

► Eine Einführung in PXIe

Einführung

PCI eXtensions for Instrumentation, kurz PXI, ist eine computerbasierte Hardware- und Software-Plattform für Test- und Messsysteme. Der PXI-Bus, der in den späten 1990er Jahren als offener Industriestandard entwickelt wurde und auf dem CompactPCI (cPCI)-Standard basiert, stellt eine Basis für komplexe, robuste und modulare Test- und Messsysteme dar. Der PXI-Standard wird von der PXI Systems Alliance (PXISA) verwaltet, die für die stetige Weiterentwicklung und Kontrolle dieses Standards sorgt, um die Kompatibilität der Produkte hunderter Anbieter sicherzustellen.

PXI Express bzw. PXIe ist eine Weiterentwicklung des PXI-Standards und ersetzt den PXI-Datenbus für die parallele Datenübertragung durch eine serielle Hochgeschwindigkeitsschnittstelle. PXIe bietet viele Vorteile für modulare Instrumente wie Digitizer oder Arbitrary-Waveform-Generatoren, die häufig große Datenmengen übertragen müssen. Die hochmodernen PXIe-Produkte von Spectrum verfügen beispielsweise über eine schnelle Schnittstelle, die Streaming mit bis zu 1,7 GB/s ermöglicht.

Kurzer historischer Abriss

Der PCI-Bus (Peripheral Component Interconnect) wurde ursprünglich als kommerzieller Computerbus entwickelt. In den späten 1990er Jahren schuf die PCI Industrial Computers Manufacturers Group (PICMG) den CompactPCI-Bus (cPCI), indem sie ausgehend von der Desktop-PCI-Spezifikation ein Modul auf Basis einer Europlatine für den PCI-Bus entwickelte. Dadurch blieben die Vorteile des PCI-Busses bei gleichzeitig robustem Formfaktor, der sich für industrielle Testanwendungen eignet, erhalten. Die Konstruktion von cPCI-Systemen basiert auf einem Chassis mit passiver Backplane inklusive Netzteilen und Kühlung. Der Standard bietet zudem Kartensteckplätze an der Vorderseite sowie obere und untere Führungsschienen, die für zusätzliche Stabilität sorgen.

Test- und Messgeräte können den cPCI-Bus nutzen, erfordern aber möglicherweise auch zusätzliche Funktionen in Form von Timing-, Trigger- und Synchronisierungssignalen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, kombinierte der PXI-Standard die Industrie-PC-Technologie nach der cPCI-Spezifikation mit integrierten Synchronisierungs- und Triggerfunktionen. Das Ergebnis ist eine robuste modulare Plattform mit einer enormen Verbesserung gegenüber älteren Busstrukturen. Diese ermöglichte die Entwicklung von PXI zum Industriestandard für Mess- und Automatisierungsanwendungen.

Das modulare Konzept bietet zahlreiche Vorteile. Zum einen vereinfacht es die Installation PXI- und PXIe-basierter Messgeräte. Darüber hinaus können durch direkten Zugang zur Frontplatte Signale einfacher an die Module angeschlossen werden, als es bei herkömmlichen Erweiterungskarten für Computer der Fall ist. PXI-Systeme verfügen außerdem über Lüfter am Sockel ihres Chassis, sodass Luft senkrecht über die PXI-Karten geblasen wird, was zur optimalen Wärmeabfuhr beiträgt. Sowohl beim PXI- als auch beim cPCI-Bus werden standardisierte 3HE- oder 6HE-Kartengrößen verwendet, die typischerweise über eine passive Backplane verbunden werden.

PXI- und PXIe Hardware

Die Hardware-Implementierung von PXI/PXIe besteht aus einem Chassis, einer Controller- oder Computerschnittstelle sowie Peripheriekarten.

