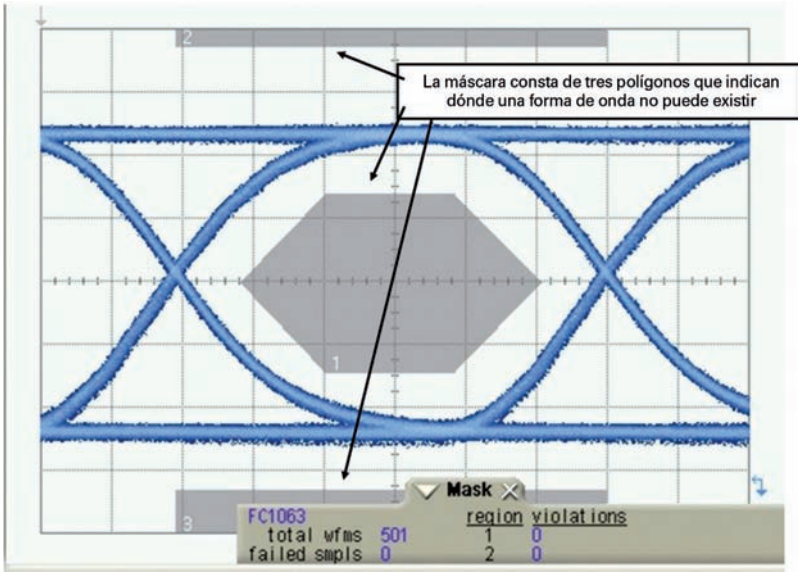

Figura 2. Las máscaras se colocan en el diagrama de ojo para verificar

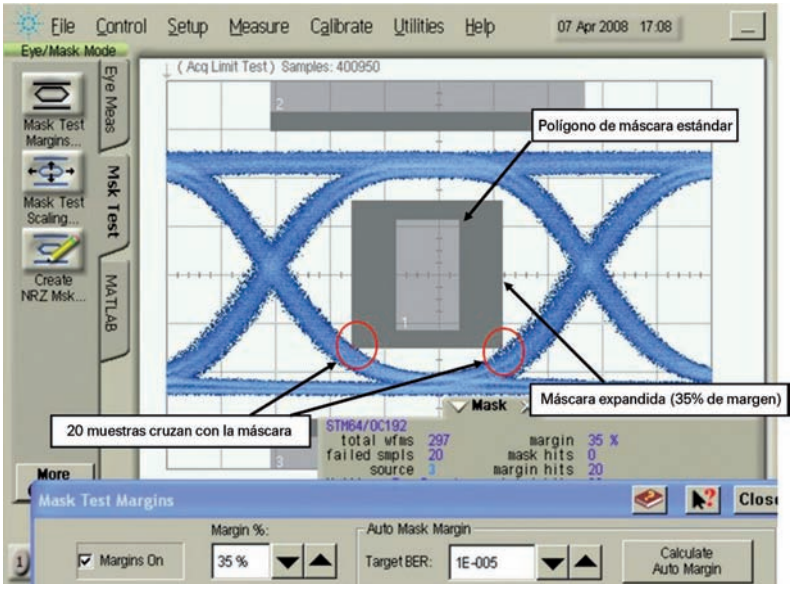

Figura 3. La máscara se amplía automáticamente desde sus dimensiones originales hasta verificar una tasa de aciertos que cumpla con el estándar.

caso de intervalos de fibra previstos. Se captura la forma de onda del transmisor y se ejecuta a través de un modelo de canal virtual que simula fibras reales. Entonces, la señal se pasa a través de un ecualizador de longitud finita virtual. La señal ecualizada se compara con la calidad de la señal si se había pasado a través de un ecualizador ideal. El receptor virtual es sofisticado y emplea tanto ecualizadores lineales como ecualizadores de decisión retroalimentada con varios taps de señales.

A pesar de que los modelos de canal virtual y receptor virtual son complejos, el proceso de pruebas real se puede efectuar dentro del osciloscopio. En lugar de un diagrama de ojo, se captura un patrón de forma de onda larga. Un buen ejemplo sería un patrón de 511 bits con, como mínimo, siete muestras para cada bit. A continuación, el registro de la forma de onda se pasa a través de un script MatLab® que modela la fibra y el receptor. La salida del script es un valor punitivo de potencia (en dB) que se puede comparar con las especificaciones definidas en el estándar IEEE para verificar el cumplimiento. La prueba es comúnmente conocida como Tansmitter Waveform Dispersion Penalty (TWDP). La figura 4 muestra un ejemplo de la forma de onda capturada y el resultado de la prueba de postprocesamiento.

