

Gemischte analoge und digitale Messungen (Mixed-Mode) mit modularen Digitizern

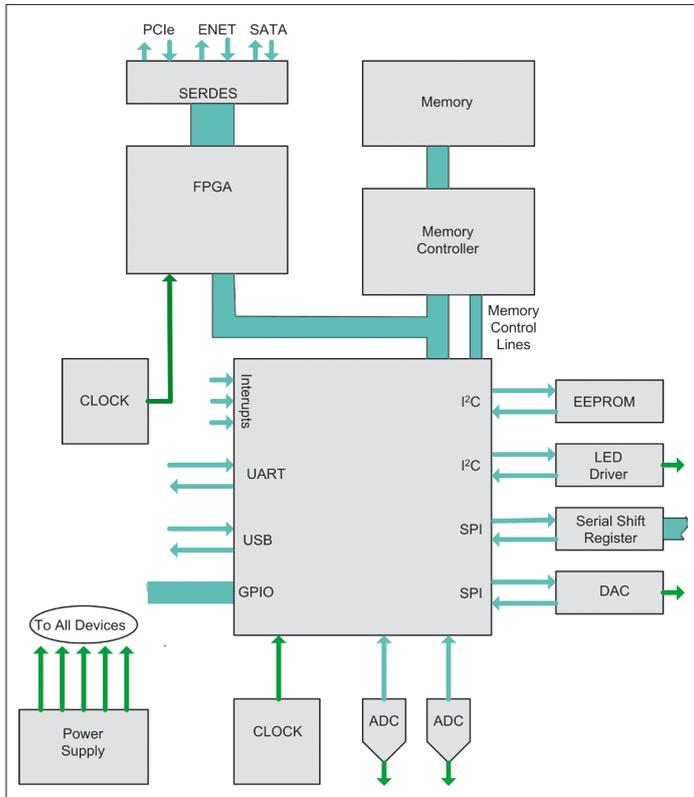


Bild 1: Heutzutage haben fast alle elektronischen Geräte einen Mikroprozessor als zentrales Bauteil. Der Prozessor interagiert mit der Außenwelt über eine Reihe von digitalen (blau) und analogen (grün) Schnittstellen.

Die moderne Elektronik basiert zunehmend auf eingebundenen Systemen (embedded systems), bei denen Mikroprozessoren und Mikrocontroller die Grundlage für alle Funktionen bilden. In modernen Schaltungen gibt es nur wenige eigenständige Abläufe, fast alle Funktionen werden von einem eingebetteten Mikroprozessor gesteuert. Bild 1 zeigt die typische Umgebung eines Mikroprozessors.

Der Mikroprozessor interagiert über eine Reihe von digitalen und analogen Schnittstellen mit der Außenwelt. In der Abbildung sind die digitalen Schnittstellen blau dargestellt, während die analogen Schnittstellen grün gekennzeichnet sind. Die analogen Leitungen umfassen typischerweise Stromversorgung, Takt, Eingänge zu Analog/Digital-Wandlern (ADWs) und Ausgänge von Digital/Analog-Wandler (DAWs). Bei den digitalen Signalen unterscheidet man zwischen paral-

lelen und seriellen Leitungen. Parallele digitale Signale finden sich als Daten- und Adressleitungen bei CPUs und GPIO-Ports (General Purpose Input Output). Serielle Datensignale, mit hoher oder niedriger Geschwindigkeit, sind in Form von Ethernet, SATA, PCIe, SPI, I²C und UART ein Teil des Systems. SATA und PCIe sind serielle Hochgeschwindigkeits-Datenverbindungen, die für eine schnelle Datenübertragung verwendet werden. SPI, I²C und UART hingegen sind serielle digitale Schnittstellen mit niedriger Geschwindigkeit, für die Steuerung digitaler Geräte oder zur Anbindung von Sensoren.