► Eine Einführung in PXIe

Chassis

Die Steckkarten sind in einem Chassis untergebracht, in dem sich außerdem eine passive Backplane, Netzteile, die Kühlung und eine Vorrichtung für einen Controller befinden. Hybrid-Chassis nutzen ein passives Motherboard, das Steckplätze für cPCI-, PXI- und PXIe-Peripheriekarten bietet. Bild 1 zeigt ein typisches PXIe-Hybrid-Chassis. Bei diesem Chassis mit 18 Steckplätzen handelt es sich um ein Chassis vom Typ PXIe-1075 von National Instruments. Die Symbole im unteren Bereich der Chassis-Frontplatte zeigen die Funktionen der einzelnen Steckplätze an. Der Steckplatz ganz links (Slot 1) ist für den Systemcontroller (falls verwendet) oder den PXIe-Remotecontroller reserviert. Slot 10 ist für das System-Timing vorgesehen und kann für ein PXIe-Modul für das System-Timing oder ein PXIe-Peripheriemodul genutzt werden. Die Steckplätze 2 bis 5 und 15 bis 18 sind Hybrid-Kartensteckplätze, die mit hybridfähigen PXI-, PXIe- und 32-Bit-cPCI-Peripheriemodulen kompatibel sind. Die Steckplätze 6 bis 9 und 11 bis 14 sind spezielle PXIe-Steckplätze.

PXI und cPCI unterscheiden sich hauptsächlich durch zusätzliche Timing- und Synchronisierungsfunktionen. Es gibt acht gemeinsam genutzte Trigger-Busleitungen, einen differenziellen Stern-Trigger (Punkt-zu-Punkt-Verbindung mit geringem Zeitversatz) und einen 10-MHz-System-Referenztakt, der für die Synchronisierung des Timings mehrerer Karten genutzt werden kann.

Der 10 MHz-Referenztakt ist im PXI-Standard genau definiert, um eine Verteilung mit geringem Zeitversatz ($< 1 \text{ ns}$) zu sämtlichen Peripheriegeräten sicherzustellen. Der Takt kann für die Synchronisierung des Timings oder als stabile Flankenreferenz für die Qualifizierung von Triggerereignissen verwendet werden. Die meisten PXI-Chassis sind für einen externen 10 MHz-Takteingang vorbereitet, auf dessen Phase die interne Taktquelle geregelt werden kann.

Ein PXIe-Chassis bietet zudem PXIe_CLK100, einen differenziellen hochfrequenten 100 MHz-Takt, der an die Steckplätze für das System-Timing und die hybriden Peripheriegeräte gelegt wird. Der Zeitversatz dieses Takts liegt bei weniger als 100 ps. Bei der Nutzung müssen die PXIe_CLK100-Leitungen am Peripheriegerät terminiert sein. Es gibt auch ein differenzielles Synchronisierungssignal, PXIe_SYNC100. Dieses Signal ist synchron zum PXIe_CLK100 und sorgt für die Durchsetzung jedes 10. Takts, um die Phasenbeziehung der 10-MHz- und 100-MHz-Referenztakts anzuzeigen.

Der PXI-Standard definiert einen Trigger-Bus, der aus acht separaten Leitungen besteht. Diese ermöglichen die Weiterleitung von Trigger-, Synchronisierungs- und Timing-Signalen von einem Modul zum nächsten. Ein Modul agiert dabei als Master und leitet das Timing- oder Synchronisierungssignal an andere Module weiter, die die Rolle von Slaves übernehmen können. Es ist zu beachten, dass der Triggerbus über eine begrenzte Bandbreite verfügt und nicht für Taktfrequenzen von mehr als 20 MHz empfohlen wird.

Der PXI-Star-Trigger wird für Anwendungen genutzt, bei denen ein Hochgeschwindigkeitstrigger mit kurzer Verzögerung und minimalem Versatz erforderlich sind. Das Trigger-Signal wird vom dedizierten Star-Trigger-Steckplatz (Slot 2 im PXI-Chassis) über eine Sterntopologie zu allen verbleibenden Kartensteckplätzen geleitet. Die Leitungslängen wurden so ausgelegt, dass die Ausbreitungsverzögerungen mit einer Genauigkeit von 1 ps aufeinander abgestimmt sind.