En el lado del receptor, como se ha dicho anteriormente, se debe conseguir una BER aceptable cuando existe el peor caso de señal del transmisor. El proceso de prueba básico es producir una señal distorsionada intencionadamente que represente el peor caso de transmisor y verificar que el nivel de BER esté por debajo de lo que es aceptable según el estándar. Las medidas BER son sencillas. Producir una señal distorsionada también es fácil. Producir una señal distorsionada de precisión puede resultar difícil. Si la distorsión de la señal es demasiado pequeña, un mal receptor puede parecer bueno. Si la distorsión de la señal es demasiado fuerte, un buen receptor puede parecer malo. Los sistemas de pruebas BER (BERT) modernos tienen generadores de patrones diseñados para producir niveles de distorsión calibrados. La deformación de señales intencionada se conoce comúnmente como "fatiga" de señal. Una señal "fatigada" normalmente tiene jitter de tiempos, límite de ancho de banda (interferencia entre símbolos) y atenuación.

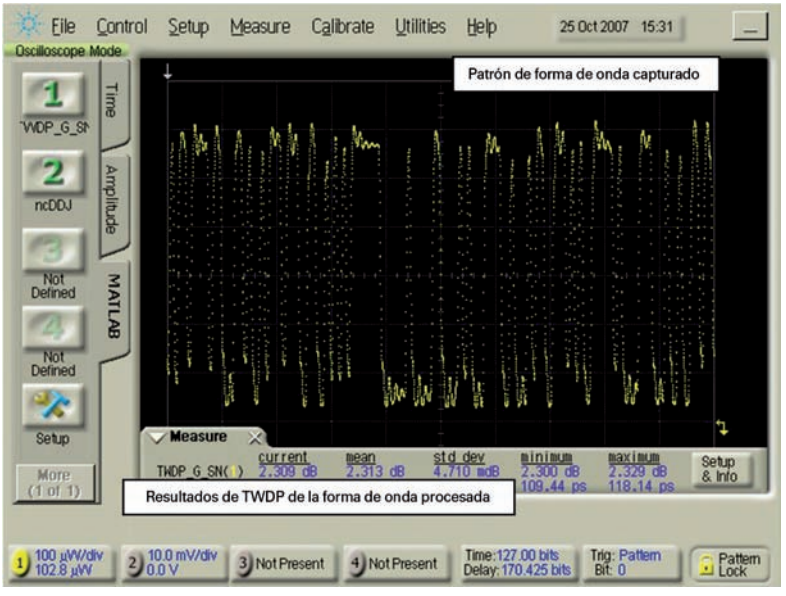

Figura 4. La prueba TWDP automatizada

En resumen, las pruebas de transceptores han evolucionado para dar cabida a los cambios que se han producido en el rendimiento y la arquitectura de los sistemas. A medida que aumentan las velocidades de transmisión de datos, la prueba de máscara básica aún es viable pero, desde no hace mucho, se han revelado cambios importantes en estándares recientes que gozan de una popularidad cada vez mayor y es probable que se utilicen en estándares futuros. También las pruebas de receptores que utilizan señales de "fatiga" complejas son cada vez más habituales.

Acerca del autor

Greg Le Cheminant es especialista en aplicaciones de medida para productos de análisis de señales digitales en la división de Sistemas de pruebas digitales. Es el responsable de la gestión de productos y desarrollo de nuevas aplicaciones de medida para analizadores de comunicaciones digitales y productos de pruebas jitter de la división. Representa a Agilent en varios comités de estándares de la industria.

La experiencia de 23 años de Greg en Agilent/Hewlett-Packard incluye cinco años en ingeniería de fabricación y 17 años en distintos puestos en marketing de producto. Ha colaborado en la redacción de cuatro libros de texto acerca de comunicaciones digitales de alta velocidad y ha escrito numerosos artículos técnicos de temas relacionados con las pruebas. Tiene dos patentes. Es licenciado en BSEET y MSEE por la Universidad Brigham Young.