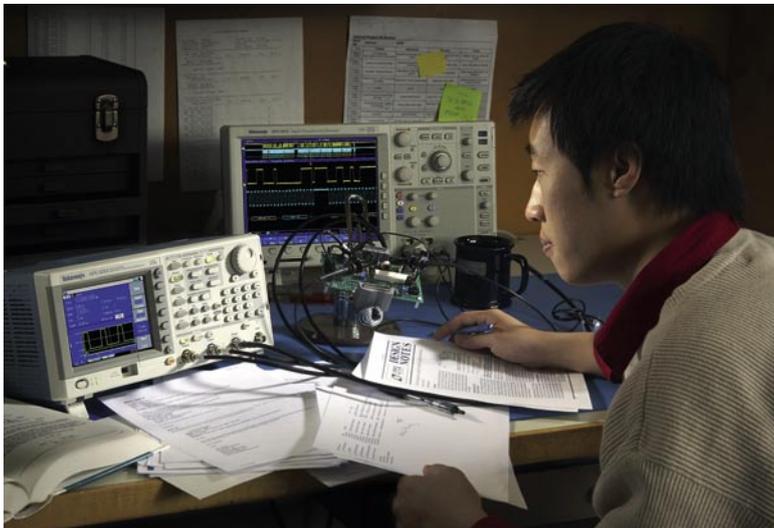


# Realización de pruebas con soluciones versátiles de generación de pulsos

Por Trevor Smith y Juan Ojeda

Trevor Smith es director de desarrollo de mercado para EMEA – Osciloscopios y fuentes de señal de Tektronix.

Juan Ojeda, departamento comercial de AFC Ingenieros (jojeda@afc-ingenieros.com)



*Durante el diseño de los componentes electrónicos y de los circuitos de ordenadores, periféricos y de comunicación de datos en serie, los generadores de patrones de pulsos son probablemente la primera herramienta a tener en cuenta para las pruebas de caracterización y funcionamiento de los dispositivos. Los generadores de patrones de pulsos dedicados ofrecen diferentes formatos, como el doble pulso, RZ, NRZ y bajo 'jitter'. Sin embargo, para muchas aplicaciones, los modernos generadores de ondas de formas de onda arbitrarias (AFGs) de propósito general constituyen con frecuencia una solución muy flexible y más versátil y asequible a la hora de generar pulsos.*

multiplicador de reloj. Esta nota de aplicación explora los escenarios de prueba donde interviene típicamente un generador de pulsos y donde se pueden utilizar perfectamente generadores AFGs:

- La medición del retardo de propagación y del tiempo de transición de las señales.
- Caracterización de los tiempos de establecimiento y retención (Setup&Hold).
- Evaluación del rango máximo de cambio de la tensión de salida para todas las señales de entrada posibles (Slew Rate) de los amplificadores operacionales.
- Generación de pulsos con ruido o 'jitter' para pruebas de estrés.
- Generación de pulsos con formas de onda complejas.
- Simulación de señales de datos serie de baja velocidad.

Los siguientes ejemplos de aplicación se basan en los modelos AFG3251 y AFG3252 de la serie AFG3000. Estos modelos tienen la capacidad de generar pulsos con uno y dos canales hasta 120MHz, un ajuste independiente de los tiempos de subida y bajada tan pequeños como 2,5ns, fuentes de ruido y 'jitter' incorporadas, generación de pulsos con formas complejas y generación de patrones de datos serie de baja velocidad.

## Beneficios del uso de los generadores de funciones y formas de onda arbitrarias para la generación de pulsos

La activación de la función del generador de pulsos de la serie AFG3000 es tan sencillo como pulsar el botón 'Pulse' en el panel frontal. Esto hace que todos los parámetros de la forma de onda y su representación gráfica aparezcan al mismo tiempo en la pantalla para confirmar la configuración activa.