Ein weiterer PXI-Bus ist der Local-Bus. Dieser Bus besteht aus einer Hintereinanderschaltung von 13 einzelnen Leitungen zur Verbindung eines Steckplatzes mit den nebenstehenden Steckplätzen. Der Bus ermöglicht die Weiterleitung digitaler wie analoger Signale von

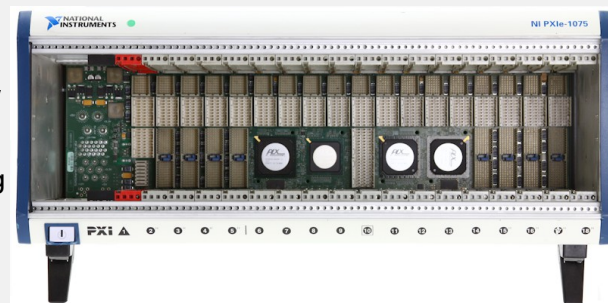


Bild 1: Standard PXIe-Chassis mit 18 Steckplätzen von National Instruments

► **Eine Einführung in PXIe**

Steckkarte zu Steckkarte. Er unterstützt Signalpegel von bis zu 42 Volt.

Das PXIe-Chassis muss zudem jeden Steckplatz mit Strom versorgen. An allen Steckplätzen stehen +3,3, +5, +12 und -12 Volt einschließlich Strombegrenzungen je nach Steckkartenfunktion zur Verfügung.

Controller

Das PXIe-Chassis ist für einen Controller vorgerüstet. Der Controller muss im Steckplatz ganz links (Slot 1) untergebracht werden. Der Controller kann als Embedded Computer oder als Verbindung zu einem externen Computer oder Laptop ausgeführt sein.

Embedded Controller sind spezielle Computer mit allen erforderlichen Komponenten wie Prozessoren, RAM, Festplattenlaufwerk und sämtlichen zugehörigen Peripheriegeräten, die sicherstellen, dass das PXI-System unabhängig betrieben werden kann. Das Betriebssystem von Embedded Controllern ist meistens Windows, jedoch können auch andere Betriebssysteme verwendet werden. Wie bei allen Computersystemen muss eine geeignete Treibersoftware installiert werden.

Peripheriekarten und -module

PXIe-Systeme können unterschiedlichste PXI-, PXIe- und cPCI-Steckkarten in geeigneten Chassis-Steckplätzen aufnehmen. Der Standard spezifiziert zwei unterschiedlich große Module: 3 HE und 6 HE. Das 3 HE-Modul hat Kartenabmessungen von 100 x 160 mm (3,94 x 6,3 Zoll). Das 6 HE-Modul hat eine Kartengröße von 233,35 x 160 mm (9,19 x 6,3 Zoll). In den meisten Konfigurationen wird das kleinere 3 HE-Modul verwendet. Bei Test- und Messsysteme mit größerem Platzbedarf werden die 3-HE-Karten gestapelt, wodurch sich für die Module einer Breite von mehr als einem Steckplatz ergibt.

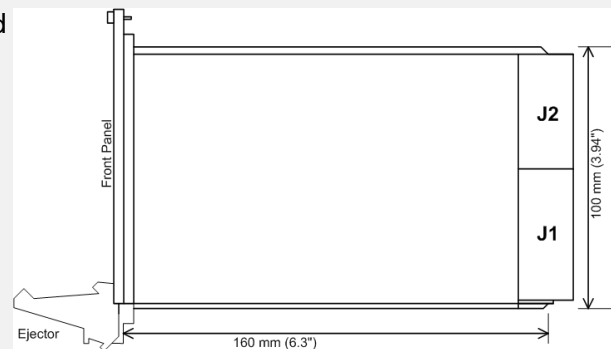


Bild 2: 3U-PXIe-Modul mit Abmessungen

Beide Kartentypen sind mit verriegelbaren mechanischen Auswurfvorrichtungen versehen, einer einfachen bei 3 HE-Modulen und einer zweifach ausgeführten bei den größeren 6 HE-Modulen. Um die mechanische Robustheit weiter zu verbessern, werden 3 HE-Module zusätzlich mit Befestigungsschrauben fixiert.

In der Regel sind die 3 HE-Module je nach Typ (PXI, PXIe oder cPCI) mit zwei Steckern ausgestattet.

Bild 3 zeigt einen hochauflösenden PXIe-Hochgeschwindigkeitsdigitizer M4x.4451-x4 von Spectrum. Dieser Digitizer weist eine 3 HE-Kartenkonfiguration mit einer Breite von zwei Steckplätzen auf.

