

Técnicas de diseño embebido para el desarrollo económico de comunicaciones

Artículo cedido por Tektronix



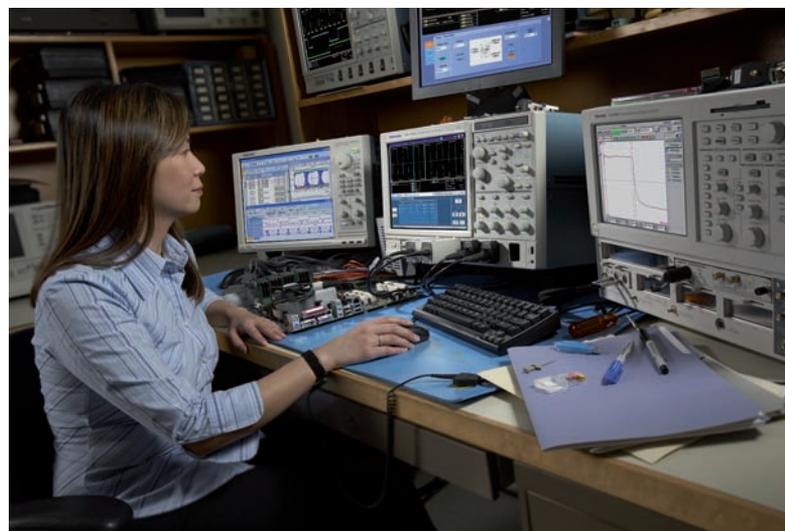
Traducción: Juan Ojeda,
de AFC Ingenieros S.A.
(jojeda@afc-ingenieros.com)

En tanto que los diseños embebidos se vuelven cada vez más inteligentes y disponen de más posibilidades de conexión, los enlaces de comunicación de estos dispositivos resultan ser cada vez más importantes. Al mismo tiempo, las limitaciones impuestas por el usuario como la portabilidad, la duración de la batería y la reducción del precio hacen aún más crítico el encuentro de un medio económico para proporcionar una comunicación fiable.

Las interfaces cableadas, tales como USB y Ethernet, son comunes en muchos diseños embebidos y están siendo llevadas a los límites de las normas en muchas aplicaciones. Al mismo tiempo, el atractivo de los dispositivos portátiles alimentados a baterías genera la necesidad de una conectividad inalámbrica más eficiente en el consumo de potencia. Este artículo técnico describe tres aplicaciones tangibles que utilizan técnicas específicas de medida que permiten proporcionar de manera rápida y eficiente una solución de comunicación económica a los diseños embebidos.

Aplicación 1. Evaluación de las prestaciones de una interfaz USB

La interfaz USB se utiliza en una amplia gama de periféricos de ordenador y de aplicaciones embebidas. Por ello, es fundamental la comprobación del rendimiento de los dispositivos USB y del cableado y las conexiones relacionados con ellos. Los osciloscopios de la serie DPO7000 ofrecen el ancho de



banda necesario para medir el funcionamiento del bus USB de alta velocidad, el cual en teoría soporta hasta 480 Mbits por segundo. Usando una tarjeta con una interfaz USB y el software de pruebas de conformidad TDSUSB2 se pueden simplificar las pruebas de caracterización y conformidad de estos dispositivos.

El uso más común del software de pruebas de conformidad TDSUSB2 es para determinar la forma en que se llevarán a cabo las pruebas de certificación de los productos diseñados bajo las especificaciones de la norma USB2.0. El certificado de conformidad con el logo USB2.0 se rige por el USB-IF (USB Integrators Forum) con el fin de lograr una amplia compatibilidad de los productos USB. Sólo la certificación de conformidad realizada y aprobada por los agentes del USB-IF es válida para obtener el logo de conformidad USB. Tektronix es miembro de USB-IF y soporta y anima a que todos los productos USB2.0 obtengan el logo de conformidad de USB-IF.

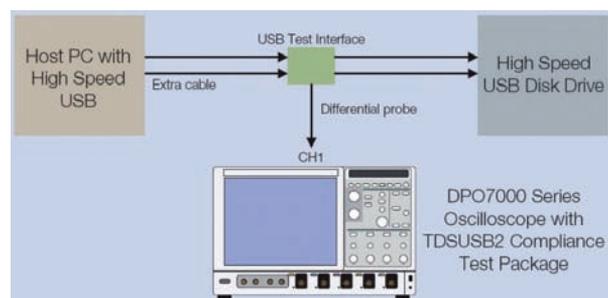
El objetivo de este ejemplo es entender la degradación típica de la señal USB debida a la longitud ampliada del cable. El mismo análisis podría aplicarse a otras situaciones como conectores desconocidos, tipos diferentes de cables y el efecto de los concentradores (hubs) y otros dispositivos USB. El límite

nominal para la longitud de un cable USB es de 5 metros, pero a menudo esto no es lo suficientemente largo para que resulte cómodo. En este ejemplo, vamos a empezar por medir la calidad de la señal con la longitud nominal del cable de 5 metros. A continuación, vamos a aumentar la longitud de cable entre el PC y una unidad del disco USB utilizado en esta demostración para ver el efecto sobre la calidad de la señal si se necesita una longitud de cable adicional en una instalación particular.

La figura 1 muestra la conexión del PC, la unidad de disco USB y el osciloscopio de la serie DPO7000. La conexión se realiza a través de una interfaz USB de prueba y se añade la longitud extra del cable entre el PC y la interfaz. En el caso del bus USB de alta velocidad, el osciloscopio necesita un ancho de banda de al menos 2,5 GHz para permitir una medida precisa de los detalles de la señal a una velocidad de transmisión de datos de 480 Mbits por segundo. Puesto que las señales sobre el bus USB son diferenciales, se ha seleccionado una sonda diferencial que tiene un ancho de banda de 3,5 GHz. El análisis de la señal USB se realiza mediante el software TDSUSB2 que se ejecuta en el osciloscopio.