Analoge und digitale Analysewerkzeuge

Messungen an Mix-Mode-Geräten, also solchen mit analogen und digitalen Leitungen, erfordern sowohl analoge als auch digitale Analysewerkzeuge, die flexibel und effizient sein müssen. Grundsätzlich gilt: Die Anzahl der für eine parallele Schnittstelle erforderlichen Leitungen hängt von der Auflösung des Prozessors ab, also davon, ob es sich um einen 8-Bit-, 12-Bit- oder 16-Bit-Prozessor handelt. Die meisten Prozessoren in eingebundenen Systemen haben nur eine moderate Auflösung. Im Allge-

meinen sollte die Auflösung des Digitizers in der Messanordnung größer sein als die Auflösung des Prozessors, um das gesamte Datenwort zu sehen. Die Anzahl der Adressleitungen eines Prozessors hängt vom erforderlichen Adressbereich ab. Typisch für Prozessoren in eingebetteten Systemen ist ein moderater Adressraum in der Größenordnung von 16 KB unter Verwendung eines 14-Bit-Adressbusses. In einigen Prozessoren ist der Speicher möglicherweise intern und der Adressbus deswegen nicht zugänglich.

Es gibt normalerweise auch analoge Schnittstellen, hauptsächlich für Sensoren und Aktoren. Es können interne Analog/Digital-Wandler sowie Digital/Analog-Wandler vorhanden sein, oft sind diese auch extern angeordnet, wie in der Abbildung gezeigt.

Einsatz des modularen Digitizers

Wie sollte ein modularer Digitizer zur Messung von Prozessorumgebungen mit gemischten Signalen eingesetzt werden? Die Besonderheit liegt darin, dass die analogen und die digitalen Signale gleichzeitig und zeitsynchron gemessen und angezeigt werden können. Das Auffinden von Problemen wird dadurch stark



Autoren:
Oliver Rovini (links),
technischer Leiter,
Arthur Pini (rechts),
unabhängiger Berater

Spectrum Instrumentation GmbH
www.spectrum-instrumentation.com/de

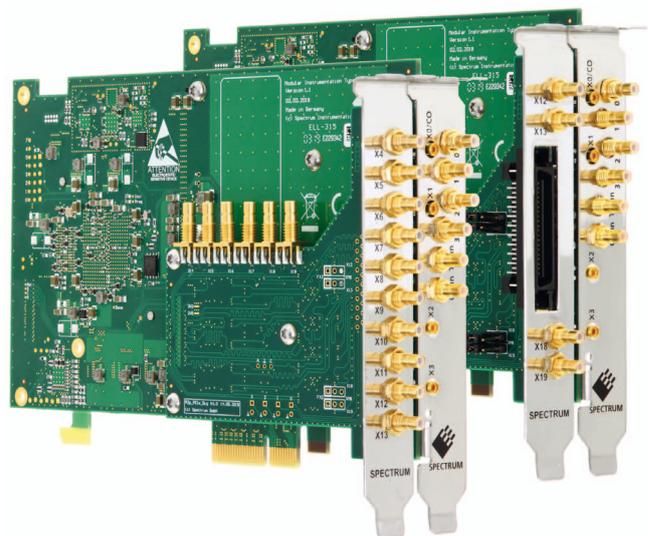


Bild 2: Die Zusatzmodule M2p.xxxx-DigSMB (links) und M2p.xxxx-DigFX2 (rechts) von Spectrum fügen den Digitizern der Mp2.59xx-Serie oder den AWGs der M2p.65xx-Serie 16 digitale I/O-Leitungen hinzu.

