

# Importancia de la caracterización trazable de parámetros S en componentes electroópticos



Los componentes electroópticos, como los láseres semiconductores, los moduladores o los diodos PIN, son algunos de los componentes clave de los sistemas de transmisión por fibra óptica a alta velocidad. Como los fabricantes de equipos se ven presionados por la demanda de ancho de banda de los proveedores de servicios de redes para ofrecer velocidades

de transmisión superiores a 10 G y de hasta 100 G, la necesidad de caracterizar estos componentes con precisión es cada vez mayor. Dado que estos componentes se comportan como convertidores de subida/bajada entre señales de RF de hasta 39 GHz y señales ópticas en el rango de 196 THz, la medida trazable y repetible de la eficiencia de conversión es un factor fundamental para evitar ciclos de diseño innecesarios o discusiones entre el proveedor y el vendedor de componentes electroópticos a causa de la inexactitud de las medidas.

Autor: Oliver Funke, Director de productos, Digital Photonic Test. División de Pruebas Digitales. Grupo de Medidas Electrónicas de Agilent Technologies



## Medidas electroópticas

Antes de analizar con detalle el desafío que supone medir esta función de transferencia electroóptica, es necesario definir estos parámetros.

La eficiencia de la transferencia eléctrica a óptica (E/O), como la del láser modulado directamente o la de los moduladores de niobato de litio (LiNbO3), puede definirse como la relación existente entre la potencia de modulación óptica de salida y la corriente o tensión de modulación de entrada. Para estos convertidores de tensión, la responsividad de la pendiente se utiliza para describir el modo en el que un cambio en la corriente de entrada induce un cambio en la potencia óptica. Este fenómeno se ilustra gráficamente

mente en la Figura 1 de los moduladores. Esta eficiencia de transferencia S21 o responsividad se muestra como la relación entre la potencia óptica modulada de salida y la amplitud de la corriente de modulación de entrada, en unidades de vatios/amperios, expresadas linealmente o en decibelios.

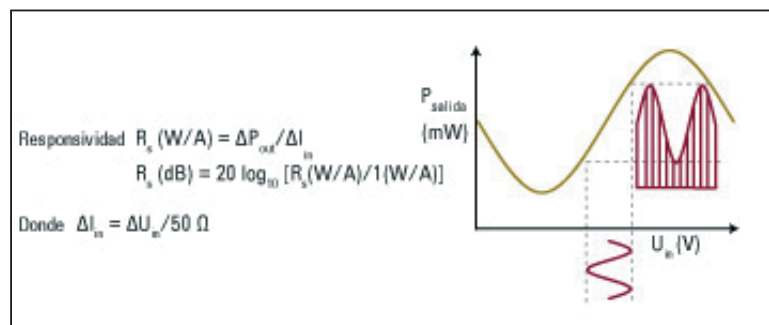


Figura 1. Responsividad E/O de la pendiente en modulaciones externos

La definición o la característica de transferencia de los componentes ópticos a eléctricos (O/E), como los diodos PIN, es similar a la de los dispositivos eléctricos a ópticos (E/O). La característica de transferencia S21 o responsividad se define como la relación entre la corriente de modulación eléctrica de salida y la potencia de modulación óptica de entrada. La responsividad de la pendiente de los dispositivos O/E describe el modo en el que un cambio en la potencia óptica induce un cambio en la corriente eléctrica. Este fenómeno se ilustra gráficamente en la Figura 2. Esta responsividad se muestra como la relación entre la corriente de modulación eléctrica y la potencia de modulación óptica en amperios/vatios, ya sea linealmente o en decibelios.