En la figura 2 se ven los resultados de la serie completa de pruebas de conformidad de USB en una transferencia

Figura 1. Diagrama de bloques de una prueba de las prestaciones de un bus USB de alta velocidad.



de datos usando solo el cable especificado de 5 metros. En este caso se está poniendo a prueba la versión de USB de alta velocidad (480 Mbits por segundo), ya que dicha versión está llegando a ser cada vez más común y su rendimiento es el más difícil de garantizar. Las seis pruebas anteriormente citadas se realizan en unos pocos segundos por el software de conformidad TDSUSB2 ejecutándose en el osciloscopio. Esta pantalla permite evaluar rápidamente los resultados de las pruebas de conformidad con respecto al estándar USB. Aunque algunos parámetros no cumplieron con las especificaciones de la norma por un escaso margen, esto puede aún permitir que las comunicaciones se realicen con éxito. Estas pruebas indican si las transferencias de datos mediante el bus USB serán fiables y cumplirán totalmente con las normas.

La figura 3 es el diagrama de ojo obtenido para la máxima longitud de cable permitida de 5 metros. Para ver esta pantalla, solo hay que hacer clic en el botón "Eye Diagram" de la pantalla de resumen de resultados de la figura 2. El diagrama de ojo muestra la temporización de la señal para un determinado número de bits. Se puede advertir que el patrón de las señales se mantiene alejado de la zona de violación indicada por el bloque rojo. Esto se conoce comúnmente como 'máscara de prueba'. Las zonas en rojo definen las regiones que la señal no debería cruzar si la señal fuese correcta. Si las señales cruzasen las áreas en rojo, cerrando así el "ojo" del patrón, tendrían una amplitud o una temporización incorrecta. Esto último indicaría que los circuitos de recepción de la señal podrían no ser capaces de descodificarla correctamente.

En el caso de muchas instalaciones podría ser conveniente conectar una unidad de disco USB, una impresora u otro dispositivo desde el otro lado de la habitación o desde algún otro lugar más conveniente. A veces, también es necesario extender el cable a lo largo de los lados de la habitación, sobre una puerta o hacer un tendido aéreo del cable. En estas situaciones, se va a necesitar un cable más largo que el límite de 5 metros. Sin embargo, como se ve en la figura 4, cuando el cable se amplía al doble de la longitud especificada hay una serie de pruebas que fallan. Sin embargo, se puede advertir



Figura 2. Informe sobre la calidad de la forma de onda y de la señal para un cable básico USB de 5 metros funcionando a alta velocidad.

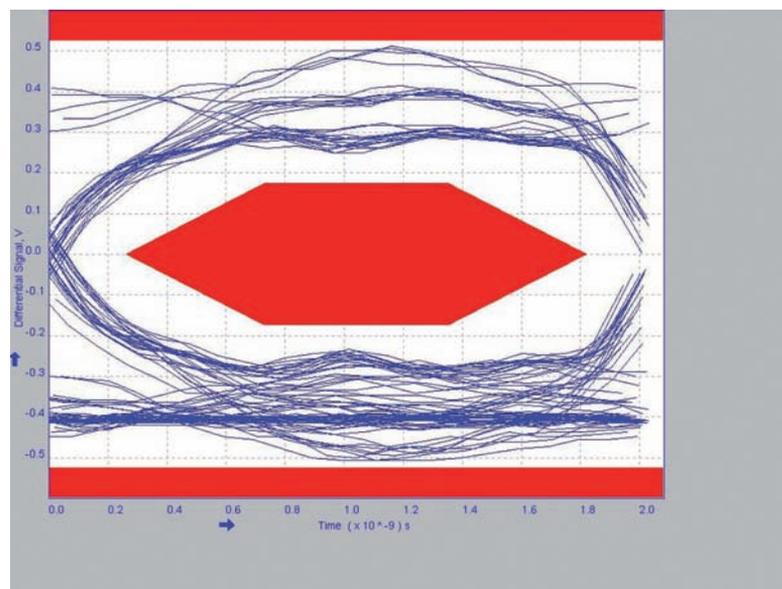


Figura 3. Diagrama de ojo de una señal USB de alta velocidad con 5 metros de cable.

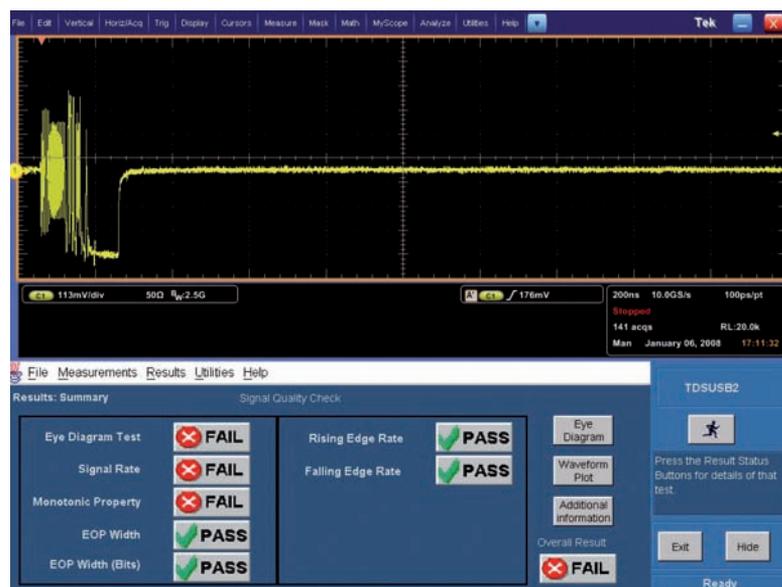
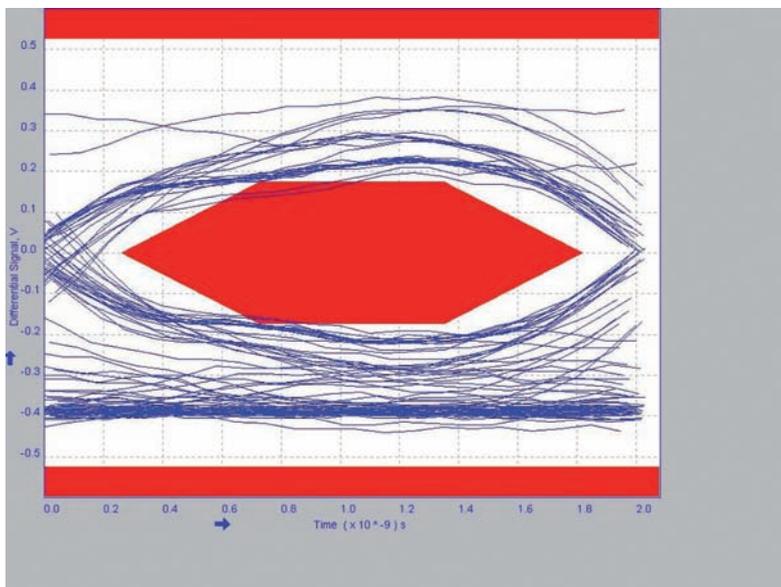