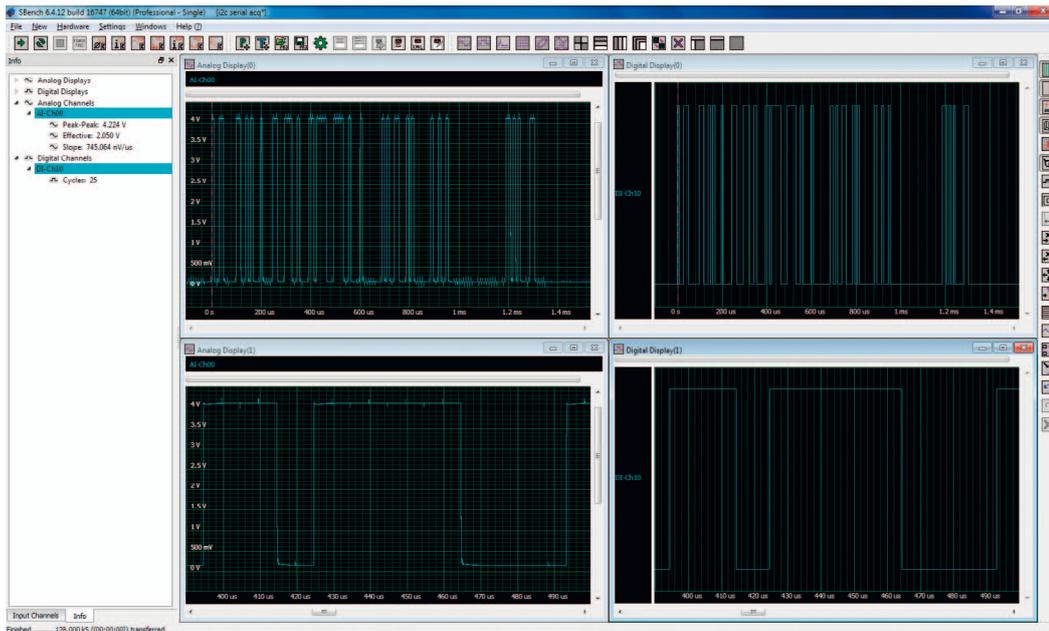


Bild 3: Der Vergleich eines PC-Pakets, das als analoges und digitales Signal angezeigt wird. Die gesamte analoge Erfassung wird im oberen linken Raster angezeigt, während sich die digitale Version im oberen rechten Raster befindet. Die beiden unteren Raster zeigen jeweils zoomte Abschnitte, um feine Details sichtbar zu machen. Das analoge Signal zeigt Rauschspitzen sowie Überschwinger, während die digitale Wellenform nur die logischen Zustände LOW und HIGH zeigt. Ausgewählte Messungen können in beiden Signalformaten durchgeführt werden.

erleichtert, und eine Diagnose wird auch dadurch vereinfacht, dass entweder analoge oder digitale Quellen ausgelöst werden können und alle Reaktionen sichtbar sind. Diese Erfassungsmöglichkeiten können durch eine Reihe von Analysewerkzeugen ergänzt werden, die Daten aus beiden Bereichen verarbeiten.

Modulare Digitizer sind seit langem dafür bekannt, eine große Anzahl analoger Messkanäle anzubieten. Damit parallel eine große Anzahl digitaler Kanäle zur Verfügung stehen kann, bietet Spectrum Instrumentation nun ein optionales Zusatzmodul an, das auf den PCIe-Messkarten montiert wird. Es

passt für die 24 verschiedenen Digitizerkarten der M2p.59xx-Serie mit 16 Bit, einer Geschwindigkeit von 5 bis 125 MS/s und 1 bis 8 Kanälen pro Karte. Außerdem kann es auf den 14 verschiedenen AWGs (Arbitrary Waveform Generators) der M2p.65xx-Serie verwendet werden, die ebenfalls mit 16-bit

arbeiten, Signale im Bereich von 40 bis 125 MS/s erzeugen können und 1 bis 8 Kanäle pro Karte bieten.

Zusätzliche Leitungen

Das optionale Modul fügt einer Digitizerkarte 16 zusätzliche digitale Eingangsleitungen hinzu und einer AWG-Karte zusätzliche 16 digitale Ausgangsleitungen. Diese digitalen Kanäle sind eine perfekte Ergänzung zu den bis zu 8 analogen Kanälen des Digitizers und daher für Messungen von gemischten Signalen auf eingebetteten Prozessoren von größtem Wert. Die Kombination ermöglicht dem Digitizer auch, einen Teil der Operationen durchzuführen, für die sonst ein Logikanalysator nötig wäre.

