

Descripción de la tecnología utilizada en osciloscopios para obtener altos anchos de banda

Por Brig Asay de Agilent Technologies

Agilent Technologies
www.agilent.com

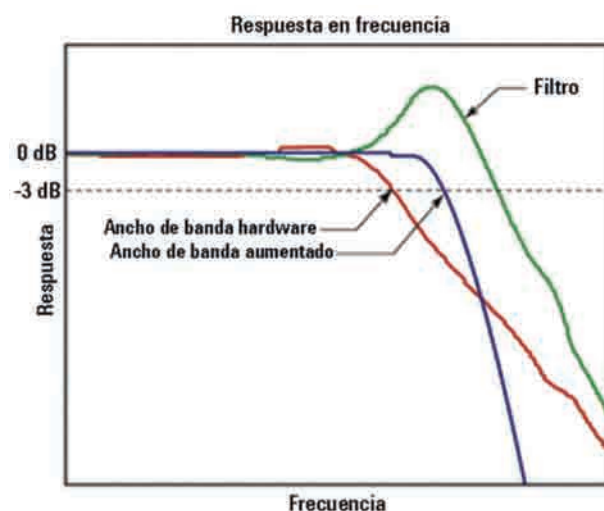
La carrera que disputan los distintos fabricantes para obtener los mayores anchos de banda en sus osciloscopios parece haber acelerado su ritmo recientemente. En 2007 se lanzó el primer osciloscopio de 20 GHz y en 2009, el primer modelo de 30 GHz. Finalmente, en 2010, Agilent Technologies ha introducido el primer osciloscopio del mundo con ancho de banda de 32 GHz pasando a convertirse en líder del sector. Para los fabricantes de osciloscopios, el ancho de banda representa el elemento individual más importante de todas las especificaciones anunciadas.

Figura 2. Filtrado para mejora de ancho de banda

Cuando un fabricante de osciloscopios posee el mayor ancho de banda, parece gozar inmediatamente de una especie de "efecto halo" que se extiende al resto de sus osciloscopios con menores anchos de banda. A medida que la velocidad de los osciloscopios sigue aumentando, resulta importante entender cómo los fabricantes de osciloscopios obtienen realmente estos anchos de banda tan altos. Hasta la fecha, existen tres técnicas distintas que permiten alcanzar anchos de banda de 20 GHz y más. Estas técnicas incluyen: rendimiento puramente hardware, entrelazado de frecuencia y potenciado del procesamiento digital de señal (DSP

boosting). Al comprar un osciloscopio, resulta particularmente importante entender la tecnología que incorpora, ya que la selección de un osciloscopio con compensaciones incorrectas afectará la calidad de las medidas a efectuar.

DSP potenciado (DSP Boosting)



El primer osciloscopio de 13 GHz del mundo utilizaba una técnica conocida como DSP potenciado, que permitía potenciar su hardware de 12 a 13 GHz. Por entonces (2004), muchos fueron

quienes sostuvieron que esta técnica generaba demasiado ruido y no la aceptaron como ancho de banda "real". Sin embargo, en 2007, salió al mercado el primer osciloscopio con DSP potenciado de 20 GHz (potenciado de 16 a 20 GHz). De repente, las alusiones en contra de la técnica de DSP potenciado parecieron perder fuerza, ya que dos de

los principales fabricantes de osciloscopios utilizaban ahora dicha técnica y, lo que aún es más importante, era la única manera de obtener un ancho de banda de 20 GHz. El primer osciloscopio de 20 GHz tuvo un buen recibimiento en el mercado debido principalmente a que, en dicho

momento, los diseñadores creyeron que podrían realizar mejores medidas en señales de 6 y 8 Gbps. Adquirirían estos osciloscopios basándose exclusivamente en la especificación anunciada, sin preocuparse en absoluto de la tecnología subyacente a dicha especificación.

