

Análisis de “jitter” mediante métodos espectrales



► Utilice herramientas de análisis de “jitter” en tiempo real con separación de Rj/Dj para la predicción de la tasa de error de bit del sistema.

Características del software de análisis de “jitter” TDSJIT3

Introducción

A medida que los estrechos márgenes de temporización y las rápidas velocidades de reloj intervienen de manera más acusada en los diseños actuales de alta velocidad, el “jitter” se transforma en la causa más importante de los errores del sistema. La identificación y medida de los componentes del “jitter” ayuda a la depuración de los circuitos de alta velocidad y es necesaria en varios estándares de comunicaciones de datos serie de alta velocidad, tales como Fibre Channel, SONET, SDH y Gigabit Ethernet. Esta nota de aplicación describe una nueva forma de analizar y medir los componentes del “jitter” utilizando un método basado en el análisis espectral. La estimación de la tasa de error de bit (BER) basada en los resultados del análisis de “jitter”, tan solo toma unos segundos en oposición a los minutos e incluso horas de los equipos convencionales de análisis

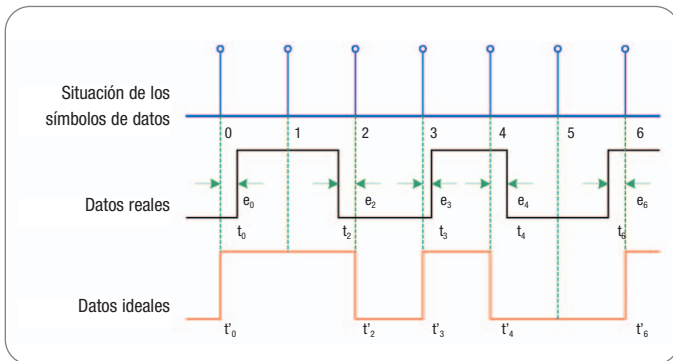
BER. Este método ha sido implementado en el software de análisis de “jitter” y temporización TDSJIT3 de Tektronix. Este software es compatible con los osciloscopios de las series TDS6000 y TDS7000. Esta nota describe la utilización del software TDSJIT3 con un DSO TDS6604.

Este documento incluye una explicación de:

- El “jitter” y sus componentes
- La separación de los componentes del “jitter” utilizando un método espectral
- La estimación de la tasa de error de bit

Análisis de “jitter”

► Nota de aplicación



► **Figura 1.** Definición del “jitter”.

El “jitter” y sus componentes

El “jitter” es la desviación de los flancos significativos en una secuencia de bits de datos, respecto de sus posiciones ideales. Como se muestra en la Figura 1, el “jitter” (e_i) es la diferencia entre el tiempo (t'_i) esperado para la ocurrencia de un evento y el tiempo (t_i) en que dicho evento realmente ocurre. En el contexto de un enlace digital de comunicaciones, el “jitter” es el desplazamiento entre la posición esperada de la transición de la señal y la posición real de la transición.

En comunicaciones de datos serie, el “jitter” puede representar un grave problema puesto que el reloj de los datos no es transmitido habitualmente con dichos datos, por lo que el exceso de “jitter” en la señal de datos del transmisor provocará errores de recuperación de los datos en el extremo receptor. Para evitar tasas de errores excesivas, los estándares especifican un margen de “jitter” con el fin de que los circuitos transmisores y receptores puedan ser diseñados para operar dentro de estos márgenes y tolerancias de “jitter”. Para tener la seguridad de que los dispositivos operarán dentro de esos márgenes, será necesario medir el “jitter” con precisión. La medida no solamente debe cuantificar el “jitter”, sino también ayudar a los diseñadores a investigar las causas y orígenes del “jitter” y servirles de ayuda en la reducción o eliminación de dicho origen.

El “jitter” se divide en dos categorías generales: “jitter” determinístico (Dj) y “jitter” aleatorio (Rj). Estas dos categorías de “jitter” se acumulan de formas diferentes en los procesos de comunicaciones de datos serie. Rj se considera un componente ilimitado, adoptando normalmente una distribución Gaussiana y, por tanto, ciertas reglas estadísticas. Dj se considera limitado y está compuesto de los componentes ISI, DCD y Pj.