La tabla 1 Resume las capacidades relativas a los pulsos del AFG3251/52

Specification	AFG3251/52
Number of Channels	1 / 2
Pulse Frequency	1 mHz to 120 MHz
Variable Leading Edge Time	2.5 ns to 625 s
Variable Trailing Edge Time	2.5 ns to 625 s
Pulse Width	4.00 ns to 999.99 s
Pulse Period	8.33 ns to 1000 s
Pulse Duty	0.001% to 99.999%
Lead Delay	0 ps to Period - [Pulse width + 0.8 * (Leading Edge Time + Trailing Edge Time)]
Overshoot (typical)	< 5%
Amplitude, 50 $\Omega$ Load	50 mV <sub>rms</sub> to 5 V <sub>pp</sub>
Amplitude, Open Circuit	100 mV <sub>rms</sub> to 10 V <sub>pp</sub>
Jitter (RMS, typical)	100 ps
Internal Frequency Reference	$\pm 1$ ppm

Todos los ajustes relacionados con los pulsos (véase figura 2) son rápidamente accesibles a través de las teclas dedicadas para el acceso directo en el panel frontal y los parámetros se pueden ajustar sobre la marcha a través del control giratorio o del teclado numérico. Cuando se ajustan los parámetros temporales la señal de salida permanece libre de espurios o de cambios de amplitud, lo cual es importante, por ejemplo, cuando se caracterizan dispositivos utilizando un barrido de la frecuencia de reloj.

Tabla 1 Resumen de las capacidades relacionadas con la generación de pulsos del AFG3251/52.

Figura 1. Pulso visualizado en la pantalla de un AFG3252.

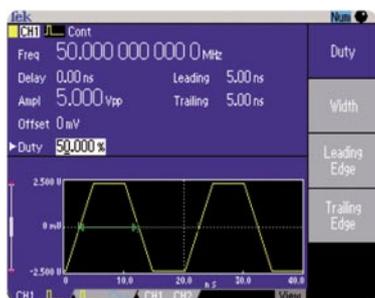
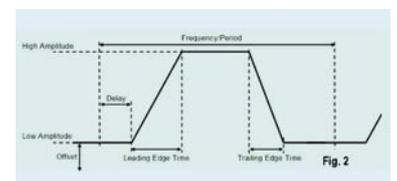


Figura 2. Parámetros ajustables de los pulsos en la serie AFG3000.



Los modelos de dos canales están disponibles para dar soporte a aplicaciones que requieren más de una señal de entrada. Puesto que la serie AFG3000 se basa en la síntesis digital directa (DDS), la forma y la frecuencia de la señal se pueden seleccionar con total independencia en ambos canales. Las señales también pueden ser también enganchadas en frecuencia y/o amplitud. En este caso, se puede introducir un retardo de fase ajustable entre ambos canales, que es muy útil para medir las diferencias temporales canal a canal en los dispositivos semiconductores.

Para las pruebas de estrés de dispositivos, se puede agregar ruido a las señales de pulsos y 'jitter' a las ondas cuadradas sin necesidad de un generador de funciones, como les ocurre a los generadores dedicados a patrones de pulsos.

Los ingenieros que trabajan en una gran variedad de diseños se pueden beneficiar de la versatilidad de los AFGs; puesto que además de pulsos y ondas cuadradas, la serie AFG3000 sobresale también en la generación de señales sinusoidales, señales en rampa y formas de onda arbitrarias, así como otras siete funciones estándar.

Un punto a considerar cuando se comparan los generadores dedicados a patrones de pulsos con los AFGs es que el 'jitter' relativo aumenta con la frecuencia debido a la arquitectura DDS. Para los modelos AFG3251 y AFG3252, la especificación de jitter del pulso de 100ps implica un 'jitter' relativo del 0,01% a 1MHz que aumenta al 1% a 100MHz.

### Medida del retardo de la propagación y del tiempo de transición de las señales

En los dispositivos lógicos tales como memorias intermedias y comparadores, un parámetro de interés es el retardo de propagación o tiempo de respuesta, es decir, el tiempo necesario para que el dispositivo de salida responda a una señal de entrada. Para medir este parámetro, se puede utilizar un AFG3251 o un AFG3252 para estimular el dispositivo de entrada con una señal con forma de pulso y medir

las señales de entrada y salida de los dispositivos con un osciloscopio. Se debe programar la fuente de señal para generar pulsos con una frecuencia y amplitud que estén dentro del rango de funcionamiento del dispositivo. A continuación y a modo de ejemplo, se proporciona la configuración del instrumento y los resultados de medida para el comparador modelo LM393.

La traza de color amarillo en la figura 4 muestra la señal de entrada para el dispositivo y la traza el azul la señal de salida. El osciloscopio mide un tiempo de respuesta de 188,7ns, un tiempo de subida en la señal de salida de 121,4ns y un tiempo de bajada de 49,3ns.