Die Digitizer vom Typ M4x.44xx-x4 bieten sowohl hohe Übertragungsraten als auch eine hohe Auflösung. Die Baureihe umfasst PXIe-Karten mit zwei oder vier synchronen Kanälen. Jeder Kanal verfügt über einen eigenen Analog-Digital-Wandler (ADW), der für Abtastraten von 130 MS/s bis 500 MS/s ausgelegt ist. Die Kanäle sind mit einer Auflösung von 14 Bit oder 16 Bit erhältlich (Tabelle 1).

Modelnummer	Anzahl der Kanäle	A/D-Wandler Auflösung	Speicher	Maximale Abtastrate
M4x.4410-x4	2	16	2 GSamples	130 MS/s
M4x.4411-x4	4	16	2 GSamples	130 MS/s
M4x.4420-x4	2	16	2 GSamples	250 MS/s
M4x.4421-x4	4	16	2 GSamples	250 MS/s

► **Eine Einführung in PXIe**

M4x.4450-x4	2	14	2 GSamples	500 MS/s
M4x.4451-x4	4	14	2 GSamples	500 MS/s

Tabelle 1: Übersicht über die Produktspezifikationen der Digitizer der Baureihe M4x.44xx-x4

Die PXI Express-Karten der Baureihe M4x nutzen eine Verbindung vom Typ PCI Express x4 Gen 2. Sie können auch in jedem PXI Express-Steckplatz (PXIe) und in einem beliebigen PXI-Hybrid-Steckplatz mit Gen 1, Gen 2 oder Gen 3 eingesetzt werden. Die Schnittstelle PCI Express x4 Gen 2 bietet eine herausragende Leistung bei der Datenübertragung. Zusammen mit entsprechend optimierten Treibern von Spectrum ermöglicht diese Schnittstelle Datenübertragungsraten von mehr als 1,7 GB/s, sodass Signale mit höchsten Geschwindigkeiten aufgezeichnet, gespeichert und analysiert werden können. Zum Erreichen dieser hohen Übertragungsgeschwindigkeit ist eine Backplane mit entsprechend schnellem Anschluss sowie ein Controller mit passendem Datendurchsatz nötig.

Die Digitizer der Baureihe M4x.44xx sind mit zwei Backplanestecker ausgestattet. Über den oberen Stecker wird die PXIe-Schnittstelle angeschlossen, über die der Digitizer Daten mit bis zu 1,7 GB/s übertragen kann. Der untere Stecker sorgt für die Übertragung der PXI-spezifischen Signale, beispielsweise vom Local- und Trigger-Bus, sowie der Referenzsignale für das Timing. Digitizer von Spectrum können derzeit den PXI-Trigger-Bus oder den Stern-Trigger nutzen. Sie unterstützen nicht den Anschluss eines Local Bus.

Die Frontplatte enthält die Stecker für Eingangskanäle, Trigger, Takt- und digitale E/-A-Signale. Die Auswurfvorrichtung des Moduls befindet sich unten an der Frontplatte. Da es sich hier um ein Peripheriegerät in der Breite von zwei Steckplätzen handelt, gibt es auch zwei Befestigungsschrauben oben an der Frontplatte.



Bild 3: Digitizer M4x.4451-x4 von Spectrum mit 4 Kanälen, 500 MS/s, 14 Bit und PXIe-Schnittstelle

Software

Der PXI/PXIe-Standard bestimmt die Software- und Hardwareanforderungen. Im Allgemeinen spezifiziert er Windows-Betriebssysteme, die unterstützt werden müssen. Andere Betriebssysteme wie beispielsweise Linux können ebenfalls verwendet werden. Die wichtigsten Faktoren für die Auswahl eines Betriebssystems sind die Anschlussmöglichkeit an den PXI-Bus und die Verfügbarkeit geeigneter Treiber.