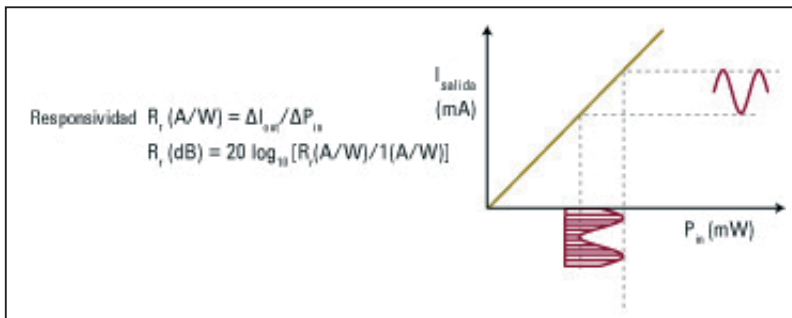


Figura 2. Responsividad E/O de la pendiente

Dado que este parámetro es conocido básicamente como responsividad  $R(f)$ , éste será el término que utilizaremos de ahora en adelante para describir la eficiencia de la transferencia electroóptica  $S21(f)$ . El concepto de medida de la responsividad es simple. La transmisión lineal de señales débiles y las características de reflexión se miden con un instrumento denominado analizador de componentes de fibra óptica, que consta de un analizador de redes de microondas conectado a un equipo de pruebas ópticas. Se utiliza una fuente eléctrica (generador de señales) u óptica (transmisor) de precisión para estimular el componente que se está probando y un receptor óptico o eléctrico calibrado y de alta precisión para medir la señal transmitida (o reflejada). Dado que la caracterización debe efectuarse en un rango de frecuencias de modulación, la frecuencia de modulación suele ser barrida sobre el ancho de banda de interés. Las medidas suelen consistir en la correcta relación entre la corriente de modulación (o potencia) de microondas y la potencia de modulación de fibra óptica. En la Figura 3 se ilustra el concepto básico.

La descripción matemática del transmisor y el receptor óptico queda guardada en el analizador de redes. Durante la prueba, el analizador de redes mide una "caja negra"

con una respuesta compuesta formada por la respuesta del transmisor y/o receptor y del dispositivo sometido a prueba, además de todos los trayectos de RF entre estos dispositivos. Conociendo las características de transferencia de todos los dispositivos, salvo las del dispositivo sometido a prueba, su responsividad se puede calcular extrayendo sólo los resultados eléctricos del analizador de redes con los datos de calibración guardados que describen el equipo de pruebas ópticas. Los resultados que aparecen en la pantalla describen la responsividad definida anteriormente.

Una vez entendido este concepto, se puede hacer un análisis detallado de las posibles fuentes de error que influyen en los resultados de las medidas.

Son dos los dispositivos que pueden causar errores en las medidas: uno es el analizador de redes, por sus especificaciones de incertidumbre, que no son tenidas en cuenta aquí; el otro es el equipo de pruebas electroópticas, por tres factores influyentes principales.

- 1) La precisión del conocimiento de la responsividad del transmisor y el receptor en el equipo de pruebas ópticas.
- 2) Las reflexiones en el trayecto eléctrico y óptico del equipo de pruebas, incluido el trayecto hasta el dispositivo sometido a prueba.
- 3) La estabilidad de los componentes electroópticos a corto y largo plazo en el equipo de pruebas ópticas.

El conocimiento de la responsividad del transmisor y el receptor en el equipo de pruebas ópticas es la parte más importante. Para describir esta responsividad, el transmisor y el receptor del equipo de pruebas ópticas deben caracterizarse por su responsividad dependiente de la frecuencia, sin que influya el instrumento de calibración. Esta caracterización debe ser trazable con respecto a las normas internacionales. Una manera de hacerlo es mediante una medida heterodina de la responsividad de la amplitud. En una medida heterodina, la señal óptica de dos láseres DFB se superpone mediante la alineación correcta de la polarización. La diferencia de frecuencia entre estos dos láseres se detecta mediante un diodo PIN rápido. La potencia óptica y la potencia de RF del diodo PIN se pueden medir con exactitud mediante detectores de potencia que permiten lograr la trazabilidad de la medida de acuerdo con las normas de potencia internacionales. Con esta medida no se obtiene información sobre la fase. Cuando tanto la fase como la amplitud deban ser trazables, el NIST (Instituto Nacional de Normas y Tecnología de EE. UU.) ofrece un servicio de calibración basado en el método de muestreo electroóptico. Este dato es el requisito previo para medir la responsividad calibrada y trazable, y la precisión de estos datos influye significativamente en la precisión de la responsividad general del instrumento de prueba.

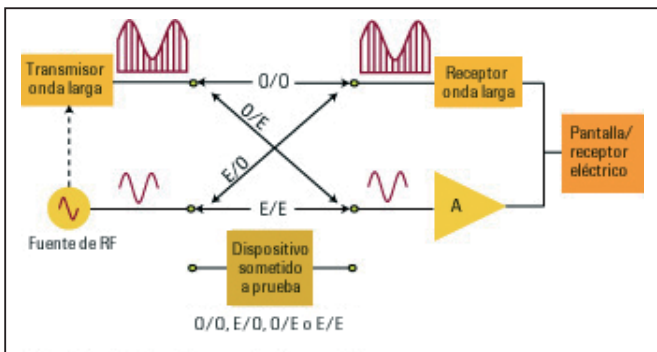


Figura 3. Principio de medida de la responsividad electroóptica

El punto siguiente que debemos considerar son las reflexiones que se pueden producir en el sistema eléctrico y en el sistema óptico. Los elementos reflectores potentes del trayecto óptico o eléctrico pueden causar un rizado acentuado en los resultados de la prueba. Este rizado no se puede eliminar del resultado de la prueba de forma fiable. Sólo un diseño de precisión puede evitar estas incertidumbres sistemáticas.