Figura 4. Informe de la calidad de la forma de onda y de la señal para un cable USB de longitud ampliada a 10 metros funcionando a alta velocidad.

Figura 5. Diagrama de ojo de una señal USB de alta velocidad con 10 metros de cable.



que la forma de onda de osciloscopio no ha cambiado mucho, por lo que la sola utilización de la traza del osciloscopio para determinar la validez no sería suficiente.

En la figura 5 se muestra el diagrama de ojo para un cable de 10 metros que indica una sustancial degradación de la señal con muchas de las transiciones de los bits cruzando la región de la máscara roja. En general el "ojo" está mucho más cerrado que el patrón de conformidad. La combinación de pruebas de fallo junto con las múltiples violaciones del patrón de ojo nos dice que esta longitud de cable no proporcionará unas comunicaciones de datos fiables o potencialmente utilizables.

Puesto que duplicar la longitud de cable a 10 metros no tuvo éxito, vamos entonces a proceder con la evaluación de un cable con una longitud de solo 7,5 metros, como se muestra en la figura 6. Hay que advertir que ahora solo fallan dos de las pruebas y cabe señalar que la traza tampoco se diferencia de las otras dos anteriores. Para tener una mejor idea de hasta qué punto esta señal es aceptable, vamos a echar un vistazo más de cerca al patrón del ojo.

En la figura 7, el diagrama de ojo muestra que la prueba apenas está fallando. Con una longitud del cable de 7,5 metros solo se ve una violación en el centro de la máscara, cerca de la parte superior izquierda, indicando que el ojo está comenzando a cerrarse ligeramente. Por lo tanto, es posible que esta longitud de cable pueda funcionar aceptablemente para nuestra aplicación, aunque es más largo que el límite aprobado de 5 metros.

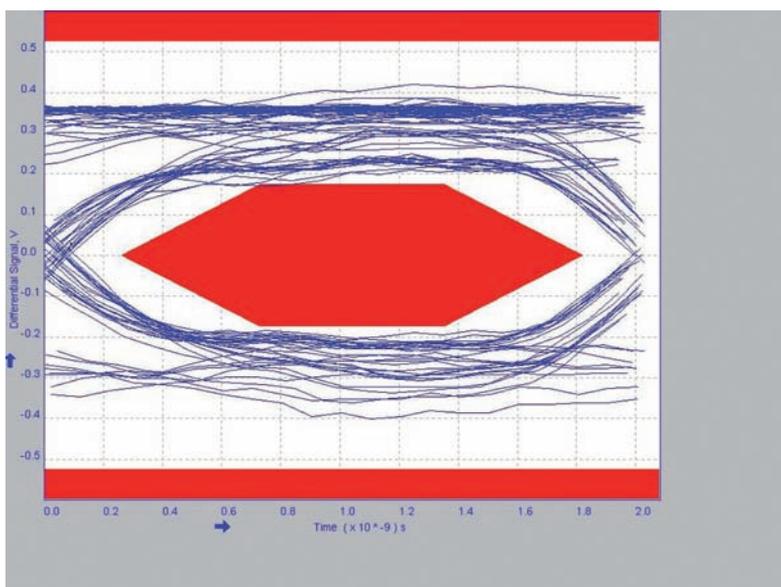
Hemos utilizado el paquete de software de conformidad TDSUSB2 ejecutándose en un osciloscopio de la serie DPO7000 para demostrar la capacidad de evaluar comunicaciones USB de forma rápida y fiable. Hemos visto que se ha producido una significativa degradación de la señal con sólo un modesto aumento de la longitud de cable por encima de lo especificado por la norma. Si se necesita un cable más largo se debería considerar la utilización de un extensor de cable o una conexión de mayor alcance como la utilizada por Ethernet.

Si bien el ejemplo basado en la ampliación del cable es simple, la capacidad puede ser decisiva para garantizar que el dispositivo USB en fase de desarrollo o de prueba cumple con las

Figura 6. Informe de la calidad de la forma de onda y de la señal para un cable USB de longitud ampliada a 7,5 metros funcionando a alta velocidad.



Figura 7. Diagrama de ojo de una señal USB de alta velocidad con 7,5 metros de cable.



normas. El diagrama de ojo y los informes numéricos permiten la evaluación del margen con que un dispositivo o sistema de conexión pasa o no pasa el conjunto de especificaciones de las normas. Esta capacidad de los osciloscopios de la serie DPO7000 se podría aplicar a una amplia gama de dispositivos USB y escenarios de conexión. Para los desarrolladores de sistemas USB de alta velocidad, esta capacidad de prueba es especialmente crítica para garantizar que los productos funcionarán de forma fiable en campo.