Module können auf zwei Arten im PXI-System gesteuert werden: entweder basierend auf Meldungen oder basierend auf Registern. Die auf Registern basierende Kommunikation ist die am häufigsten eingesetzte Methode. Hierbei greift der Controller innerhalb der Module auf die Register zu, die die Aktionen der Module steuern. Bei der auf Meldungen basierenden Kommunikation werden Peripheriegeräte, wie der Name bereits andeutet, durch den Austausch textbasierter Meldungen gesteuert und ausgelesen. Die Meldungen haben ein genau festgelegtes Format und bestehen aus genau definierten Argumenten. Die auf Meldungen basierende Steuerung wird eher bei autarken Test- und Messsystemen eingesetzt, es gibt jedoch auch einige PXI-Module, bei denen diese Methode Verwendung findet.

Gerätetreiber vereinfachen die Kommunikation und Steuerung von PXI/PXIe-

► Eine Einführung in PXIe

Peripheriegeräten. Ein Gerätetreiber ist eine Computersoftware, die eine Interaktion mit Hardware-Geräten ermöglicht. Sie besteht aus einer Schnittstelle für die Kommunikation zwischen Betriebssystem und anwendungsspezifischer Software und ermöglicht die Übertragung von Befehlen und/oder den Empfang von Daten. Der Hauptgrund für die Verwendung eines Treibers besteht darin, dass sich die Nutzer keine Gedanken über die grundlegenden Details einer Gerätesteuerung machen müssen.

Der PXI/PXIe-Standard basiert auf VISA-Treibern. VISA (Virtual Instrument Software Architecture) ist ein von der IVI Foundation (<http://www.ivifoundation.org>) verwalteter Standard. VISA definiert eine Softwareebene, die es den Nutzern ermöglicht, Geräte zu steuern, ohne die Funktionsweise des verwendeten Schnittstellenbusses verstehen zu müssen. Sie bietet eine Möglichkeit, Gerätetreiber auf Grundlage eines konsistenten Ansatzes zu programmieren. Das bedeutet, dass sich selbst bei der Verwendung von Geräten verschiedener Hersteller in ein und demselben Chassis wesentlich einfacher die Kompatibilität sicherstellen lässt.

IVI (Interchangeable Virtual Instrument) ist eine Treibertechologie, die eine standardmäßige Anwendungsprogrammierschnittstelle (API) für die Kommunikation mit Instrumenten bereitstellt. Da sie auf VISA aufsetzt, ermöglicht sie es den Nutzern, Geräte ohne Änderung ihres Quellcodes auszutauschen. Die IVI Foundation verwaltet auch die IVI-Spezifikation.

Gerätetreiber sind zwingend erforderlich, wenn Nutzer ihre eigenen Programme unter Verwendung gängiger Programmiersprachen programmieren möchten. Im Fall der Digitizer der Baureihe M4x.44xx-x4 von Spectrum werden die Betriebssysteme Windows und Linux unterstützt (32-Bit- und 64-Bit-Versionen). Programme können in zahlreichen Sprachen programmiert werden, unter anderem in Visual C++, Borland C++Builder, LabWindows/CVI, LabVIEW, Borland Delphi, Visual Basic, VB.NET, C#, J#, Python und IVI. Unterstützung für Linux-kompilierte Kernel-Module ist in den meisten gängigen Linux-Distributionen wie RedHat, Fedora, Suse, Ubuntu LTS und Debian enthalten.

Die Steuerung eines Systems mit mehreren Peripheriegeräten erfordert eine Software für die Systemintegration, beispielsweise LabVIEW, LabWindows/CVI oder MATLAB. Diese Programme bieten in Kombination mit geeigneten Treibern Unterstützung für zahlreiche modulare Test- und Messgeräte, die als System betrieben werden. Sie sind in der Lage, solche Systeme zu steuern sowie Messdaten zu erfassen, messtechnisch zu verarbeiten und zu analysieren.