Dj representa el “jitter” determinístico, el cual es predecible y consistente y posee causas específicas. Dj está compuesto de los componentes ISI, DCD y Pj y posee una distribución de amplitud no Gaussiana que está siempre limitada. Dj se caracteriza por un valor pico a pico limitado.

ISI representa la interferencia inter-símbolo, que consiste en un “jitter” determinístico dependiente de los datos, causado típicamente por la dispersión de canales o por filtrado. Ocurre cuando la señal llega al umbral del receptor en instantes diferentes al partir de diferentes lugares en secuencias de bits (símbolos). También se le conoce como “jitter” dependiente de los datos (DDj).

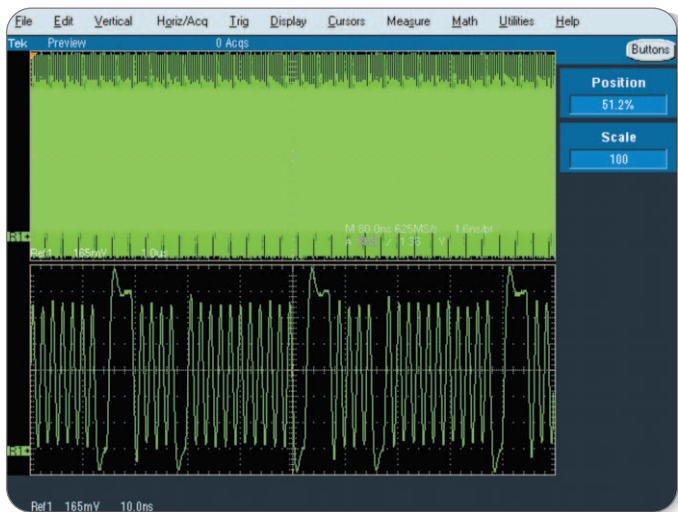
DCD representa la distorsión del ciclo de trabajo y es la diferencia en la anchura media de los pulsos positivos comparada con la anchura media de los pulsos negativos en una secuencia de bits semejante al reloj. Puede ser causada por errores de desplazamiento de amplitud, retardos de activación y saturación.

Pj es el “jitter” periódico y se repite cíclicamente con una periodicidad que no está correlacionada con los datos. Una causa típica de Pj es utilizar una fuente de alimentación conmutada. Pj puede estar modulada por una o más ondas sinusoidales y sus armónicos.

Rj es el “jitter” aleatorio. Rj exhibe una distribución Gaussiana que es teóricamente ilimitada en amplitud. La distribución Gaussiana está caracterizada por su valor cuadrático medio (RMS) o desviación estándar. Es fácilmente demostrable que, en promedio, cualquier variable aleatoria Gaussiana sobrepasará en un margen de 14 veces su desviación estándar solamente alrededor de una vez cada 10^{12} . Si al sobrepasar este margen se genera un error de bits en un sistema de comunicaciones de datos, éste corresponderá a una tasa de error de bit (BER) de 10^{-12} . Rj está producida principalmente por el ruido térmico en los componentes eléctricos.

Tj es el “jitter” total y está compuesto de Dj y Rj. Para un BER de 10^{-12} , su valor pico a pico se calcula de la siguiente forma:

$$TJ = DJ + RJ \times 14$$



► **Figura 2.** Señal de datos con un patrón repetitivo.

Análisis de “jitter” utilizando un método espectral

En este método, se asume que la señal de datos serie a medir consiste en un patrón periódico repetitivo del que se conoce la longitud del mismo. Por ejemplo, la señal en la Figura 2 contiene repeticiones de la secuencia IDLE de Fibre Channel de K28.5-D21.4-D21.5-D21.5. La longitud del patrón es de 40.

Utilizando el modelo espectral, el “jitter” se mide en la forma siguiente:

Un osciloscopio realiza una adquisición de un evento único o en tiempo real de la señal de datos. Para obtener una mayor precisión en la captura del “jitter”, es esencial que el sistema de adquisición posea la mejor precisión temporal, relación señal/ruido, bits efectivos y fidelidad de señal posibles. El TDS6604 de Tektronix con sondas TekConnect™ garantiza la mejor fidelidad de la señal disponible en la actualidad.