### Caracterización de los tiempos de establecimiento y retención (Setup&Hold)

En la sincronización de un circuito lógico los tiempos de 'Setup&Hold' desempeñan un papel crítico. Un circuito lógico captura los datos con los flancos de subida del reloj. Para que los datos estén correctamente capturados, se necesita que los datos estén presentes un cierto tiempo antes del flanco de subida del reloj y que permanezcan estables durante un cierto tiempo después de dicho flanco. El tiempo necesario antes del flanco se llama tiempo de establecimiento (Setup time) y el tiempo necesario después del flanco se llama tiempo de retención (Hold time).

Estos valores se especifican en la hoja de datos del circuito lógico integrado y varían de acuerdo con la tensión de la fuente de alimentación y de otras condiciones. Los instrumentos necesarios para medir los tiempos de 'Setup&Hold' son un generador AFG de dos canales y un osciloscopio.

Para estimular al dispositivo, se debe programar el AFG3252 con los ajustes de la tabla 3. El canal 1 genera el reloj y el canal 2 los datos. Para sincronizar los datos y el reloj, se debe pulsar la tecla 'Phase/Delay' y luego 'Align Phase' en el menú de la pantalla. Las señales de reloj, de los datos y de salida del dispositivo se miden con un osciloscopio.

Para determinar los tiempos de 'Setup&Hold', no hay más que pulsar el botón 'Delay' en el panel frontal del AFG3252 y variar el retardo del canal 1 con el control rotativo mientras se observa la señal de sali-

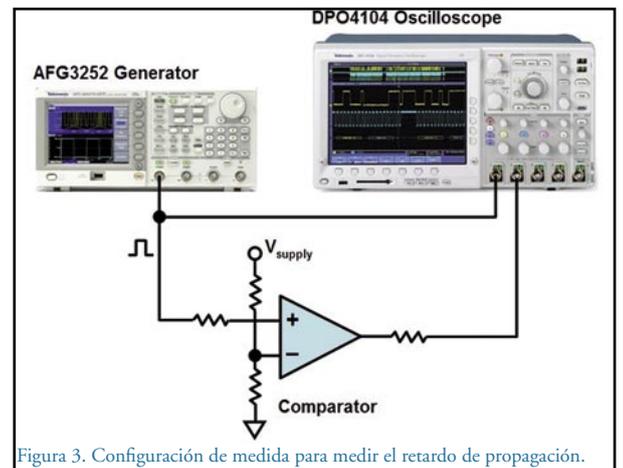


Figura 3. Configuración de medida para medir el retardo de propagación.

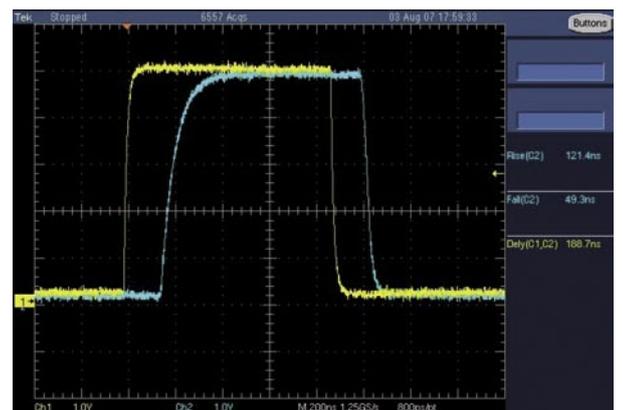


Figura 4. Pantalla del osciloscopio mostrando la medida del retardo de propagación.

Parameters	Setting
Run Mode	Continuous
Function	Pulse
Frequency	500 kHz
Leading/Trailing Edge	2.5 ns
Amplitude High	5 V
Amplitude Low	0 V

Tabla 2. Ajustes del AFG3251/52 para la caracterización del comparador

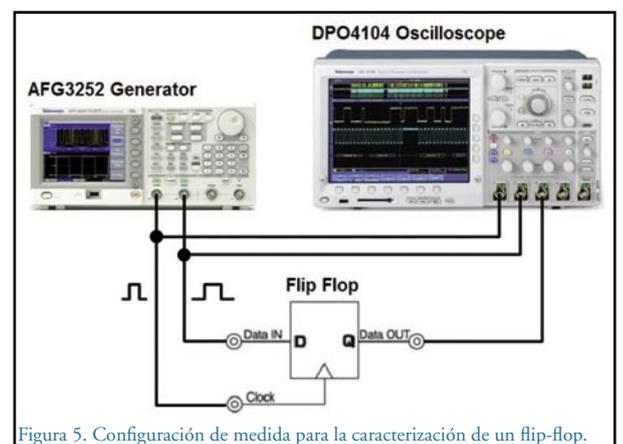


Figura 5. Configuración de medida para la caracterización de un flip-flop.