Die 16 digitalen Zusatzkanäle sind gegenüber den analogen Kanälen phasenstabil und ergänzen die 4 vorhandenen Mehrzweckkanäle des Digitizers (3x Mehrzweck-I/O und 1x Mehrzweck-Ausgang). Insgesamt gibt es also 19 digitale Eingangskanäle für einen Digitizer der M2p.59xx-Serie und 20 digitale Ausgänge für einen AWG der M2p.65xx-Serie. Das Zusatzmodul ist mit SMB-Anschlüssen für jede digitale Leitung (Modell M2p.xxxx-DigSMB) ausgestattet. Alternativ ist es mit einem FX/2-Anschluss für Flachbandkabel (Modell M2p.xxxx-DigFX2) erhältlich, wobei die parallele Verbindung aller zusätzlichen Leitungen mit einem einzigen Anschluss ermöglicht wird, wie rechts in Bild 2 zu sehen.

Das montierte Zusatzmodul benötigt einen zweiten Steckplatz neben der eigentlichen Digitizer- oder AWG-Karte. Die hinzugefügten digitalen Kanäle sind Ein- oder Ausgänge, die zur LVTTTL-Logik kompatibel sind. Dies entspricht einer TTL-Kompatibilität mit einem festen Schwellenwert: Signalpegel unter 0,8 Volt werden als digital „LOW“ oder „0“ betrachtet, Pegel über 2,0 Volt stellen digital „HIGH“ oder „1“ dar.

Vergleich von analogen Wellenformen und digitalen Signalen

Analoge Wellenformen werden durch einen Digitizer als eine Reihe von Abtastwerten dargestellt, die mit einer bestimmten Abtastrate aufgezeichnet werden und eine Amplitudenaufösung haben, die

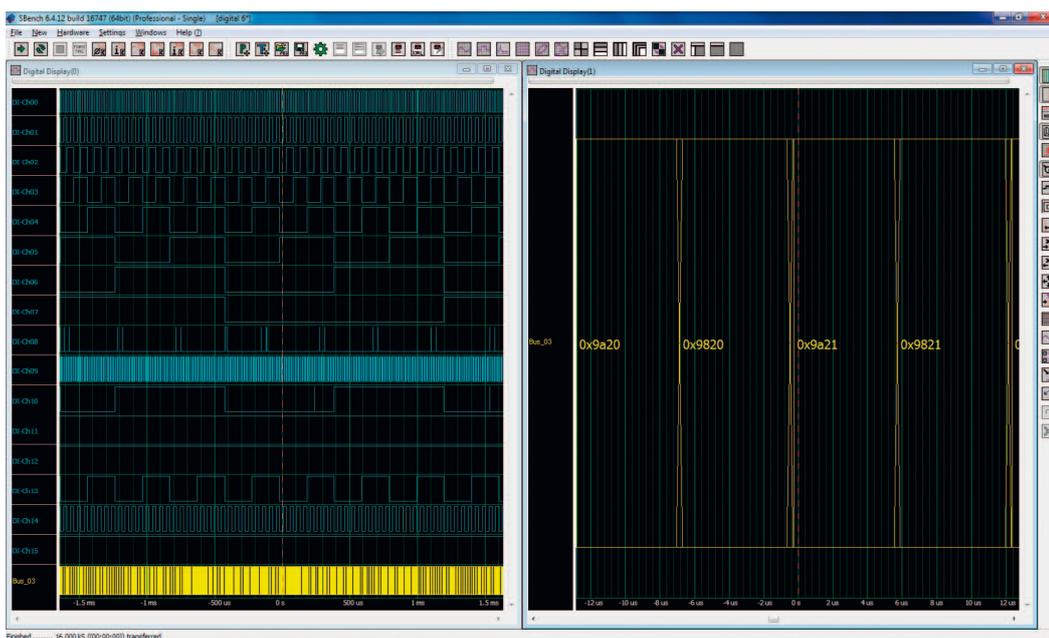


Bild 4: Die SBench 6-Anzeige eines digitalen Busses, verfügbar als Ansicht aller 16 einzelnen digitale Signale (blau) oder kombiniert zu einer Busansicht (gelb). Wenn die Busansicht horizontal zoomt wird, können Buswerte in hexadezimaler, oktaler, binärer, vorzeichenbehafteter oder vorzeichenloser Dezimalform angezeigt werden.