Por lo tanto, cabe preguntarse ¿en qué consiste realmente el DSP potenciado? El DSP potenciado es una técnica de procesamiento donde el contenido de alta frecuencia de un osciloscopio se potencia mediante software. Un aspecto importante a tener en cuenta es la necesidad de diferenciar los requisitos de DSP potenciado de aquellos otros tipos de correcciones de DSP que los fabricantes de osciloscopios utilizan en la actualidad. Para llegar a entender la manera en que funciona el DSP potenciado, hay que recordar primero que una señal puede dividirse en sus diversos componentes de frecuencia. Utilizando software es posible amplificar los componentes de mayor frecuencia de la se-

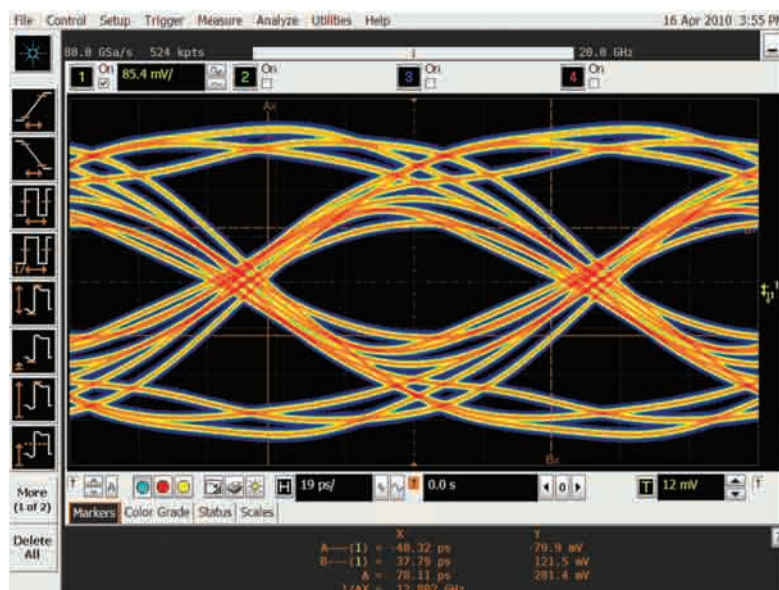
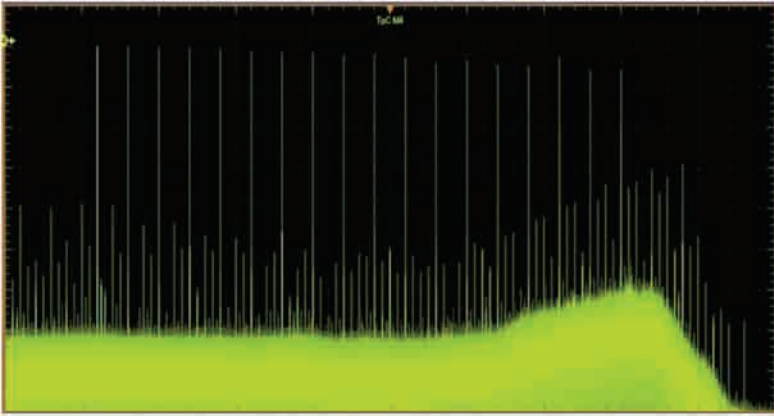


Figura 1. Señal de 10,3125 Gbps capturada con el analizador DSA-x 92004A de Agilent.



ñal. Si contemplamos la figura 2, la traza de color rojo representa una respuesta en frecuencia típica de osciloscopio. La traza de color verde es el filtro software utilizado para amplificar los componentes de alta frecuencia que da como resultado el mayor ancho de banda. En este punto en concreto, todo parece ser correcto, a excepción de que existe una desventaja importante con respecto al DSP potenciado: el rendimiento de ruido de la señal potenciada. Al amplificarse la señal, también aumenta el ruido del osciloscopio. En función del nivel de potenciado aplicado, la técnica podría en realidad acabar deteriorando la señal y proporcionar peores resultados que una señal de menor ancho de banda sin potenciado. Ésta es la razón más importante para evaluar realmente el nivel de potenciado que está teniendo lugar y si el ancho de banda obtenido compensa el aumento de ruido.