Figura 6. Pantalla del AFG3000 – Visualización de la forma de onda.



Tabla 3. Ajustes de un AFG3252 para la caracterización de un bistable

Parameters	Setting
Run Mode	Continuous
Channel 1 - Function	Pulse
Channel 1 - Frequency	5 MHz
Channel 2 - Frequency	10 MHz
Channel 1/2 - Amplitude High	3.3V
Channel 1/2 - Amplitude Low	0 V

da del flip flop en el osciloscopio. El retardo se puede ajustar mediante el control rotativo en incrementos tan pequeños como 10ps.

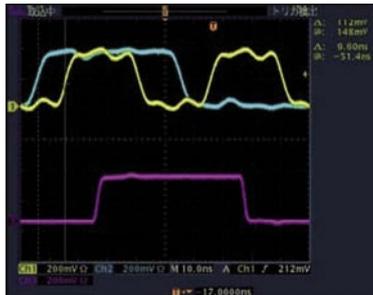


Figura 7. Tiempo de establecimiento suficiente.

La figura 7 muestra las señales de entrada y salida del flip flop cuando el tiempo de establecimiento (Setup time) es suficiente. La traza de color amarillo representa la entrada de reloj, la traza azul la entrada de datos y el magenta la traza de datos de salida. Para un tiempo de establecimiento seleccionado de 10ns se puede ver como se capturan los datos de entrada con el flanco del reloj y se muestran correctamente a la salida.

La figura 8 muestra las señales del flip flop para un tiempo de establecimiento (Setup time) de 5ns, lo cual es insuficiente.

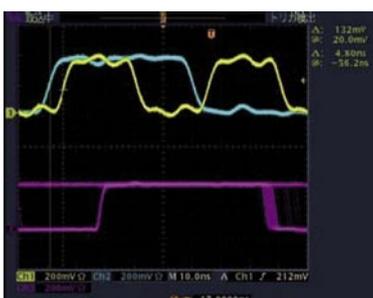


Figura 8. Tiempo de establecimiento insuficiente.

Los datos de salida fluctúan entre los niveles alto y bajo debido a que la entrada de datos está cambiando de nivel mientras que el circuito flip-flop está todavía procesando los datos. La salida desarrolla un estado metastable (ni de alto nivel, ni de bajo nivel).

### Evaluación de las prestaciones de 'Slew Rate' de los amplificadores operacionales

Los amplificadores operacionales de alta velocidad se encuentran hoy en día entre los componentes analógicos de uso más común. Se pueden encontrar en televisores, descodificadores, equipos de emisión de vídeo, estaciones base de comunicaciones inalámbricas, productos de fibra óptica, sistemas de radar, receptores de satélite, lectores de tarjetas, escáneres de códigos de barras y muchas otras áreas.

Un aspecto crítico de las prestaciones de los amplificadores operacionales es su respuesta a señales

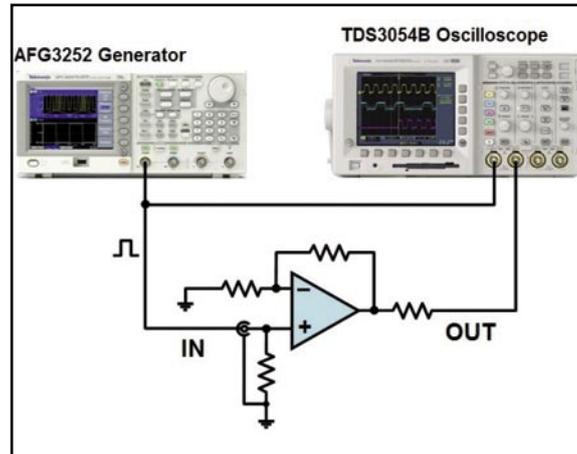


Figura 10. Con una señal de entrada dotada de un tiempo de subida de 32ns la señal salida del amplificador operacional empieza a oscilar.