Beispiel LabVIEW

LabVIEW von National Instruments ist die am häufigsten verwendete grafische Programmiersprache für Messanwendungen und wird von der Digitizer-Hardware sehr gut durch einen speziellen LabVIEW-Treiber unterstützt. Der Treiber bündelt verschiedene Digitizer-Funktionen zu Funktionsblöcken und macht sie in LabVIEW verfügbar. Das LabVIEW-Treiberpaket besteht

© Spectrum GmbH, Germany

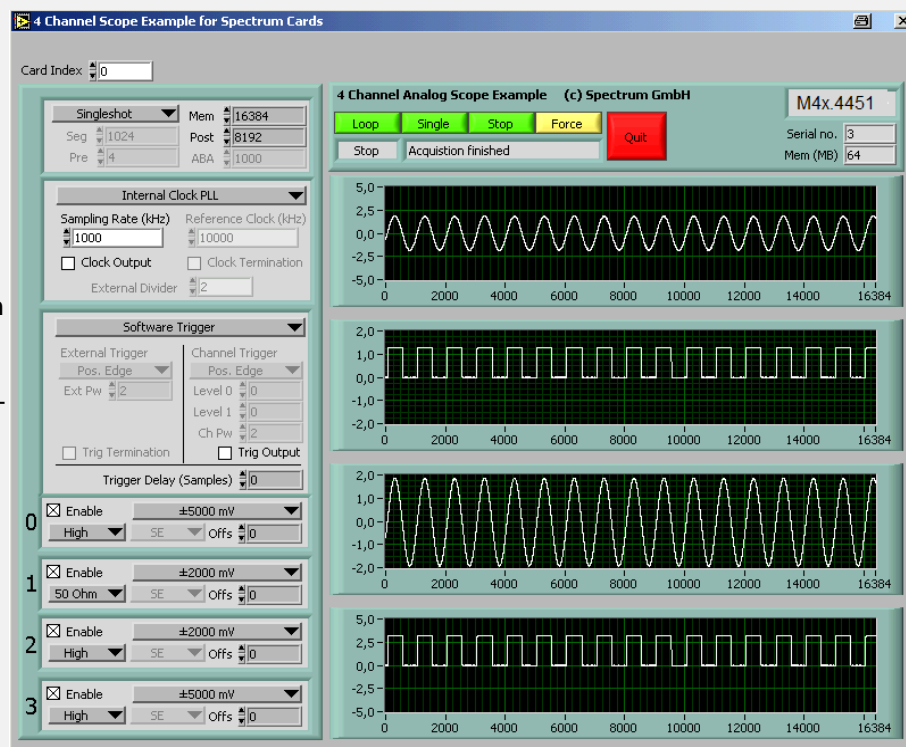


Bild 4: Beispiel eines LabVIEW Oszilloskopes für Spectrum Digitizer

► Eine Einführung in PXIe

aus mehreren verschiedenen Bibliotheken und einigen offenen Beispielen für virtuelle Geräte (Virtual Instruments, VI), die die Verwendung des Treibers darstellen. Neben diesen Bibliotheken lassen sich sämtliche Treiberfunktionen auch direkt aufrufen.

Bild 4 zeigt ein Beispiel, bei dem die Möglichkeit besteht, die analogen Kanäle der Digitizer-Karte als einfaches Oszilloskop zu nutzen. Zu sehen ist die virtuelle Oberfläche eines Oszilloskops, das eine einzelne oder mehrere Aufzeichnungen von Daten auf bis zu vier Kanälen ermöglicht.

Sämtliche Takteinstellungen, Triggermodi, Quellen und Eingangskanaleinstellungen lassen sich über die Schnittstelle anpassen und ändern. Im Beispiel sind alle Aufzeichnungskarten mit bis zu 4 Kanälen unabhängig von der analogen Auflösung und der maximalen Abtastrate des Digitizers berücksichtigt.

Alle Beispiele von Spectrum bieten offene und editierbare Diagramme, die der Programmierer als Grundlage für seine eigenen Programmierungen verwenden kann oder um sich mit der Funktionsweise des LabVIEW-Treibers besser vertraut zu machen.

Die Benutzerschnittstelle wurde mit dem Ziel geschaffen, einen schnellen Einstieg mit grundlegenden Funktionen zu ermöglichen und stellt ein nützliches Tool für LabVIEW-Benutzer dar, die zum ersten Mal mit einem Digitizer arbeiten.