Aplicación 2. Análisis de interferencias de Ethernet

El estándar 10/100 base T Ethernet utiliza solamente dos de los cuatro pares trenzados en el cableado de categoría 5 ó 6. Se han propuesto diversas aplicaciones para explotar estos pares no utilizados y sacarles valor adicional a los cables actuales. En este ejemplo, usaremos el software para pruebas de conformidad de Ethernet TDSET3 que funciona sobre un osciloscopio de la serie DPO7000 para evaluar el efecto de compartir los pares no utilizados de un cable Ethernet con una señal de vídeo.

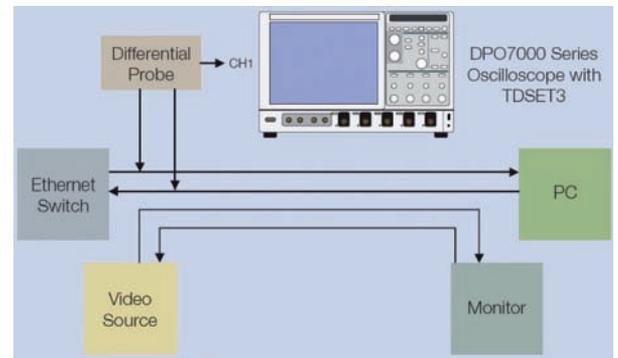
El reto en este ejemplo consiste en determinar si la señal de vídeo degrada a la señal Ethernet e impacta en los resultados. El software TDSET3 se utiliza normalmente para determinar el cumplimiento por parte de un dispositivo Ethernet de las normas publicadas. Mirar en su conjunto las señales en un osciloscopio no nos va a indicar necesariamente su deterioro, así que vamos a utilizar las capacidades del software TDSET3 para obtener un análisis exhaustivo de los efectos de la señal de vídeo. Para ello se va a utilizar el diagrama de ojo del software de conformidad para observar lo que está ocurriendo en la señal Ethernet cuando la señal de vídeo está presente en tres tipos de cable con longitudes diferentes.

La figura 8 es un diagrama de bloques de la configuración de prueba utilizada en esta aplicación. El cable de Ethernet está compuesto de dos pares que conectan el conmutador de Ethernet al PC y hay otros dos pares que transportan la señal de vídeo al monitor. En el osciloscopio se utiliza una sonda diferencial de alta frecuencia para acceder a la señal de Ethernet a través de los pares del cable de Ethernet cuando

la señal de vídeo está presente o no en los pares adyacentes.

En la figura 9 se muestra el diagrama de ojo de la señal Ethernet cuando se utiliza un cable muy corto y no se transmite señal de vídeo. El diagrama de ojo muestra las transiciones de amplitud y fase en comparación con la máscara representada por la región azul. El concepto del diagrama de ojo es que debería haber una zona abierta (el ojo) durante estas transiciones. Aunque hay señales que cruzan la zona azul en una pequeña parte del diagrama, la distorsión de la señal es muy pequeña.

La figura 10 demuestra que al añadir la señal de vídeo, incluso en un cable muy corto, aparecen algunas interferencias entre el vídeo y las señales de Ethernet, ya que el ojo se



comienza a cerrar. El acoplamiento es probable que se deba tanto a los conectores como al cable de corta longitud. De todas formas, es muy poco probable que ese nivel de acoplamiento cause alguna dificultad a la señal de Ethernet.

Figura 8.. Diagrama de bloques de la configuración de la prueba.

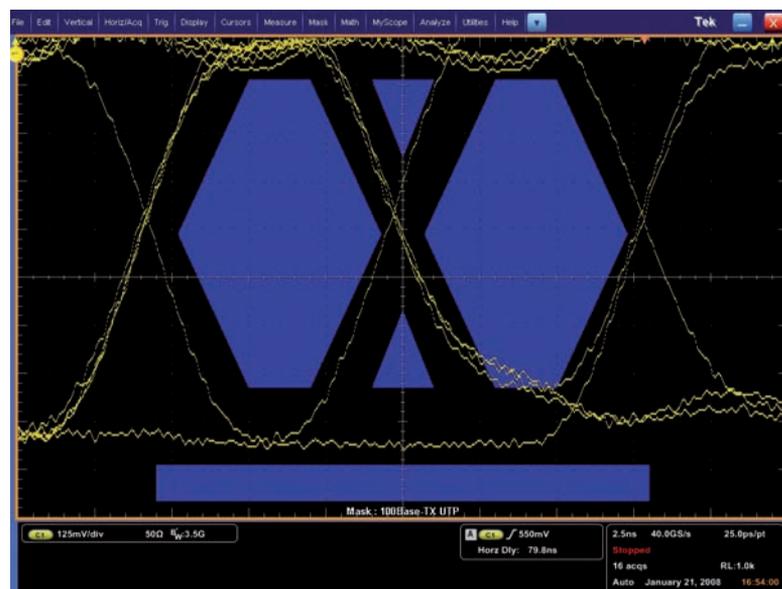


Figura 9. Diagrama de ojo de una señal sobre un cable de Ethernet de 0,3 metros y sin señal de vídeo.

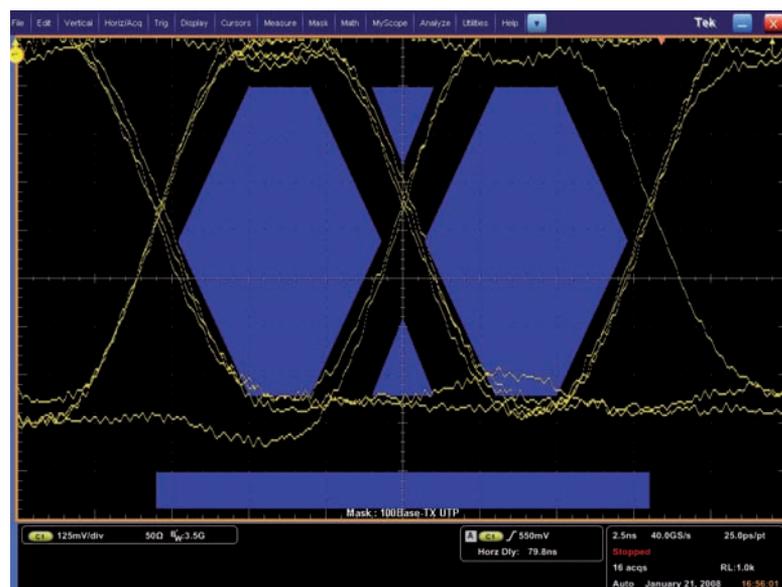


Figura 10. Diagrama de ojo de la señal con cable de Ethernet de 0,3 metros y con la señal de vídeo activa.