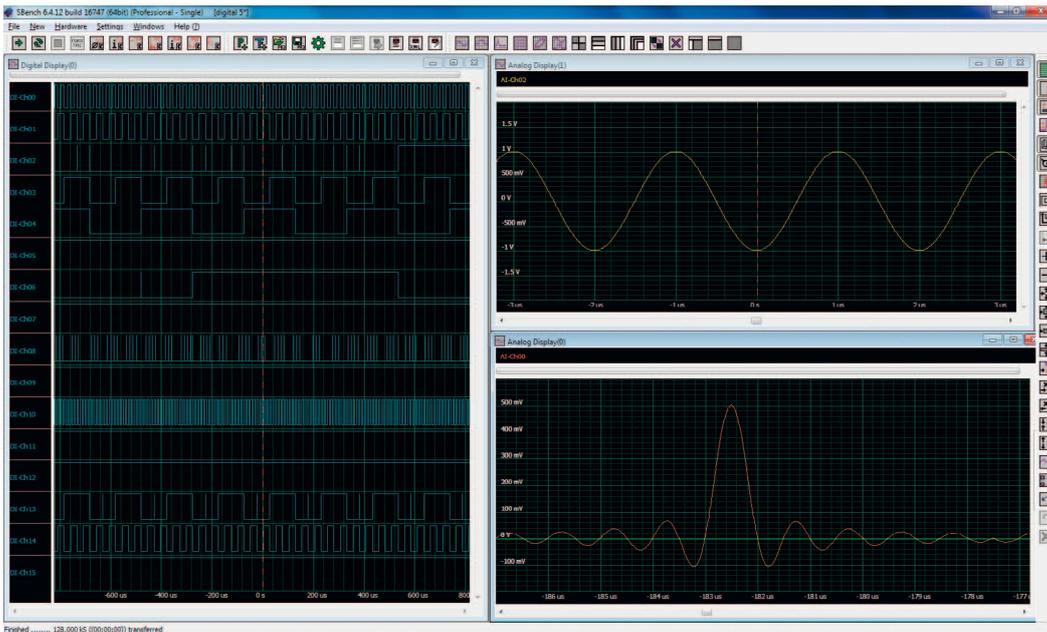


Bild 5: Sowohl die digitalen als auch analogen Signale können gleichzeitig angezeigt werden, jedes für sich in einem passenden Raster.

durch die Anzahl der Bits im Analog/Digital-Wandler (ADW) des Digitizers festgelegt ist. Die insgesamt 24 verschiedenen Digitizerkarten der Serie M2p.59xx bieten maximale Abtastraten von 5 MS/s bis 125 MS/s und haben alle eine Auflösung von 16 Bit.

Die digitalen Kanäle eines Digitizers werden mit einem einzelnen Bit dargestellt, wobei dieselbe Abtastrate wie für die analogen Kanäle verwendet wird. Die Amplitude variiert dabei von 0 bis 1, je nachdem, ob sie niedriger oder höher als die voreingestellte Logikschwelle ist. Bild 3 zeigt einen Vergleich desselben I²C-Signals, das als analoges (Raster oben links) und digitales Signal (Raster oben rechts) angezeigt wird. Die Raster darunter zeigen gezoomte Ausschnitte.

Der interne Speicher des Digitizers bestimmt, wie lange ein serieller Datenstrom erfasst werden kann. Die M2p.59xx-Serie verfügt über 512 MSamples Erfassungsspeicher. Ein einzelner Kanal, der mit der maximalen Abtastrate von 125 MS/s aufzeichnet, kann 4 Sekunden Daten erfassen. Das Messen von seriellen Bussen erfordert eine Bandbreite, die das drei- bis fünffache der Taktrate der seriellen Schnittstelle beträgt. Die schnellste M2p.59xx-Digitizerkarte mit 8 Kanälen verfügt über eine analoge Bandbreite von 60 MHz, was für den

100-kHz-Takt des I²C-Signals mehr als ausreichend ist.

