

► Product Note

Eine Einführung in modulare Waveform Digitizer

Ein Digitizer ist ein elektronisches Aufzeichnungsgerät, das analoge Kurvenformen mit einem Analog-Digital-Umsetzer (ADC) aufnimmt und die digitalisierten Werte in einem Buffer zwischenspeichert bevor sie zur Weiterverarbeitung an einen Computer übertragen werden. Moderne Digitizer wurden erstmals in den 50er und 60er Jahren auf den Markt gebracht als der Bedarf entstand, schnelle Signale zu wandeln, speichern und weiterzuverarbeiten. Die ersten Digitizer wurde als NIM (Nuclear Instrumentation Module) oder CAMAC (Computer Automated Measurement And Control) Module auf den Markt gebracht. Beide Standards definieren einen allgemeinen Bus sowie ein modulares

Gehäusesystem und werden bei Teilchen- und Atomphysikalischen Experimenten verwendet. Die Einführung eines standardisierten Messgeräteinterfaces (GPIB/IEEE 488) in den 1970er Jahren bildete die Grundlage für Test- und Messsysteme mit vielen gesteuerten Instrumenten. Gleichzeitig führte die Entwicklung des PCs zu einer Anzahl von standardisierten Schnittstellen wie PCI (Peripheral Component Interconnect) und VMEbus (VersaModular Eurocard Bus) zur Erweiterung des PC mit Einbaukomponenten. Diese Computerbusse wurden später als Basis zur Entwicklung von speziellen Messgeräte Bussen wie PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) und VXI (VME eXtensions for Instrumentation) genutzt. Der Bedarf nach schnellen Testdurchläufen und einfacher Integration von verschiedensten Messgeräten führte zur Entwicklung des LXI (LAN eXtensions for Instrumentation) Standards.

Heutige modulare Digitizer basieren auf bewährten und etablierten Architekturen erweitert um neue serielle high-speed Schnittstellen wie PCI Express (PCIe). In Bild 1 sieht man als Beispiel die M4i Serie von Spectrum, ein Digitizer mit 2 oder 4 Kanälen mit einer Abtastrate von 500 MS/s und bis zu 16 Bit Auflösung mit einem PCI Express x8 Gen2 Interface, das Transferraten bis zu 3,4 GByte/s erreicht.

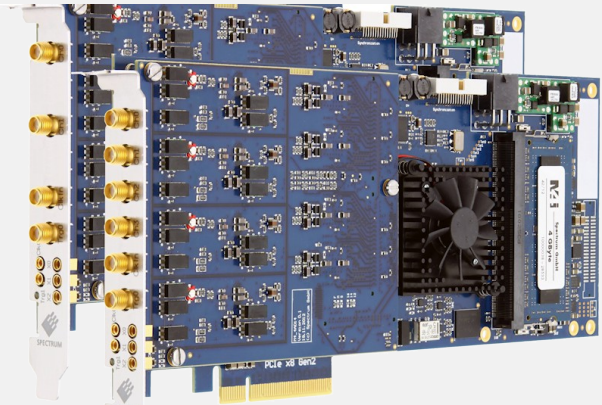


Bild 1: Spectrum M4i.4451-x8- 2/4 Kanal 14 Bit 500 MS/s Digitizer mit PCIe x8 Gen2 Interface

► **Product Note**

Begriffe rund um Digitizer

Zur Auswahl eines Digitizers müssen die Anforderungen der Anwendung sowie die Möglichkeiten des Digitizers verglichen werden. Die folgende Tabelle enthält ein Glossar über gebräuchliche Begriffe und Spezifikationen von Digitizern:

Acquisition Memory	Digital data from the ADC's is stored in a high speed buffer memory called the acquisition memory. The depth of the digitizers acquisition memory determines the length of a signal that may be stored in the buffer before it must be transferred for processing, display, or saved. Longer memory also allows for a higher sampling rate over extended record times.
Analog-to-Digital converter (ADC)	An analog-to-digital converter (ADC) transforms an analog signal captured by a sampler into digital data that can be processed by a computer.
Bandwidth (-3 dB)	Digitizer bandwidth represents the frequency range that can go through the input without significant loss of signal amplitude. Bandwidth is typically measured as the frequency (in Hertz) where the signal amplitude falls to half the power (-3 dB) of the signal at a low frequency.
Dynamic Range	The digitizers dynamic range determines the maximum and minimum signal voltages that can be measured in one acquisition. A large dynamic range allows for the measurement of signals that contain both small and large voltage components at the same time. Dynamic range is related to the digitizers resolution.
Effective Number of Bits (ENOB)	The resolution of an ADC is specified by the number of bits used to represent the analog value, ideally giving 2^N signal levels for an N-bit signal. Unfortunately, all real ADC circuits and their associated pre-amplifiers introduce some noise and distortion reducing the ideal number of quantized levels. Effective number of bits (ENOB) is a quality measure of the dynamic performance of an analog-to-digital converter (ADC) and its associated circuitry. ENOB specifies the resolution of an ideal ADC circuit that would have the same resolution as the digitizer being specified.
LXI	LAN eXtensions for Instrumentation. A local area network based system integration standard allowing fast communication between multiple instruments.
Memory Segmentation	Fast, repetitive signals are stored on each trigger event as a single segment within the memory. this reduces the required transfer rate and saves memory
Noise	Noise is a random fluctuation in an electrical signal. It is a characteristic of all electronic circuits, which generally add noise to the signal being processed.
PCI, cPCI, PCIe	Peripheral Component Interconnect (PCI), compact PCI (cPCI) and PCI express (PCIe) are three types of interfaces that connect a digitizer or other component to a computer via the computer motherboard. These interfaces are primarily used for modular digitizers that are installed in the chassis of a computer.
PXI (PCI eXtensions for Instrumentation), PXIe	PXI is a modular electronic instrumentation standard based on an industry-standard computer bus. This standard forms a basis for building electronic test equipment by providing clock and trigger synchronization signals.
Resolution	The resolution of an ADC is specified by the number of bits used to represent the analog value, ideally giving 2^N signal levels for an N-bit signal. Resolution is important for measuring dynamic signals and small signals.
Sampling Rate	The sampling rate, or sample rate, of a digitizer is the frequency at which analog signals are converted to digital data by the analog-to-digital converter. Effective measurement requires the sample rate of a digitizer to be least twice the frequency of the highest signal frequency, this is called the Nyquist rate. It is preferable to sample slightly higher than Nyquist.
Signal Processing	Signal processing is the processing of analog signals or digital data created from the signals. Common signal processing applications include filtering, averaging, and spectrum analysis.
Signal to Noise and Distortion Ratio (SINAD)	Signal to noise and distortion ratio (SINAD or THD+) is a figure of merit which provides a quantitative measurement of the quality of a signal. SINAD is the ratio of the total signal power level (including Signal + Noise + Distortion or SND) to unwanted signal power (Noise + Distortion or ND). It follows that the higher the figure the better the quality of the signal. The ratio is expressed as a logarithmic

► **Product Note**

	value (in dB) from the formula $10\log(SND/ND)$.
Spurious Response	A spurious response is an undesired signal component that is added to the desired signal as a result of mixing with internal sources within a device such as an ADC. The maximum level of spurious responses is often specified as the spurious free dynamic range.
Synchronization	Synchronization is the time coordination of events within a measurement system. It relates to triggering and sampling multiple channels or digitizers at the same time.
Transient Recorder	Transient recorders or digitizers are electronic instruments for recording a fast transient signal such as a shock pulse.
Trigger	A signal used to initiate and synchronize signal acquisition in a digitizer.
VMEbus	VMEbus is a computer bus standard, widely used for many applications and standardized by the IEC as ANSI/IEEE 1014-1987.
VXI	The VXI bus is an open standard platform for automated test systems based on the VMEbus. VXI stands for VME eXtensions for Instrumentation, defining added bus lines for timing and triggering as well as setting mechanical requirements and standard protocols for configuration, communication, mult chassis extension, and other features.

Auswahl eines Digitizers

Die Auswahl eines geeigneten Digitizers macht es nötig die Schlüsselspezifikationen des Digitizers mit den aufzunehmenden Signalen abzugleichen. Dieser Abschnitt hilft mit generellen Erklärungen und Faustformeln bei der Auswahl eines Digitizers.

Bandbreite

Die benötigte Bandbreite des Digitizers wird durch die Frequenzanteile des zu messenden Signals definiert. Für sinusförmige Signale sollte die Bandbreite mindestens doppelt so hoch sein wie die Signalfrequenz. Wenn das Signal eher pulsartig mit steilen Sprüngen ist, so sollte die Bandbreite mindestens fünfmal so hoch sein, wie die Frequenz des Pulssignals um Frequenzanteile bis zur fünften harmonischen Oberwelle aufzunehmen. In Bild 2 wird deutlich, dass mindestens die fünfte Oberwelle nötig ist, um sich einem Rechtecksignal anzunähern.