Figura 11 . Diagrama de ojo de la señal con cable de Ethernet de 10 metros y sin la señal de vídeo activa.

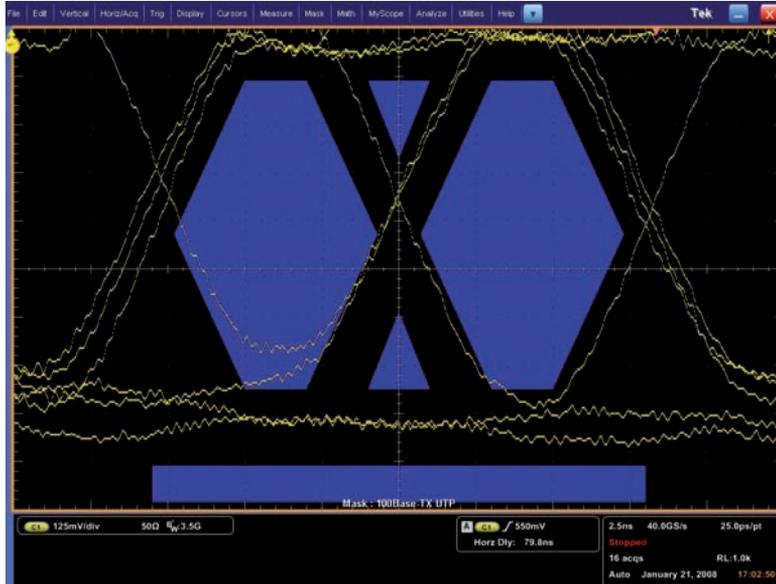


Figura 12. Diagrama de ojo de señal con un cable de Ethernet de 10 metros y con la señal de vídeo activa.

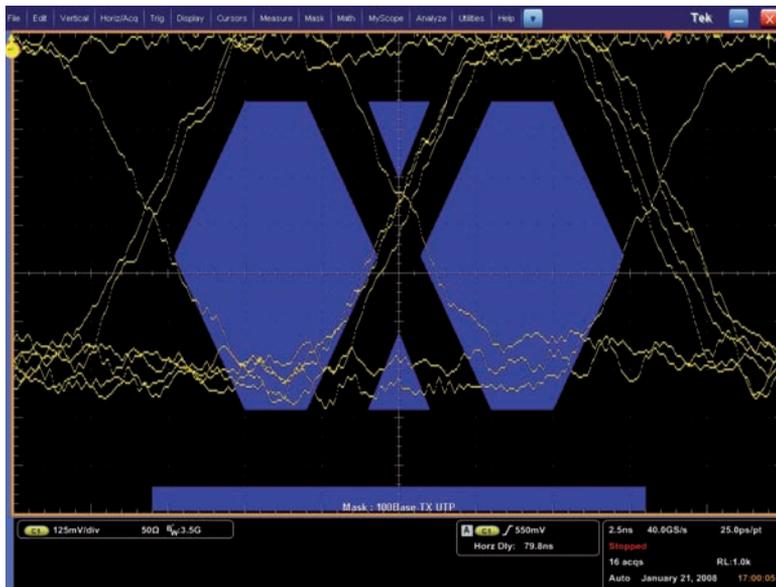
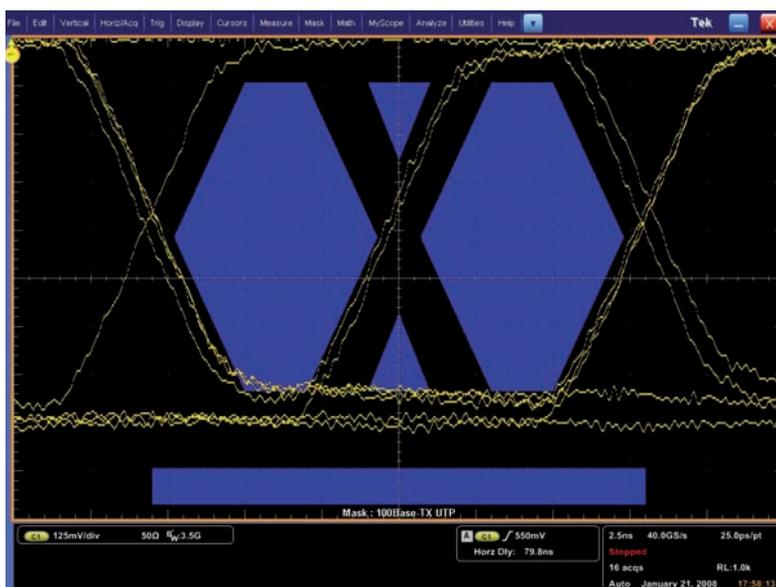


Figura 13. Diagrama de ojo de señal con un cable de Ethernet de 50 metros y con la señal de vídeo inactiva.



La figura 11 muestra la señal de Ethernet en un cable más largo, pero con la señal de vídeo inactiva. Hay algunas distorsiones más en la señal Ethernet, pero todavía no lo suficiente como para causar alguna dificultad debido a la propia longitud del cable.

Sin embargo, cuando se añade la señal de vídeo a este cable más largo hay más degradación de la señal de Ethernet, tal como se muestra en la figura 12. Se puede advertir que la señal cruza en su zona inferior la parte central hexagonal de la máscara. Una violación tan significativa puede comenzar a degradar el rendimiento de las comunicaciones de Ethernet.