Entrelazado de frecuencia

El primer osciloscopio de 30 GHz de la industria utiliza una técnica conocida como entrelazado de frecuencia. Ésta, a pesar de no ser ampliamente conocida en el mundo digital, ha sido una técnica utilizada en el sector de RF durante muchos años. El entrelazado de frecuencia es diferente al entrelazado convencional de los convertidores analógico digital (ADC) utilizado por los fabricantes de osciloscopios. Todos los fabricantes de osciloscopios entrelazan actualmente recursos de canal, como la memoria y ADC's para obtener velocidades de muestreo más altas y mayor profundidad de memoria. Por ejemplo, el modelo Infiniium DSAX93204A de Agilent entrelaza cuatro ADC's de 20 Gmuestras/s para así proporcionar la velocidad de muestreo más rápida del

mundo (80 Gmuestras/s). No obstante, hasta que empezó a utilizarse el entrelazado de frecuencia, las técnicas de entrelazado existentes sólo se efectuaban tras la adquisición de señal y era posible controlarlas rigurosamente utilizando relojes de gran precisión incorporados en el sistema del osciloscopio. A pesar de ello, siguen produciéndose errores de entrelazado en los osciloscopios modernos. Esto provoca aumentos en el nivel de distorsión armónica total (THD) de los osciloscopios. En la mayoría de los casos, dicho aumento del THD merece la pena para obtener una mayor velocidad de muestreo. El entrelazado de frecuencia proporciona una nueva dimensión a esta idea del entrelazado, ya que no sólo efectúa un entrelazado tras la adquisición, sino durante la misma. Esto significa que, en realidad, la señal se entrelaza dos veces durante la totalidad del proceso de adquisición.

El entrelazado de frecuencia requiere la utilización de hardware adicional y un avanzado procesamiento digital de señal para obtener el rendimiento de ancho de banda óptimo. Para lle-

gar a comprender la manera en que funciona el entrelazado de frecuencia, debemos tomar como ejemplo una señal. La señal entra en el osciloscopio y es inmediatamente dividida por un diplexor (hardware específicamente diseñado para dividir señales en múltiples bandas de frecuencia) en componentes de alta frecuencia y, seguidamente, en componentes de baja frecuencia. Los componentes de baja frecuencia son equivalentes al rendimiento analógico propio del osciloscopio, actualmente limitado a 16 GHz. Los componentes de alta frecuencia son inmediatamente bajados en frecuencia para así obtener componentes de frecuencia manejables por el hardware del osciloscopio. Por ejemplo, si un osciloscopio posee un rendimiento analógico de hasta 16 GHz, pero el fabricante utiliza entrelazado de frecuencia para obtener 30 GHz, los componentes de baja frecuencia de hasta 16 GHz no serán bajados en frecuencia, pero todos los componentes superiores a 16 GHz se pasarán inmediatamente a través del down-converter. Ambos componentes de frecuencia se someten entonces a un exhaustivo procesamiento digital de señal para así garantizar que se han captado correctamente los componentes de alta frecuencia. Seguidamente, los componentes de baja y de alta frecuencia se recombinan para proporcionar casi el doble del ancho de banda analógica del osciloscopio.

Desarrollando la técnica de entrelazado de frecuencia, los fabricantes de osciloscopios consiguen producir osciloscopios de mayor ancho de banda, sin tener que esperar al desarrollo de costosos chips de preamplificador. Al

Figura 3. Barrido de onda sinusoidal utilizando DSP potenciado; obsérvese el "aumento" de ruido a alta frecuencia.