Una vez completada la adquisición, el registro se analiza por software para determinar el error de intervalo de tiempo (TIE, Time Interval Error) para cada uno de los flancos de reloj. Dependiendo de las necesidades del usuario, se podrá aplicar el método de mínimos cuadrados o “golden PLL” para recuperar el reloj de referencia y poder averiguar el TIE. El TIE representa el “jitter” en los flancos de datos adquiridos.

“Golden PLL”

Cuando un receptor de datos procesa una trama de datos serie, el receptor recupera en primer lugar su referencia temporal, generalmente por medio de un PLL. Los componentes de “jitter” que quedan dentro del ancho de banda del bucle del PLL son seguidos y eliminados por el mismo. Frecuentemente los ingenieros sólo desean medir el “jitter” que no sea eliminada por dicho PLL. La especificación Fibre Channel proporciona un diseño PLL de referencia, conocido como un “golden PLL”, para permitir la estandarización de esta forma de recuperación del reloj. En el TDSJIT3, el reloj recuperado se considera como el reloj de referencia y se utiliza en el cálculo del error de intervalo de tiempo (TIE).

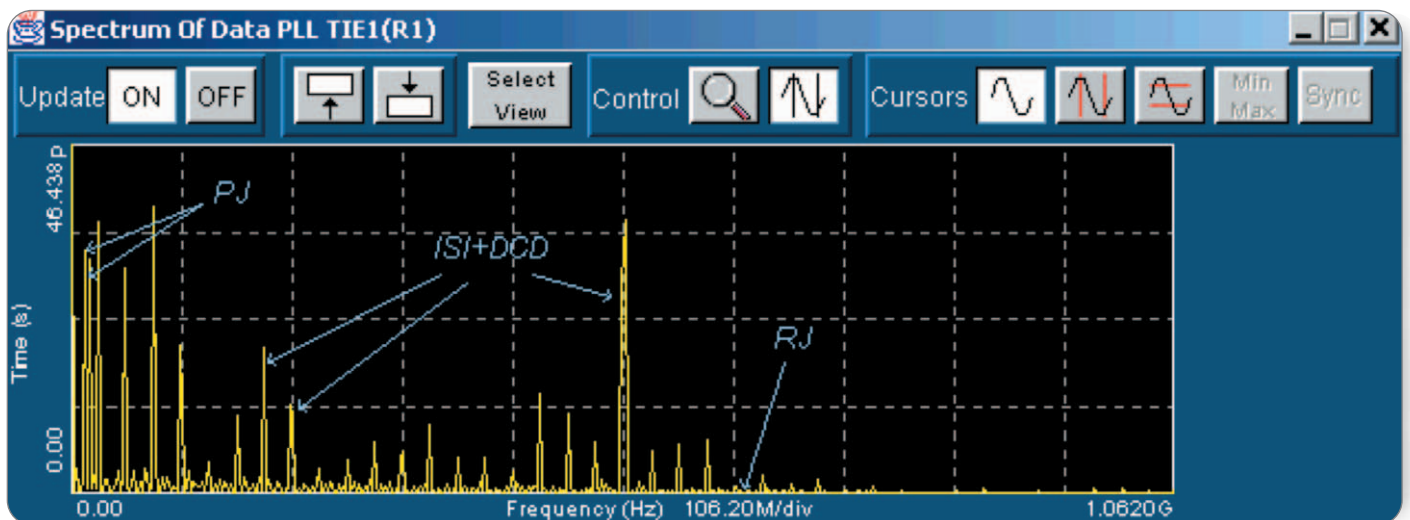
A continuación, los resultados TIE se procesan a través de una FFT para calcular su espectro. Éste será el espectro del “jitter” en la señal adquirida.

Antes de calcular dicho espectro es necesario efectuar un paso importante para garantizar la precisión del resultado de la FFT. En los puntos donde no hay flanco de datos entre dos o más símbolos, especialmente con datos NRZ donde los niveles pueden permanecer invariables durante períodos múltiples de símbolos, se podrá estimar el grupo de símbolos por interpolación. En las ubicaciones de estos símbolos, el conjunto de valores de “jitter” se marcará como “interpolado” para que pueda distinguirse del “jitter” correspondiente a las transiciones.