Parameters	Setting
Run Mode	Continuous
Function	Pulse
Frequency	1 MHz
Amplitude	5 V <sub>pp</sub>

Tabla 4. Ajustes del AFG3251/52 para la caracterización del amplificador operacional.

transitorias o 'Slew rate'. Los amplificadores operacionales utilizados en descodificadores y aplicaciones de vídeo de seguridad necesitan un elevado 'Slew rate' combinado con una distorsión ultrabaja. El 'Slew rate' y la respuesta a transitorios son también un problema para los amplificadores operacionales que controlan el movimiento extremadamente fino de las impresoras de chorro de tinta y de los dispositivos médicos.

La respuesta transitoria del amplificador operacional puede ser diferente para los flancos de subida y bajada de la señal de entrada, un comportamiento conocido como 'Slew rate' asimétrico. Esta especificación puede afectar tanto si el amplificador

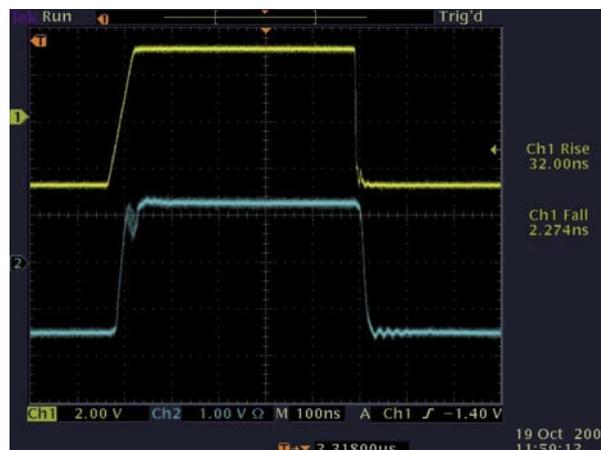


Figura 11. Incremento del tiempo de bajada. El flanco posterior del pulso de salida comienza a oscilar en algún momento.

operacional se utiliza en una configuración en la que funciona como inversor como en no-inversor. El conocimiento de las características temporales de una amplificador operacional permite optimizar las resistencias de ganancia y realimentación

o adoptar otras medidas para lograr el comportamiento deseado del circuito.

Para caracterizar las prestaciones de 'Slew rate' de un amplificador operacional se mide su respuesta transitoria con un osciloscopio al mismo tiempo que se estimula su entrada con una señal en forma de pulsos en la que se pueda variar el tiempo de subida, el tiempo de bajada y la amplitud. La solución de generación de pulsos utilizada debe proporcionar un control independiente sobre estos parámetros. La serie AFG3000 de Tektronix ofrece esa flexibilidad, junto con un amplio ancho de banda y precisión para asegurar unos resultados precisos.

Después de introducir la configuración básica de la forma de onda en la fuente de la señal de acuerdo con la tabla 4, se mantiene constante el flanco de bajada a 2,5ns y se incrementa el flanco de subida gradualmente desde el mínimo de 2,5ns mientras se observa la señal de salida del amplificador operacional en el osciloscopio. En este ejemplo, la señal de salida comienza a oscilar cuando el tiempo de subida llega a 32ns (figura 10).

A continuación, se mantiene constante el tiempo de subida a 32ns y se va aumentando gradualmente el flanco de bajada desde 2,5ns.

Como muestra la figura 11, la salida del amplificador operacional comienza a oscilar cuando el flanco de bajada llega cerca de 20ns. Es evidente que este amplificador operacional tiene características asimétricas.

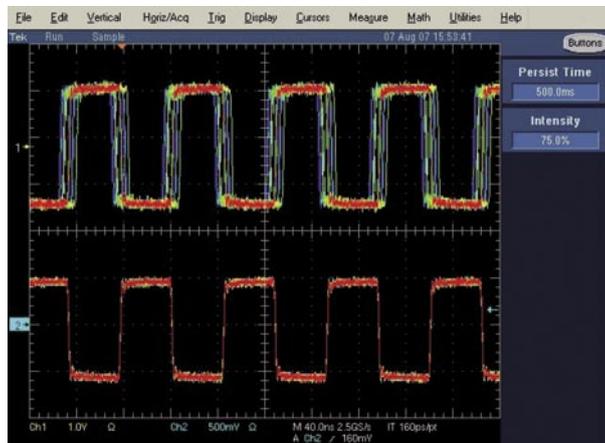
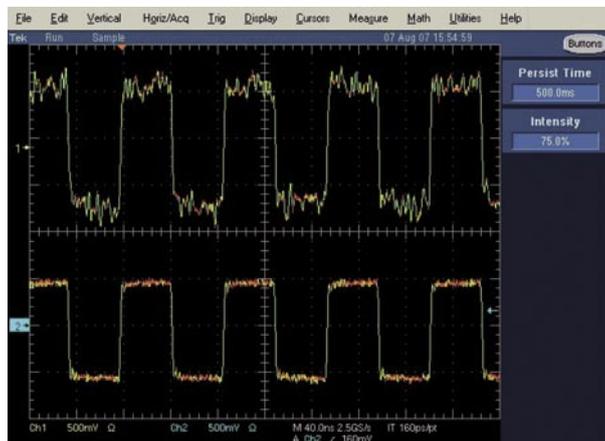