Die aufgenommenen Signale werden mit der leistungsstarken und bedienfreundlichen Messsoftware SBench 6 von Spectrum angezeigt. SBench 6 bietet Hardware-Steuerung, Messung plus Signalverarbeitung sowie Anzeige und Analyse der vom Digitizer erfassten Signale.

Analog für kleine Spannungsänderungen

Der analoge Kanal kann kleine Spannungsänderungen anzeigen, die im zeitlichen Verlauf auftreten. Dies liegt daran, dass das erfasste Signal mit bis zu 16-Bit aufgelöst wird, also mit bis zu 65.535 verschiedenen diskreten Pegeln abgetastet wird. Signaländerungen von nur 153 µV können theoretisch bei einem Signal von ± 5 Volt aufgelöst werden. Das digitale Signal hingegen wird nur mit einem einzelnen Bit dargestellt. Auf dem analogen Signal werden Einzelheiten wie das Überschwingen des Impulses und kleine Rauschspitzen sichtbar. Solche Details werden natürlich nicht in der digitalen Signalspur wiedergegeben, die nur den digitalen Zustand des Signals (logisch 1 oder 0) anzeigt. Aus diesem Grund müssen Messungen wie Amplitude, Überschwingen +, Überschwingen -, Anstiegszeit und Abfallzeit bei der analogen Wellenform durchgeführt

werden. Dies schließt auch Wellenformen ein, die in seriellen digitalen Schnittstellen mit niedriger oder hoher Geschwindigkeit auftreten, wie das gezeigte I²C-Paket.

Digitale Wellenform

Für Zeitmessungen wie Frequenz, Pulsbreite, Arbeitszyklus und Anzahl der Zyklen ist die digitale Wellenform ausreichend. Einige grundlegende Messwerte des Signals werden in Bild 3 im Informationsbereich der Software auf der linken Seite angezeigt. Diese Werte umfassen die effektive Amplitude, Spitze-Spitze-Amplitude und die Steigung der Vorderflanke (basierend auf der analogen Spur) sowie die Anzahl der Zyklen des Signals nach dem Trigger (basierend auf der digitalen Spur).

Charakterisierung physikalischer Eigenschaften

Das Erfassen dieser langsamen I²C-Wellenform als analoges Signal ist nützlich für die Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften. Die digitalen Daten sind die beste Quelle für die Analyse der Protokollanteile, bei der der Dateninhalt das beabsichtigte Ziel ist.

Die Phasensynchronisation der analogen und digitalen Signale wird aufrechterhalten, indem die digi-

talen Ein-Bit-Signale in die höherwertigen Bits der analogen Wellenformen platziert werden. Wenn beispielsweise ein M2p.5968 Digitizer mit allen seinen 8 analogen Kanälen arbeitet, wird die Auflösung der analogen Kanäle von 16 Bit auf 14 Bit reduziert, und zwei der digitalen Signale werden jedem analogen Kanal des Digitizers beigelegt.

Zwei Anzeigemöglichkeiten

SBench 6 kann die digitalen Informationen auf zwei Arten anzeigen, wie in Bild 4 dargestellt.

Wenn in SBench 6 mehrere digitale Kanäle angezeigt werden, können diese untereinander als einzelne Signale angezeigt werden oder gebündelt als Busansicht. In Bild 4 repräsentieren die blauen Signale im linken Raster alle 16 digitalen Kanäle, die zeitlich präzise untereinander angezeigt werden. Die gelbe Kurve am unteren Rand des linken Rasters ist die Busansicht derselben Daten. Das rechte Raster zeigt die Busansicht in gezoomter Form, um den Wert des Busses in feinem Zeitraster anzuzeigen. Buswerte können in Hex, wie in der Abbildung gezeigt, oder auch in oktalen, binären, vorzeichenbehafteten oder vorzeichenlosen Dezimalwerten angezeigt werden.

Signale gleichzeitig anzeigen

Sowohl analoge als auch digitale Signale können gleichzeitig in einem entsprechend ausgewählten Raster angezeigt werden, wie in Bild 5 dargestellt. Diese Abbildung enthält sowohl die digitalen Daten im linken Raster als auch zwei der acht analogen Kanäle des Digitizers (mit unabhängigen Signalen) auf der rechten Seite. Obwohl die Wellenformen zusammen gespeichert sind, trennt SBench 6 sie auf, um sie separat anzuzeigen.