El método espectral revela los diversos componentes del “jitter” total en dos pasos. En el primero, Rj y Dj quedan separadas. En el segundo paso se separarán los componentes de Dj.

Análisis de “jitter”

► Nota de aplicación



► **Figura 3.** Espectro de “jitter” total.

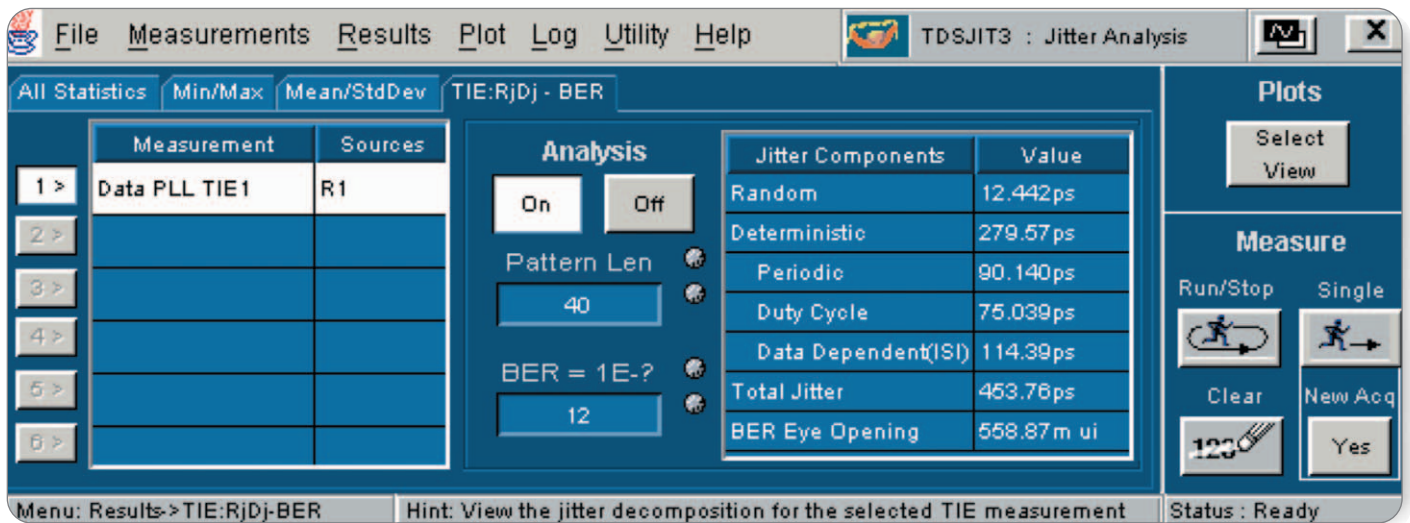
Análisis Rj/Dj

El método espectral separa el “jitter” total en las dos categorías Dj y Rj, basándose en las siguientes observaciones:

- Rj se supone que es Gaussiano y su espectro es ancho y plano.
- Dj es periódica en el dominio del tiempo puesto que se asume que la señal de datos serie consiste en un patrón de datos que se repite periódicamente, teniendo un espectro de impulsos.

La Figura 3 ilustra el espectro del “jitter” total de la señal de datos que aparece en la Figura 2. Resultan obvias las distintas propiedades de Dj y de Rj. Se pueden utilizar varios modelos para separar los impulsos del “umbral del espectro de ruido” pero deberán dar cabida a variaciones en la FFT, resultantes de la resolución de la FFT, dispersión de frecuencia, ventanas utilizadas, etc. Se puede obtener el parámetro de desviación estándar de Rj calculando el valor RMS del umbral del espectro de ruido en el dominio de la frecuencia.

El espectro de Dj solamente se recupera poniendo a cero todos los bins del espectro Tj que sean atribuibles a Rj. Se obtendrá un registro de Dj en el dominio del tiempo realizando una FFT inversa sobre este espectro Dj. El valor del tiempo pico a pico, que es el parámetro de interés para Dj, se localiza directamente a partir de esta forma de onda en el dominio del tiempo. Hay que tener en cuenta que las ubicaciones marcadas anteriormente como “interpoladas” no se tienen en consideración a efectos de determinar el valor pico a pico.