Figura 12. Pulso con 'jitter' controlado (traza superior) y sin 'jitter' (traza inferior).

Parameters	Setting
Run Mode	Modulation
Function	Square
Modulation Type	PM
PM Frequency	2 mHz to 50.00 kHz
Modulation Shape	Selectable
Deviation	0.0° to 180.0°

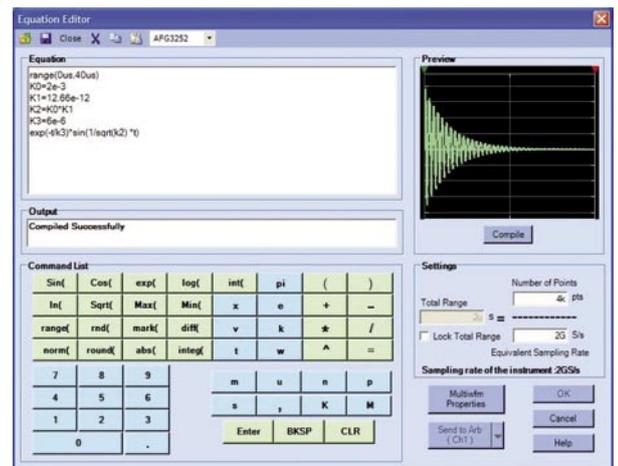
Tabla 5. Configuración del AFG3251/52 para la generación de jitter

Figura 13. Pulso con ruido añadido (traza superior) y sin ruido añadido (traza inferior).



### Generación de pulsos con 'jitter' o ruido para las pruebas de estrés

Para asegurar un funcionamiento fiable, los componentes y circuitos digitales tienen que ser robustos contra una cierta cantidad de 'jitter' y de ruido en las señales de reloj y datos. De lo contrario, ello podría dar como resultado la aparición de errores de comunicación y fallos en el sistema. Para evaluar el 'jitter' y la tolerancia al ruido de los componentes y de los circuitos, los ingenieros de diseño electrónico necesitan una solución que les permita generar pulsos con 'jitter' y ruido controlables.



Aunque los generadores dedicados a patrones de pulsos requieren normalmente un generador de funciones para añadir distorsión a la señal, la serie AFG3000 ofrece una solución completa al incorporar un generador de 'jitter' y de ruido en el mismo instrumento.

Se puede añadir 'jitter' a través del modulador de fase incorporado con selección de la frecuencia de modulación, de la forma de onda de la moduladora y de la desviación de fase. Después de programar el instrumento con los ajustes de la tabla 5, el instrumento producirá un pulso de salida con un ciclo de trabajo del 50% y un nivel de 'jitter' bien definido.

Figura 14. El editor de ecuaciones en el software de edición de formas de onda ArbExpress permite la generación de pulsos complejos y de otras formas de onda.

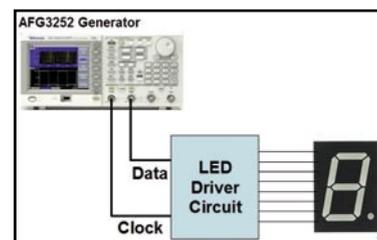


Figura 15. Configuración de medida para el driver del LED controlado mediante el bus I2C.

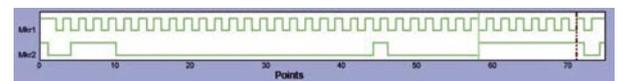


Figura 16. Panel del marcador de ArbExpress con el reloj del bus I2C y la señal de datos.

Para añadir ruido a cualquier señal generada, sólo tiene que seleccionar 'Output Menu' después de presionar el botón correspondiente a la forma de onda deseada y activar 'Noise Add'. El nivel de ruido puede ser seleccionado de entre el 0% y el 50%.