Wie gezeigt, ist SBench 6 ein sehr praktisches Werkzeug zum Bedienen des Digitizers und zum Anzeigen und Analysieren der erfassten Daten. Der Digitizer kann jedoch auch direkt vom Benutzer gesteuert werden. Softwaretreiber ermöglichen benutzerdefinierte Setups, mit denen perfekt passende Mixed-Mode-Lösungen generiert werden können. Der Digitizer und das optio-

nale Zusatzmodul werden vollständig von einem kompletten Software Development Kit (SDK) unterstützt, das die Programmierung mit C++, C#, VB.NET, Python, JAVA, LabVIEW und MATLAB umfasst. Das SDK ist standardmäßig bei jeder Messkarte inklusive.

Gemischte Signalanalyse

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die gemischte Signalanalyse zu verwenden. Das Anzeigen der analogen und digitalen Signale eines eingebetteten Prozessors ist natürlich hilfreich, aber die Möglichkeit, den Modus zu wechseln, bietet einige nützliche Tools zur Fehlerbehebung. Untersucht werden soll ein einfaches Gerät mit Mix-Mode-Signalen, in diesem Fall ein Digital/Analog-Umsetzer. Er verfügt über digitale Eingänge und einen analogen Ausgang. Die Möglichkeit, digitale Signale zu kombinieren und das analoge Ergebnis als Vorschau zu sehen und vorab zu analysieren, bietet einen einzigartigen Einblick in die Funktion des untersuchten Geräts, siehe Bild 6.

Signale umwandeln

Die digitalen Signale auf der linken Seite der Abbildung repräsentieren den Input am 7-Bit-Eingang des Digital/Analog-Umsetzers. SBench 6 kann diese digitalen Signale in ein analoges Signal umwandeln. Diese Konvertierung wird im oberen rechten Raster angezeigt. Dies ist eine Vorschau des analogen Ausgangs, die ausschließlich auf den digitalen Eingängen basiert. Eine sorgfältige Betrachtung zeigt einige kleinere Störungen aufgrund von Zeitunterschieden zwischen den digitalen Eingangssignalen. Durch das Auftreten der Störungen im simulierten analogen Ausgangssignal kann als Quelle bereits die Eingangsseite ermittelt werden. Basierend auf dieser Vorschau können die Auswirkungen der Filterung des analogen Signals simuliert werden. Das untere rechte Gitter zeigt das Ergebnis, wenn ein Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 31,5 kHz am Ausgang eingesetzt wird. Es ist auch möglich, mit einer analogen Wellenform zu beginnen und diese als Vorschau in Digitalsignale umzuwandeln, um die digitalen Rohdaten mit dem Signal