Gerätespezifische Software

Hersteller von Peripheriegeräten stellen auch eine messgerätespezifische Steuer- und Analysesoftware für ihre Module zur Verfügung. Spectrum bietet SBench 6 an, eine benutzerfreundliche grafische Betriebssoftware für Module von Spectrum, beispielsweise Digitizer und Arbitrary Waveform-Generatoren. SBench 6 ist ein wertvolles Tool für die Überprüfung der Leistung von Peripheriekarten und als Hilfe bei der Ersteinrichtung der Module.

Das Modul wird mit einer

Grundversion von SBench 6 ausgeliefert, die das Testen der Karte, das Anzeigen aufgezeichneter Daten und die Durchführung einiger grundlegender Messungen ermöglicht. Die professionelle Version von SBench 6 bietet darüber hinaus erweiterte Messfunktionen wie Filtern, Mittelwertbildung, FFTs und X/Y-Anzeige, Archivierungsfunktionen wie Hilfsprogramme für den Import und Export sowie Unterstützung sämtlicher Aufzeichnungsmodi einschließlich Datenübertragung.

Bild 5 zeigt das Beispiel einer Benutzerschnittstelle von SBench 6 sowie eine typische Messung. In diesem Beispiel wurde ein Ultraschallimpuls aufgezeichnet und digitalisiert. Ausgehend vom aufgezeichneten Impuls wurden verschiedene Messungen einschließlich des Maximalwerts, der Frequenz, des Minimalwerts und des Spitze-zu-Spitze-Werts durchgeführt. Zudem wurde eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) durchgeführt.

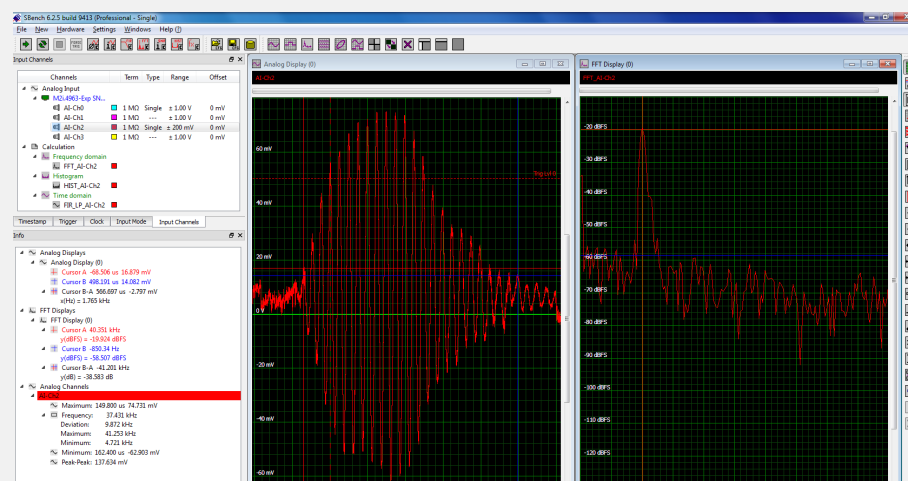


Bild 5: Aufzeichnung eines Ultraschall-Signals mit M4x.4450 - 2 Kanal 500 MS/s Digitizer in SBench 6



► Eine Einführung in PXIe

Zusammenfassung

Modulare PXIe-Instrumente wie der Digitizer M4x.4451-x4 sind robuste Instrumente für den Einsatz in industriellen Umgebungen. Der PXI-Standard garantiert die Kompatibilität mit anderen PXI-, PXIe- oder cPCI-Instrumenten und peripheren Modulen, was den Aufbau von Testsystemen aus mehreren Modulen ermöglicht. Module kommunizieren über interne Hochgeschwindigkeitsverbindungen und ermöglichen auf diese Weise präzises Triggern und komplexe Interaktionen. Dank ihrer Hochgeschwindigkeitskommunikation, ihrer hohen Datenübertragungsraten und ihres Zugriffs auf leistungsstarke Verarbeitungstechnologien können PXIe-Systeme dazu genutzt werden, die Messgeschwindigkeit und die Produktivität in den meisten automatisierten Testumgebungen deutlich zu steigern. Darüber hinaus ermöglichen standardisierte Gerätetreiber und Softwaretools eine schnelle Systemkonfiguration und eine einfache Anpassung an kundenspezifische Anforderungen.