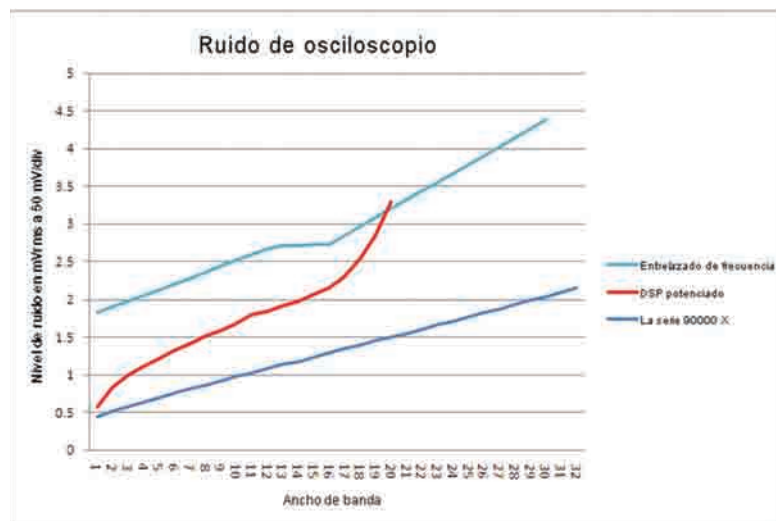


Figura 4. Comparaciones entre niveles de ruido de diferentes osciloscopios utilizando distintas técnicas de DSP (obsérvese que la serie 90000 X utiliza sólo hardware).

Figura 7. La serie 90000 X posee un ancho de banda analógico real de hasta 32 GHz.

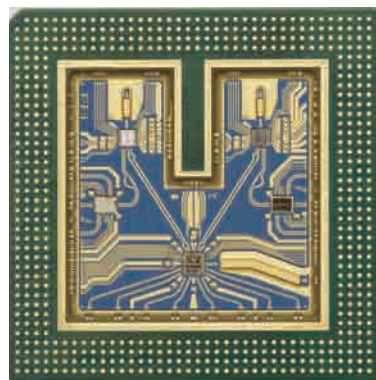
igual que sucede con la mayoría de las técnicas, hay compromisos que considerar. El más importante es la distorsión armónica total, o dicho de otra manera, cuán eficaz es la técnica del entrelazado. La señal no sólo se entrelaza para aumentar la velocidad de muestreo, sino que se entrelaza por segunda vez al principio de la etapa de adquisición. Además de este entrelazado adicional, debe producirse la bajada en frecuencia y debe efectuarse un exhaustivo procesamiento digital de la señal. Todo este procesamiento añade distorsión. Los osciloscopios que utilizan la técnica de entrelazado de frecuencia poseen también una mayor densidad de ruido de la señal. Una vez más, este compromiso conduce a una menor precisión en las medidas, por lo que debe tenerse en cuenta.

Rendimiento puramente hardware (ancho de banda analógico real)

La manera más difícil de obtener un ancho de banda superior a 20 GHz es utilizando únicamente el rendimiento hardware. Para tener un rendimiento puramente hardware superior a 20 GHz, un fabricante de osciloscopios debe invertir en múltiples chips que sean compatibles con estos anchos de banda (incluido preamplificador y muestreador). El proceso requiere la utilización de transistores con una frecuencia de corte superior a 150 GHz. Este proceso es costoso y poco común. Para un fabricante de osciloscopios, resulta en realidad más caro, ya que estos chips se fabrican en escaso número. Incluso contando con los procesos correctos, el fabricante debe disponer de la capacidad de diseñar en este entorno de alta velocidad. El modelo DSAX93204A de Agilent posee un rendimiento puramente hardware de hasta 32 GHz (el ancho de banda más alto de la industria). Agilent supo invertir en su tiempo en una tecnología patentada a base de fosforo de indio (InP) que permite obtener una frecuencia de corte de 200 GHz. Como consecuencia, el hardware del modelo DSAX93204A puede alcanzar plenamente 32 GHz sin necesidad de recurrir a entrelazado de frecuencia ni a DSP potenciado. El resultado final es la misma densidad de ruido entre 1 y 2 GHz que entre 31 y 32 GHz. Además de diseñar chips que obtienen mayores anchos de banda, el modelo DSAX93204A de Agilent utiliza novedosas técnicas de

montaje para garantizar que los chips de InP funcionan en la totalidad del ancho de banda sin llegar a sobrecalentarse.