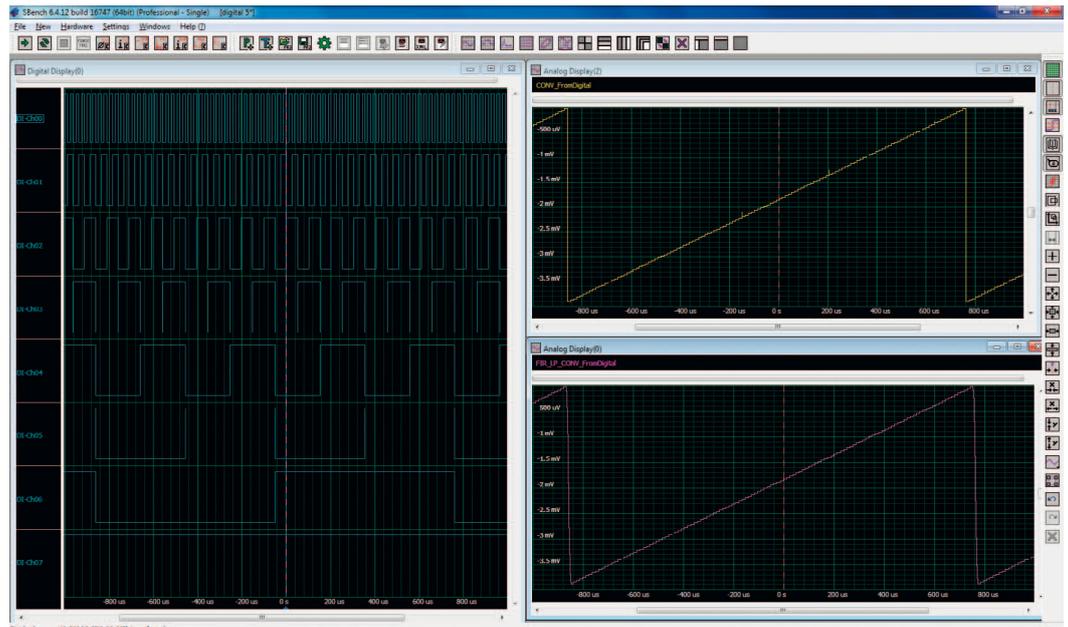


Bild 6: SBench 6 konvertiert die digitalen Eingangssignale für den Digital/Analog-Umsetzer in eine analoge Wellenform und bietet so eine Vorschau auf das zu erwartende Signal am analogen Ausgang des 7-Bit-DAWs. Die gesamte Palette der Analysewerkzeuge von SBench 6 kann auf das analoge Vorschau-Signal angewendet werden.

der ursprünglich analogen Quelle zu vergleichen.

Fazit

Digitizer mit zusätzlichen digitalen Mehrzweck-I/O-Leitungen bieten gegenüber einem konventionellen modularen Digitizer deutlich erweiterte Messmöglichkeiten für gemischte Signale (Mix-Mode). Mit Instrumenten wie den M2p.59xx-Digitizerkarten von Spectrum können bis zu 16 digitale Kanäle zusätzlich und komplett synchron mit den bis zu acht analogen Kanälen angezeigt werden. Beide Arten von Signalen, digital und analog, können wunschgerecht mit ausgewählten Messparametern dargestellt werden. Zusätzlich können digitale Wellenformen in eine analoge Vorschau konvertiert werden, bzw. analoge Wellenformen in eine Vorschau der digitalen Ursprungssignale.

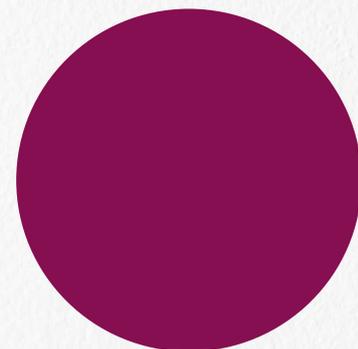
Aus funktionaler Sicht ist die digitale Zustandsanalyse in einem mit gemischten Signalen arbeitendem Digitizer einfacher einzurichten als in einem Logikanalysator und erfordert keinen zusätzlichen Platz für Geräte. Darüber hinaus stehen die analogen Kanäle im Digitizer für eine detaillierte Analyse der physikalischen Signaleigenschaften zur Verfügung.

Das Hinzufügen von Mixed-Mode-Funktionen bei einem Digitizer wird

dringend für Anwendungen empfohlen, bei denen automatisierte Tests von Systemen mit Mikroprozessoren und Mikrocontrollern erforderlich sind. Wer einen Digitizer der M2p.59xx-Serie oder einen AWG

der M2p.65xx-Serie hat, kann die digitalen Kanäle nachrüsten lassen, indem von Spectrum Instrumentation die Zusatzmodule M2p.xxxx-DigSMB oder M2p.xxxx-DigFX2 montiert werden. ◀

Wer in der Krise Leben rettet:



- Menschen, die sich über Aluhut-Träger aufregen
- Menschen, die sich über die WHO aufregen
- Menschen, die sich über die Regierung aufregen
- Menschen, die sich einfach gerne aufregen
- **Menschen wie Sie, die unaufgeregt handeln**

Ja, ich bin dabei und
sorge für die Ärmsten auf
misereor.de/handeln

MISEREOR
IHR HILFSWERK