En la figura 13 podemos ver que incluso con un cable de 50 metros y sin la señal de vídeo activa hay una desviación muy pequeña del patrón del ojo. Sólo una pequeña parte de la zona azul de la máscara es cruzada por la señal, por lo que incluso con esta longitud de cable Ethernet es posible una buena comunicación.

Sin embargo, cuando la señal de vídeo se añade al cable de 50 metros, podemos ver que las señales de Ethernet cubren una gran parte de la zona azul de la máscara, como se muestra en la figura 14. También podemos advertir cómo se distorsionan también las señales reales. Con esta longitud es muy probable que la señal de vídeo interfiera con las comunicaciones de Ethernet, a menos que la amplitud de la señal de vídeo se reduzca.

En este ejemplo se han estudiado los efectos de la transmisión de una señal de vídeo por los pares no utilizados del cable de pares trenzados estándar de Ethernet para distintas longitudes de dicho cable. Si bien es muy atractivo, económicamente hablando, obtener un uso adicional del cable existente, se ha descubierto que es necesario tener cierta prudencia. Hay algunos acoplamientos de la señal incluso con cables de Ethernet muy cortos, pero la señal se degrada rápidamente en cuanto se aumenta la longitud del cable. Esto indica que la señal de vídeo se acopla a la señal Ethernet en el cable, además de algún acoplamiento adicional en los conectores. Sobre la base de este análisis, hemos descubierto que es posible que tengamos que reducir la amplitud de la señal de vídeo para que esta aplicación sea viable.

Utilizando el software de conformidad de Ethernet TDSET3 sobre un osciloscopio de la serie DPO7000, hemos podido observar los efectos detallados sobre la señal de Ethernet al obtener mucha más información. La traza estándar de un osciloscopio sin el software no mostraría casi ninguna diferencia con la señal de vídeo activa o inactiva.

Aplicación 3. Evaluación de las prestaciones de RF

En este ejemplo se va a evaluar el efecto de los transitorios en un transmisor de radio durante el proceso de encendido del amplificador de potencia de salida. Este transmisor requiere una salida muy limpia y estable durante el tiempo en que se transmiten los datos con el fin de que el receptor pueda descodificarlos de forma fiable. Para ayudar a lograr esto, el sintetizador PLL que genera la señal se encendió primero y se le permitió estabilizarse antes de encender el amplificador de potencia de salida. El encendido del amplificador de potencia provocó algo de distorsión en la señal, la cual puede verse en la pantalla de visualización del espectro de la señal de salida. Usando la capacidad de análisis avanzado del espectro de los osciloscopios de la serie DPO7000, podemos observar el espectro en un momento determinado con relación a una señal de disparo. Haciendo lecturas del espectro con diversos retardos después de aplicar la alimentación al amplificador de potencia, se puede determinar cuándo los efectos de la puesta en marcha han finalizado para que se pueda iniciar la transmisión de los datos. El transmisor se alimenta a baterías, por lo que el reto es aquí determinar el tiempo mínimo que hay que retrasar el inicio de la transmisión de los datos por el transmisor para maximizar la duración de la batería.

La figura 15 muestra la configuración básica del sistema en el que un sintetizador y un amplificador de potencia son controlados por un microcontrolador. El osciloscopio se dispara utilizando la señal de control de potencia que

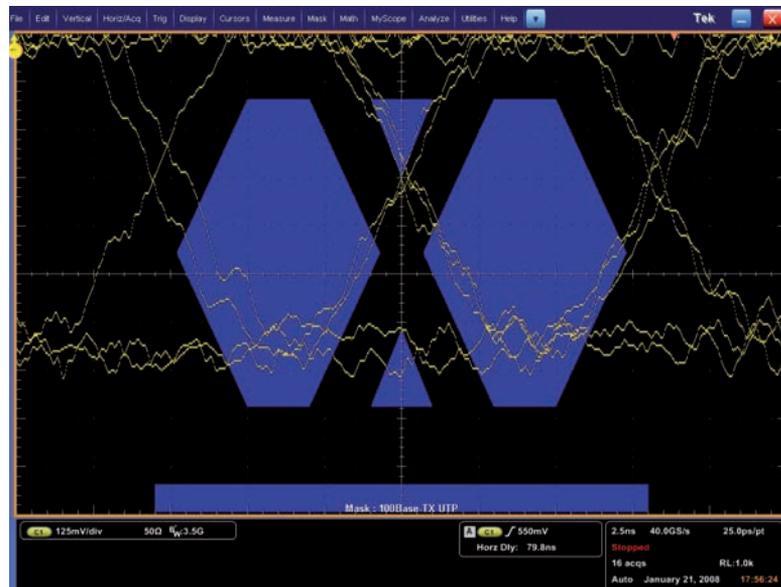


Figura 14. Diagrama de ojo de señal con cable de Ethernet de 50 metros y con la señal de vídeo activa.

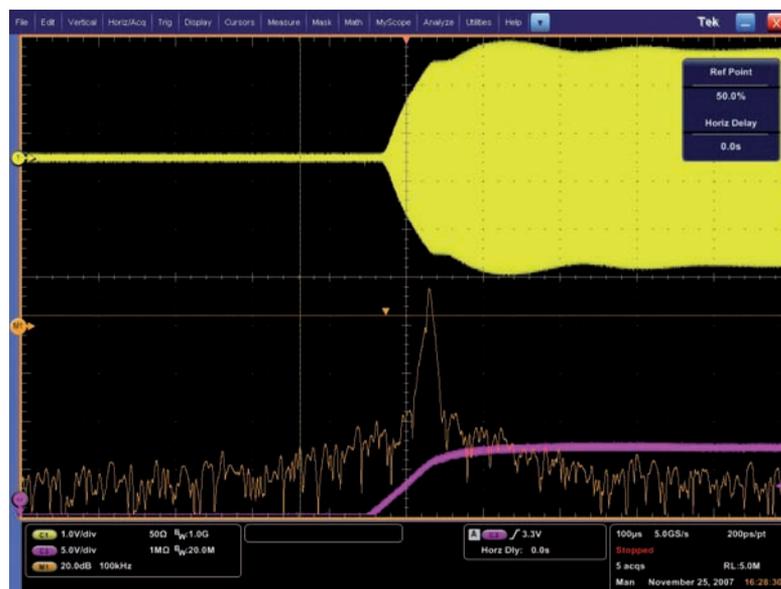


Figura 16. Señal y espectro sin retardo después del encendido del amplificador de potencia.

proviene del microcontrolador y la señal se extrae de la salida del amplificador de potencia y se aplica al osciloscopio.