Otra ventaja de haber desarrollado la técnica del rendimiento hardware para alto ancho de banda es que las sondas pueden utilizar el mismo proceso de chip y obtener también un alto ancho de banda. En el caso de Agilent, podemos contar con un sistema de sondas que alcanza los 30 GHz. La mayor desventaja de la técnica del rendimiento puramente hardware es que lleva tiempo desarrollar anchos de banda analógicos reales a los niveles requeridos por los usuarios de osciloscopios. Asimismo, independientemente de que un osciloscopio posea rendimiento hardware a altos anchos de banda, sigue siendo muy importante entender su calidad de diseño. La etapa de entrada del osciloscopio podrá seguir generando ruido en caso de no estar co-



rectamente diseñadas. Además, podría incluso haber distorsión armónica, ya que los proveedores de osciloscopios siguen aplicando técnicas de entrelazado para obtener altas velocidades de muestreo.

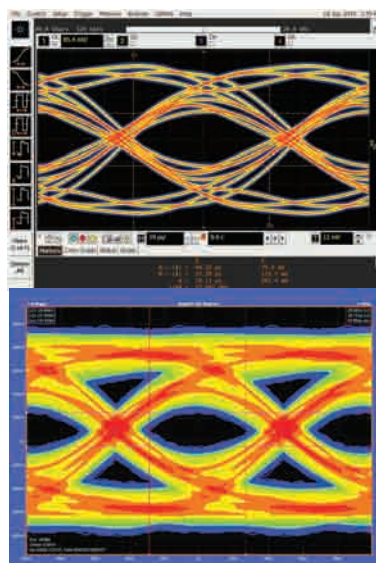
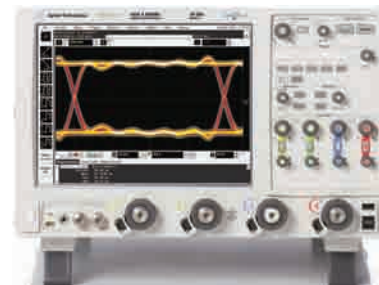


Figura 6. Comparación de una señal PRBS7 de 10,3125 Gbps con ISI añadido (hardware comparado con DSP potenciado). El rendimiento puramente hardware proporciona una altura y anchura de ojo superior al 25%.

Conclusión



Los fabricantes de osciloscopios en tiempo real continúan haciendo lo imposible para obtener el alto nivel de ancho de banda exigido por los ingenieros que diseñan las tecnologías de vanguardia. Hace ocho años, un ancho de banda de 13 GHz se consideraba alto. Ahora, los anchos de banda disponibles son superiores a los 30 GHz. Además de necesitar el ancho de banda, los ingenieros deben poseer también herramientas precisas para así garantizar que éstas puedan indicarles qué está ocurriendo exactamente en los dispositivos bajo prueba. Por sí sola, la especificación anunciada no resulta siempre el modo ideal a la hora de identificar un buen osciloscopio. Los fabricantes de osciloscopios utilizan diferentes técnicas para obtener anchos de banda altos.

Estas técnicas van acompañadas de compromisos que, en la mayoría de los casos, perjudican la precisión de las medidas efectuadas. Si es posible elegir entre un ancho de banda analógico real y un ancho de banda obtenido mediante técnicas de procesamiento digital de señal tales como potenciado o entrelazado de frecuencia, en la mayoría de los casos el osciloscopio más preciso será el que cuente con ancho de banda analógico real. No obstante, los diseñadores necesitan seguir investigando incluso aquellos osciloscopios más avanzados tecnológicamente para poder encontrar el nivel de ruido, nivel base de medida de jitter, ancho de banda, etc. para identificar el osciloscopio más preciso. En el caso del modelo DSAX93204A (el único osciloscopio con ancho de banda analógico real superior a los 16 GHz), cabe mencionar que posee el ancho de banda más alto, el nivel de ruido más bajo, el menor nivel base de medida de jitter y la distorsión armónica total más baja.