► **Figura 4.** Medidas de los componentes del "jitter".

Análisis de los componentes Dj

Una vez obtenido el espectro de Dj en el paso anterior, podremos obtener los tres componentes de Dj (ISI, DCD y Pj). De nuevo, Dj consta únicamente de impulsos. Se pueden separar los componentes de "jitter" ISI+DCD del componente Pj basándose en las siguientes observaciones:

- Todos los impulsos debidos a los componentes ISI+DCD deben aparecer en múltiplos de velocidad de bits/N. Donde N es la longitud del patrón de datos, es decir, el número de símbolos en el patrón de repetición de la secuencia de datos.
- Cualquier otro impulso remanente será debido a Pj (consulte la Figura 3).

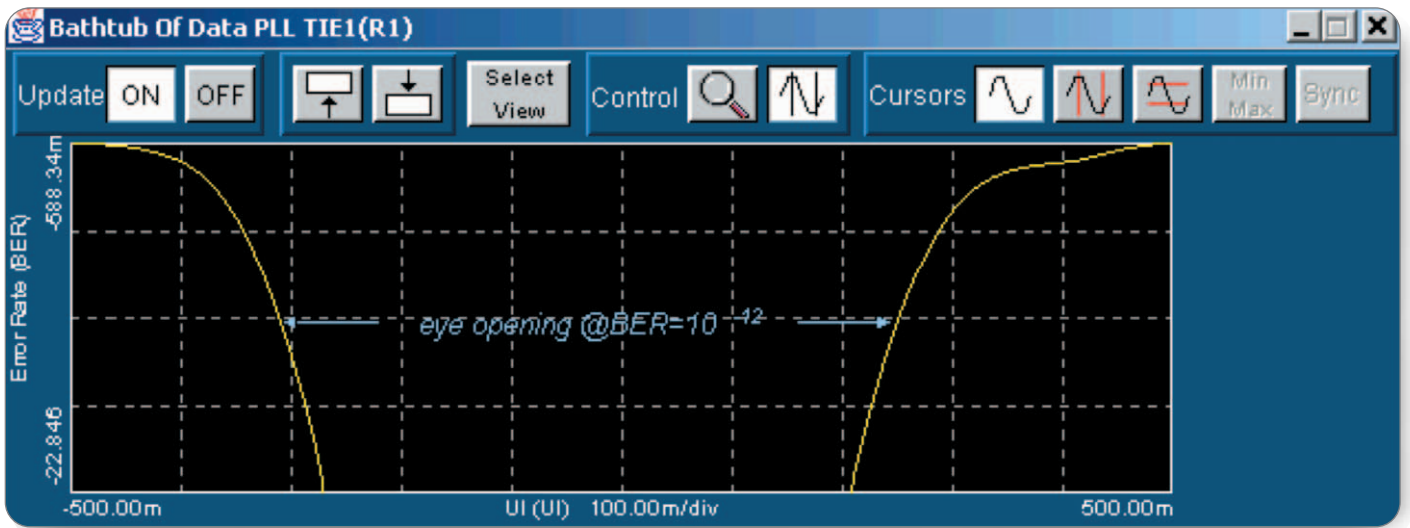
Con Pj así aislada, se realizará una FFT inversa para recuperar Pj en el dominio del tiempo. El parámetro de interés en Pj es el valor pico a pico de su registro en el dominio del tiempo. Después, utilizando solamente las partes del espectro de DJ atribuibles a ISI+DCD, se efectuará una FFT inversa para recuperar las ISI+DCD en el dominio del tiempo. Este registro en el dominio del tiempo se podrá separar ahora en dos registros, donde uno de ellos contenga sólo los flancos ascendentes y el otro sólo los flancos descendentes. Se calculará un histograma para cada uno. Estos dos histogramas pueden tener aspectos similares si la señal de datos tiene disparidades alternadas. El método utilizado para distinguir los componentes DCD de los componentes ISI está basado en las siguientes propiedades:

- La diferencia entre los valores medios de los dos histogramas es DCD.
- El promedio de los valores pico a pico de los histogramas es ISI.