La figura 16 muestra el espectro obtenido en la puesta en marcha del amplificador de potencia de radiofrecuencia. La señal de salida del amplificador de potencia (traza amarilla) muestra que la amplitud de la señal de salida varía en función del tiempo como se espera de la traza de un osciloscopio tradicional.

El relativamente amplio pico en el espectro indica que hay ruido en la misma frecuencia de la señal. Este ruido impediría que el receptor descodificase correctamente la señal que modula-se a esta portadora. La variación mostrada en la amplitud de salida (traza amarilla) afectaría también a la frecuencia, por lo que el receptor no podría funcionar correctamente utilizando esta señal.

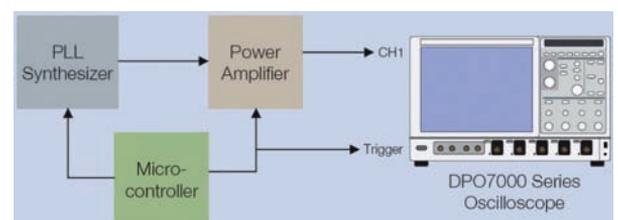


Figura 15. Diagrama de bloques del transmisor y del osciloscopio.

Figura 17. Señal y espectro con 100 milisegundos de retardo después del encendido del amplificador de potencia.

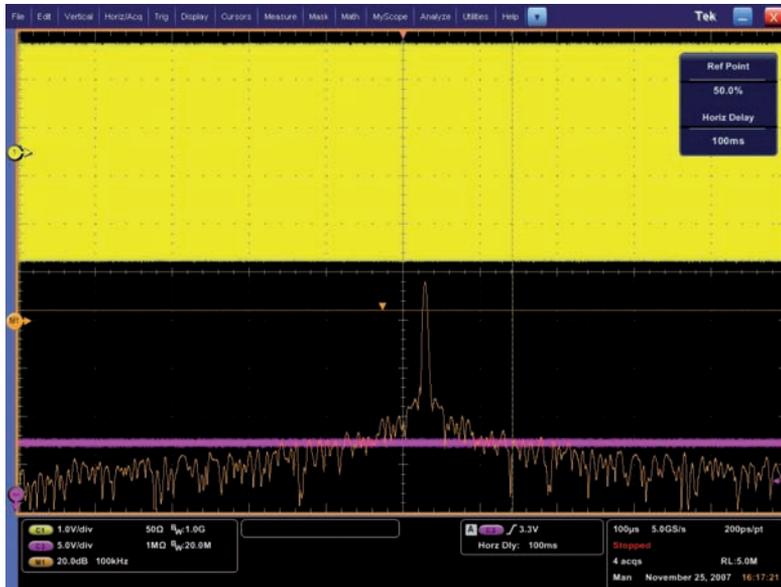


Figura 18. Señal y espectro con 0,5 milisegundos de retardo después del encendido del amplificador de potencia.

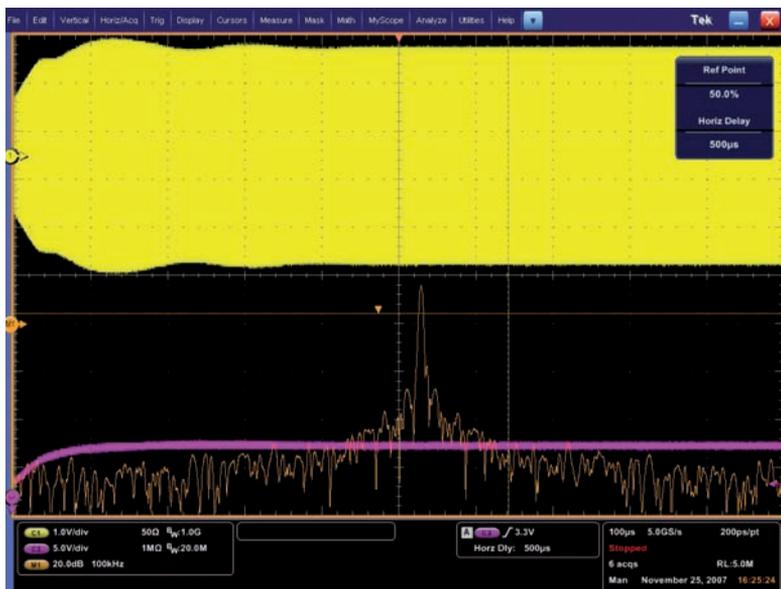
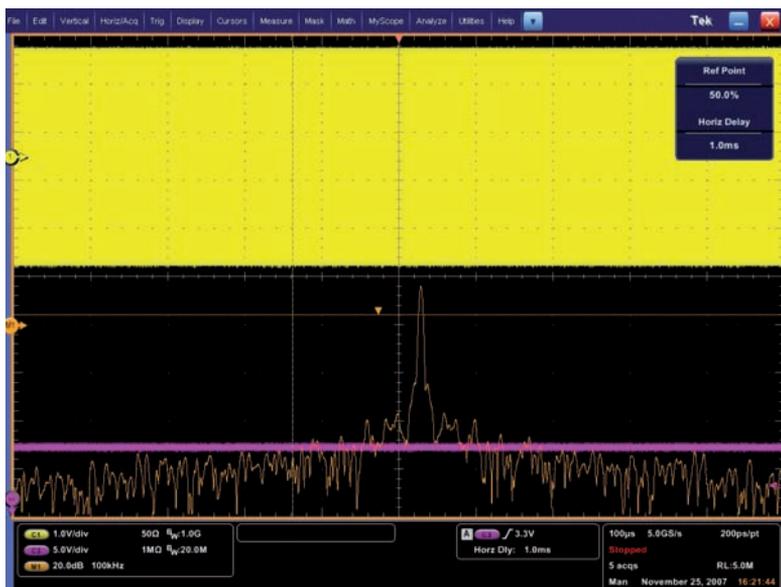


Figura 19. Señal y espectro con 1 milisegundo de retardo después del encendido del amplificador de potencia.