La tercera fuente de error está estrechamente relacionada con el primer punto. Cuando se caracteriza el equipo de pruebas ópticas durante la calibración, se presupone que las condiciones del equipo de pruebas no varían. Cualquier variación de temperatura, y en algunos casos de humedad, respecto a las condiciones del equipo calibrado, influye en la precisión de la medida. Por este motivo, sólo un diseño del equipo de pruebas ópticas estable y de temperatura controlada garantiza una desviación mínima respecto a las condiciones de calibración. Los inevitables efectos de la temperatura residual deben considerarse en la especificación de la precisión de la responsividad.

### Repercusiones de las medidas electroópticas incorrectas

Después de estas explicaciones, debemos analizar las repercusiones de las medidas de responsividad incorrectas de los componentes electroópticos, ya que se podría pensar que la calibración de la configuración o del instrumento podría ser suficiente. Para ilustrar esto, examinaremos con más detalle el parámetro más importante de la frecuencia de corte de 3 dB. Es necesario determinar si se usará como referencia la frecuencia de corte de 3 dB eléctrica o la óptica, ya que una es el doble de la otra. Una pérdida óptica de 3 dB corresponde a una pérdida eléctrica de 1,5 dB medida por el analizador de redes. Esta relación tiene su origen en el factor 20, y no tanto en el 10, de las ecuaciones ilustradas en las Figuras 1 y 2 sobre responsividad, que está relacionada con la relación cuadrática existente entre la corriente (tensión) de modulación y la potencia modulada.

Una vez determinado el diseño de un transmisor o receptor electroóptico, el dispositivo se puede medir cuando el primer prototipo esté disponible. Basándose en estas medidas, el investigador puede optimizar el diseño dentro de ciertos límites, pero al final debe decidir si el nuevo dispositivo cumple los requisitos para la frecuencia de corte de 3 dB. Pero, ¿qué ocurre si el sistema de pruebas realiza una medida incorrecta? Si es así, deberemos considerar dos posibilidades. La primera, que el dispositivo tenga una frecuencia de corte aceptable pero que, debido a medidas incorrectas, el sistema de pruebas indique una frecuencia de corte demasiado baja. En este caso, el diseñador tendría que realizar otro diseño, lo cual resulta caro y retrasa varios meses la presentación del producto, afectando negativamente a la empresa. La segunda posibilidad sería que el dispositivo no tenga la frecuencia de corte correcta, pero que la medida incorrecta la pase por alto. En este caso, es probable que el problema se detecte tarde o que el dispositivo puesto en venta no cumpla las especificaciones. Cuando un cliente comprueba el dispositivo con su instrumento de pruebas, los resultados pueden variar respecto a las especificaciones, generando interminables conflictos entre el proveedor y el vendedor. Este tipo de conflictos supone una pérdida de tiempo, resulta frustrante y cuesta mucho dinero, además de influir negativamente en las relaciones entre el vendedor y el proveedor.

La única manera de evitarlo es probar los dispositivos con un instrumento totalmente especificado con datos trazables respecto a las normas internacionales en materia de medidas de responsividad. Para ofrecer especificaciones estrictas, estos sistemas de pruebas necesitan solucionar los tres puntos citados anteriormente. Evidentemente, sólo una solución llave en mano puede cumplir estos requisitos. Estos instrumentos se denominan comúnmente analizadores de componentes de fibra óptica y ofrecen especificaciones de responsividad trazables, reflexiones internas insignificantes y un entorno estable de temperatura controlada.

### Conclusión

El aumento de ancho de banda en los sistemas de telecomunicaciones y de transmisión de datos requiere especificaciones estrictas del transmisor y del receptor. Esto conduce a especificaciones más rigurosas en el caso de las medidas de responsividad electroópticas basadas en medidas de parámetros S. No sólo es importante la amplitud de la responsividad; también es necesario disponer de medidas de fase exactas para obtener la mejor conversión electroóptica posible. La medida fiable de este parámetro es una tarea difícil. Los resultados de prueba erróneos pueden dar lugar a ciclos de diseño innecesarios o discusiones que suponen una pérdida de tiempo entre el vendedor y el proveedor. Ambas cosas generan un coste adicional considerable y tienen un impacto negativo que retrasa la comercialización de los dispositivos nuevos. El analizador de componentes de fibra óptica como solución llave en mano cumple todos los requisitos para la caracterización electroóptica fiable de láseres, moduladores o diodos PIN y de los productos que los llevan incorporados. 