Utilizando este modelo espectral, TDSJIT3 mide los valores de los componentes de "jitter" indicados en la Figura 4.

Análisis de “jitter”

► Nota de aplicación



► **Figura 5.** Curva de la bañera.

Estimación de la tasa de error de bit

Una vez que el “jitter” determinístico y el aleatorio han sido caracterizados por separado, se podrá estimar el BER. El registro de tiempo de D_j se obtiene a partir de la separación D_j/R_j . Ahora se calcula el histograma en el dominio del tiempo de D_j sin tener en cuenta las ubicaciones marcadas como “interpoladas”. El histograma en el dominio del tiempo de R_j se sintetiza sobre la base del modelo Gaussiano, utilizando la desviación estándar obtenida durante la separación D_j/R_j . Posteriormente se combinan los histogramas de D_j y R_j para obtener el histograma recuperado del “jitter” total. Cuando está adecuadamente normalizado, este histograma T_j recuperado se puede interpretar como la función de distribución de probabilidades (PDF) de T_j .

Finalmente se obtendrá la “curva de la bañera” (curva BER, como se indica en la Figura 5) a partir de esta PDF. Se pueden encontrar detalles adicionales en el documento Fibre Channel MJS. Obsérvese que la “curva de la bañera” se obtiene de forma convencional utilizando una escala logarítmica en el eje vertical, toda vez que el BER de interés corresponde a un nivel muy próximo al cero. La tasa de error de decisión siempre será menor que la tasa de error de bit especificada, siempre que el tiempo de decisión se elija en alguna parte de la “curva de la bañera”. Esto es análogo a garantizar que el punto de muestreo de datos está centrado en el diagrama de ojo de un osciloscopio. Basándose en la “curva de la bañera” BER, se puede estimar la apertura de ojo para una determinada tasa de error de bit.

Conclusión

Conforme se incrementan las velocidades de reloj y se reducen los márgenes temporales, la caracterización de la temporización gana en importancia. Con los diseños actuales, no se puede prescindir de la caracterización del “jitter” y además también debe ser posible investigar las causas del “jitter” por medio de medidas precisas del mismo con el fin de utilizarlas como herramienta de predicción del comportamiento de sistema a lo largo del tiempo y con unos equipos que minimicen el coste total para su empresa. Todo esto significa poder analizar el “jitter” utilizando un método espectral con una herramienta de propósito general tal como un osciloscopio. Todo ello revertirá en que los diseños llegarán al mercado en menos tiempo y con mayor robustez, proporcionando una mejor operación en los entornos de alta velocidad actuales a la vez que se minimizan las inversiones necesarias en herramientas de ingeniería.

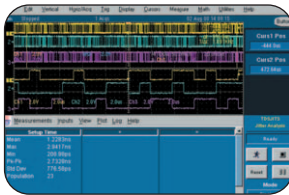
El valor de Rj/Dj en un osciloscopio de tiempo real.

Más allá del estándar general y de las capacidades multiuso de los osciloscopios de tiempo real de Tektronix basados en un sistema Windows abierto, las herramientas de análisis, tales como el TDSJIT3, permiten a los ingenieros realizar profundos y complejos análisis de las señales, extendiendo sin limitación las capacidades del osciloscopio.

Tektronix ha sido líder en el análisis y fidelidad de la señal desde sus comienzos: el primero en ofrecer medidas internas; el primero en disparos complejos; el primero en aplicaciones internas; el primero en plataformas abiertas; y ahora el primero con Rj/Dj. Tektronix, la compañía líder en análisis de señal basada en osciloscopios, continúa dirigiendo la industria y siendo un punto de referencia para los demás.