Con un retardo mucho mayor podemos ver que la señal es estable en la pantalla del espectro, tal como se muestra en la figura 17. Hemos seleccionado arbitrariamente un retardo de 100 milisegundos para garantizar que la señal se haya estabilizado totalmente. Se puede advertir que la salida del amplificador es limpia y estable (traza amarilla) y el espectro muy estrecho (traza de color naranja). Esto proporciona una referencia para lo que se está buscando, pero para conservar la energía de la batería se debe usar un retardo tan corto como sea posible y por otro lado, el espectro visualizado debe ser tan limpio como éste para satisfacer los estrictos requisitos del receptor.

La figura 18 muestra el espectro obtenido 0,5 milisegundos después del encendido. Este retardo se seleccionó porque parecía que la amplitud se había estabilizado pasado ese tiempo. Sin embargo, todavía hay un ensanchamiento del espectro (traza de color naranja) en comparación con lo que se ha visto en el caso del retardo de 100 milisegundos en la figura 17, así que esto no es un tiempo de retardo suficiente para iniciar la transmisión de datos. El ancho de la traza indica que aún habría suficiente ruido en la señal para perjudicar la recepción de datos en el receptor a pesar de que la traza de la señal (traza amarilla) no muestra ningún problema.

Utilizando un retardo de 1 milisegundo, la señal de salida que se muestra en la figura 19 parece ser estable y fiable. La señal del espectro (traza de color naranja) y la señal de salida (traza amarilla) se parecen mucho a las correspondientes en el caso del retardo de 100 milisegundos de la figura 17. Así que, en este caso la señal y el espectro son limpios, por lo que este retardo es suficiente antes de iniciar la transmisión de datos. Es posible que el tiempo podría acortarse ligeramente, pero puesto que la transmisión en sí misma tiene una duración de alrededor de 100 milisegundos, la reducción del retardo en unas fracciones de milisegundo tendría un efecto mínimo sobre la energía consumida de la batería.

Al mirar en este ejemplo el espectro de la salida del transmisor, se determinó que un 1 milisegundo inmediatamente después de conectar el amplificador, la salida se había estabilizado y que los datos podían ser enviados desde el transmisor de forma fiable. El osciloscopio de la serie DPO7000 nos permitió establecer el momento en que debía capturarse el espectro, por lo que el rendimiento del

transmisor de radio pudo ser evaluado fácilmente con diferentes retardos. A partir de una serie de capturas de espectros fue posible determinar rápidamente cuando se había estabilizado la señal.

La figura 20 muestra la pantalla de configuración de la función de análisis avanzado del espectro de los osciloscopios de la serie DPO7000. La función de "puerta" (Gating) permite establecer el retardo del disparo para el momento en que se desea obtener el espectro. Se proporciona también la posibilidad de realizar la configuración típica de la frecuencia central, de la ventana (span) de frecuencia, del ancho de banda de resolución y del nivel, por lo que el osciloscopio puede proporcionar amplias capacidades para muchos proyectos de RF.

Resumen

Utilizando técnicas de medida específicas, se ha logrado garantizar de manera rápida y eficaz una comunicación económica en los diseños embebidos. Tanto si se trabaja con interfaces de cable o inalámbricas, Tektronix puede ayudar a alcanzar los objetivos de diseño

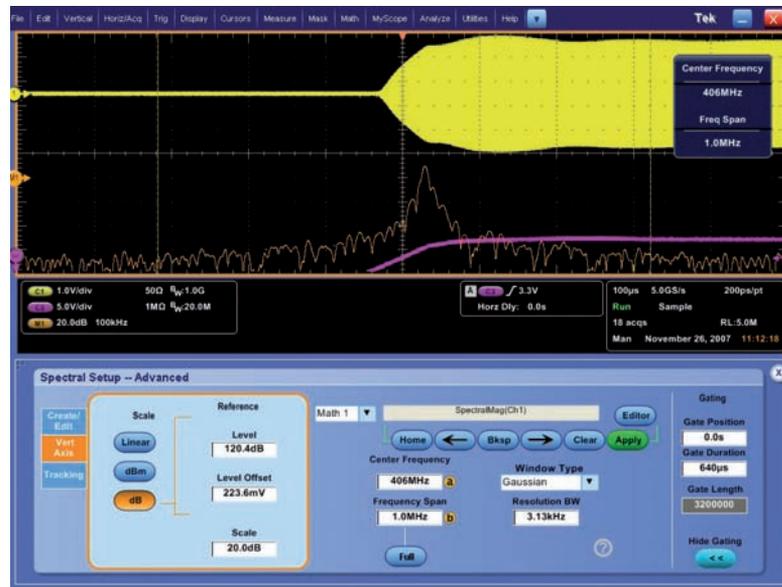


Figura 20. Pantalla de configuración para el análisis avanzado del espectro.

y proporcionar soluciones fiables para el mercado. Con los instrumentos de medida adecuados, como el osciloscopio de la serie DPO7000, se pueden verificar, caracterizar, depurar y probar los diseños embebidos. Como se muestra en estos ejemplos, las capacidades del software de análisis avanzado sirven para automatizar

y simplificar muchas medidas en el caso de los estándares USB y Ethernet y en el análisis del espectro de RF. El completo conjunto de prueba y medida de Tektronix ofrece también una amplia gama de soporte para muchas otras normas y tecnologías que ayuda a satisfacer las necesidades de diseño. 