Hay que tener en cuenta que 'Noise Add' reduce la amplitud de la señal a la mitad para evitar la saturación producida por el ruido en la etapa final cuando el ajuste de amplitud está cerca del valor máximo del instrumento.

### Generación de pulsos con formas complejas

Algunas aplicaciones, tan diversas como las pruebas de radares, las pruebas de dispositivos de almacenamiento magnético y de láseres de soldadura por puntos, requieren pulsos eléctricos con formas complejas. Además de pulsos rectangulares, la serie AFG3000 proporciona las siguientes formas de pulso estándar: Sin(x)/x, gaussiana, Lorentzian, Exponencial Rise y Exponencial Fall. En los casos en que se necesiten otras formas de pulsos, se puede utilizar la función de forma de onda arbitraria de la serie AFG3000 y programar la forma del pulso deseado mediante ecuaciones matemáticas o dibujándolas a mano con el software de edición de formas de onda ArbExpress.

La creación de ondas con formas de pulso mediante las funciones de formas de onda arbitrarias funciona bien en los generadores de funciones y formas de onda arbitrarias basados en DDS, siempre y cuando la velocidad de repetición del pulso seleccionado estén por debajo de la velocidad del reloj del instrumento. Con un velocidad de reloj de 2Gs/s y un 'jitter' de 500ps (rms), el AFG3252 soporta una amplia gama de aplicaciones. Sin embargo, a altas velocidades de repetición del pulso, el salto de puntos de la forma de onda y la duplicación inherente a los generadores basados en DDS puede hacer que aparezca un 'jitter' extra.

### Simulación de señales serie I2C de baja velocidad

Los microcontroladores y los ordenadores presentes en los sistemas embebidos suelen utilizar buses serie de baja velocidad, como son los buses: I2C, SPI, RS-232, CAN y LIN para comunicarse con dispositivos especializados, tales como sensores, interruptores, convertidores A/D, potenciómetros digitales y pantallas. Para validar y hacer pruebas de estrés a los nuevos diseños, los ingenieros pueden necesitar simular las señales de datos y del reloj. La siguiente aplicación ilustra la forma en que las señales de un bus I2C que controlan el driver de un LED numérico pueden ser fácilmente creadas y generadas con un generador de funciones y formas de onda arbitrarias de dos canales.

Como se indica en el diagrama de bloques de la figura 15, el canal 1 del AFG3252 genera el reloj y el canal 2 la señal de datos.

Los datos y las señales de reloj se crean a través de las funciones del marcador del paquete de software ArbExpress. Después de lanzar la aplicación, se debe seleccionar 'Standard Waveform'

Parameters	Setting
Run Mode	Continuous
Function Channel 1/2	Arb
Frequency CH1=CH2	On
Frequency	1 kHz
Amplitude - Level CH1=CH2	On
Amplitude - High Level	2 V
Amplitude - Low Level	0 V
Channel 1 - Arb - Arb Waveform Menu	User 1
Channel 2 - Arb - Arb Waveform Menu	User 2
Output Channel 1/2	On

en 'File menu', a continuación seleccionar 'DC' como en función en la ventana de 'Standard Waveform' para ajustar la longitud de la onda al número deseado de puntos. En la nueva ventana 'Wavebook' que se abre, se debe introducir el reloj y la forma de onda de los datos en el panel del marcador a través de las funciones del ratón disponibles al hacer clic sobre el botón derecho.

Después de crearse las señales de reloj y datos, se pueden guardar en un archivo de formas de onda con formato 'csv' y abrirse más tarde cuando haga falta.

### Resumen

Los generadores AFG con 1 o 2 canales son una solución más flexible, versátil y asequible que los generadores dedicados a patrones de pulsos a la hora de diseñar, caracterizar y comprobar el funcionamiento de los componentes electrónicos, circuitos de ordenadores, periféricos y sistemas de comunicación de datos en serie.

La posibilidad de utilizar dos canales enganchados en fase o desfasados, modificar los flancos de subida y bajada de los pulsos independientemente, añadir 'jitter' o ruido controlado ahorra al usuario la complicación que supone el utilizar generadores independientes.

Por otro lado, en el caso de los generadores de dos canales, además de las modulaciones AM, FM, FSK, PM y PWM se pueden realizar modulaciones complejas I-Q; o bien, un canal puede modular a otro.

Tabla 6. Ajustes del AFG3252 para la generación de señales I2C.