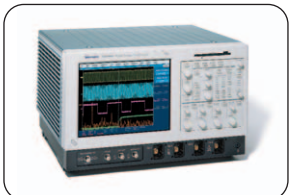
Análisis de "jitter"

► Nota de aplicación



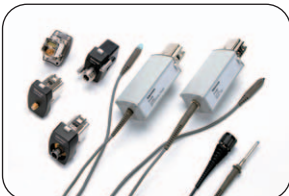
Software de análisis de "jitter" TDSJIT3

TDSJIT3 es el principal paquete de software de análisis de "jitter". Con su capacidad de realizar análisis Rj/Dj sobre las señales de datos y de reloj, el TDSJIT3 proporciona las más elevadas precisiones disponibles en medidas de "jitter". Con completos algoritmos de análisis de "jitter", el TDSJIT3 simplifica la localización del "jitter" y de las fuentes relacionadas con el mismo en los diseños de alta velocidad digital, de comunicaciones y sistemas actuales.



DSO TDS6604

El primer osciloscopio de 6 GHz del mundo proporciona las prestaciones que usted necesita para sus más rigurosas señales. El TDS6604 le transportará a un nuevo nivel de integridad de la señal para sus diseños digitales de nueva generación, proporcionándole las prestaciones necesarias para verificar la integridad de sus señales, así como un conjunto de herramientas que simplificarán y acelerarán sus procesos de diseño. Con 6 GHz de ancho de banda y 20 GS/s de velocidad de muestreo sobre 2 canales, el TDS6604 proporciona medidas sin precedentes en la integridad de la señal.



Soluciones de sondas de altas prestaciones

Las sondas de categoría mundial de Tektronix proporcionan prestaciones y fidelidad de señal únicas en su género. La P7260 es la sonda activa FET más rápida del mundo. Tanto la sonda activa P7260 como la P7240, así como la sonda diferencial P7330, proporcionan una baja carga en el circuito, bajo ruido y soluciones precisas de sondeo para los diseñadores de circuitos de alta velocidad.

Contacto con Tektronix:

Alemania +49 (221) 94 77 400
ASEAN / Australasia (65) 6356 3900
Austria +41 52 675 3777
Bélgica 07 81 60166
Brasil y Sudamérica 55 (11) 3741-8360
Canadá 1 (800) 661-5625
EE.UU. 1 (800) 426-2200
España (+34) 901 988 054
Europa Central y del Este, Ucrania y Países Bálticos
+41 52 675 3777
Europa Central y Grecia +41 52 675 3777
Dinamarca +45 80 88 1401
Finlandia +41 52 675 3777
Francia +33 (0) 1 69 86 81 81
Holanda 090 02 021797
Hong Kong (852) 2585-6688
Italia +39 (02) 25086 1
Japón 81 (3) 6714-3010
La India (91) 80-22275577
Los Balcanes, Israel, Sudáfrica y otros países ISE
+41 52 675 3777
Luxemburgo +44 (0) 1344 392400
México, Centroamérica y países del Caribe 52 (55) 5424700
Noruega 800 16098
Oriente Medio, Asia y norte de África +41 52 675 3777
Polonia +41 52 675 3777
Portugal 80 08 12370
Reino Unido e Irlanda +44 (0) 1344 392400
República de Corea 82 (2) 528-5299
República Popular China 86 (10) 6235 1230
Rusia, CEI y países bálticos +7 (495) 7484900
Sudáfrica +27 11 254 8360
Suecia 020 08 80371
Suiza +41 52 675 3777
Taiwán 886 (2) 2722-9622

Si desea obtener información sobre otras zonas, póngase en contacto con Tektronix, Inc. en el 1 (503) 627-7111

Última actualización: 12 de mayo de 2006

Para obtener mayor información:

Tektronix mantiene una colección completa de notas de aplicación, artículos técnicos y otros recursos en constante expansión para ayudar a los ingenieros en sus trabajos en la vanguardia de la tecnología. Visítenos en www.tektronix.com



Copyright © 2006, Tektronix, Inc. Reservados todos los derechos. Los productos Tektronix están cubiertos por patentes de EE.UU. y extranjeras, emitidas y pendientes. La información en esta publicación sustituye a la de cualquier otro material publicado con antelación. Reservados los derechos de modificación en las especificaciones y precios. TEKTRONIX y TEK son marcas comerciales registradas de Tektronix, Inc. Todas las demás marcas comerciales a que se hace referencia son marcas de servicio, marcas comerciales o marcas comerciales registradas de sus respectivas compañías.

7/06 MORWOW

55S-15631-1