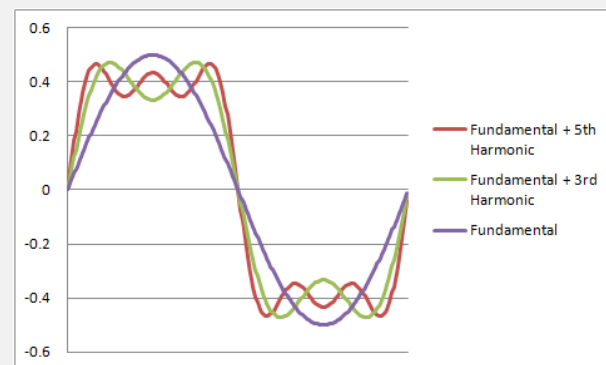


Bild 2: Die fünfte harmonische Oberwelle wird benötigt um ein Rechtecksignal anzunähern.

Abtastrate (Samplerate)

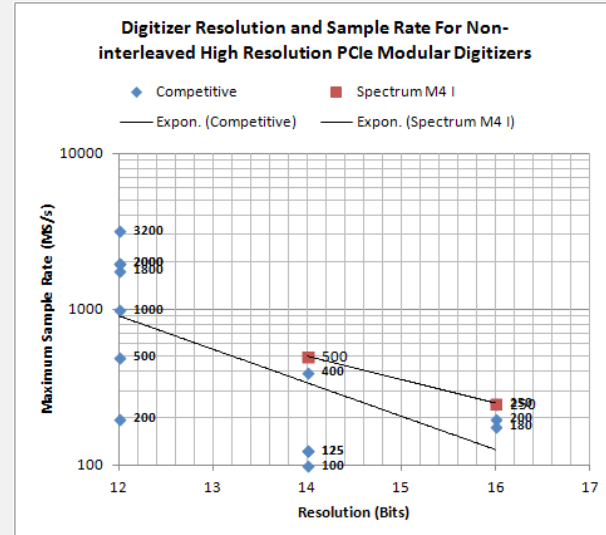
Das Abtasttheorem nach Nyquist und Shannon besagt, dass die Abtastrate eines Digitizers mindestens doppelt so hoch sein soll wie die höchste im Signal vorkommende Frequenzkomponente. Eine Abtastrate die gerade mal bei dem doppelten der höchsten Frequenzkomponente liegt ist allerdings nicht ausreichend, um schnelle Flanke im Zeitsignal zu reproduzieren. Eine genaue Abtastung eines Signals benötigt eine Abtastrate, die eher beim vier bis fünffachen der benötigten Bandbreite liegt.

► **Product Note**

Auflösung und Dynamikbereich

Die Auflösung bestimmt den Dynamikbereich des Digitizers. Der Dynamikbereich ist das Verhältnis zwischen höchstem und kleinstem Signalpegel, das ein Digitizer zur gleichen Zeit auflösen kann. Anwendungen, bei denen dynamische Signale (also Signale mit gleichzeitig großen und sehr kleinen Spannungskomponenten) aufgezeichnet werden sollen, benötigen hochauflösende Geräte. Als erster Näherung zur Berechnung des benötigten Dynamikbereichs kann der höchste erwartete Signalpegel durch den niedrigsten erwarteten Signalpegel geteilt werden. Als Beispiel soll bei einem Eingangsbereich von 1 Volt ein Signal mit einem Pegel von nur 100 μV noch sichtbar sein. Das Verhältnis der beiden Signalpegel zueinander ist 10.000:1 oder 80 dB. Mit 6 dB pro Bit benötigt diese Aufzeichnung im Idealfall einen ADC Auflösung von 13,3 Bit ohne hierbei den Rauschanteil zu beachten. Ein idealer 14 Bit Digitizer würde also reichen.

Die Auswahl einen Digitizers bedingt dabei immer einen Kompromiss zwischen Auflösung und maximaler Abtastrate. Eine höhere Auflösung führt immer zu einer niedrigeren maximalen Abtastrate. Dieses Verhältnis ist in Grafik 3 sichtbar wo die maximale Abtastrate von verschiedene Digitizer von unterschiedlichen Herstellern als Funktion über die Auflösung abgetragen wird. Die 14 Bit und 16 Bit Modelle von Spectrums M4i.44xx Serie sind hier mit ihrer hohen effektiven Abtastrate sichtbar. Es ist möglich die Abtastrate durch Interleaving von mehreren ADCs virtuell zu erhöhen aber diese Technik bedingt wiederum eine niedrigere Anzahl effektiver Bits (ENOB) durch das zusätzliche Rauschen, das durch unterschiedlichen Offset, Verstärkung und Linearität der einzelnen ADCs entsteht. Beim Vergleich von Auflösung und maximaler Abtastrate von verschiedener Produkte sollte daher immer spezifiziert sein, ob diese monolithische oder interleaved ADCs benutzen.



Zeichnung 3: Die maximale Abtastrate einer Auswahl an verfügbaren High Resolution PCI Express Digitizern aufgetragen über die Auflösung. Die M4i Serie wird separat dargestellt und zeigt eine höhere Abtastrate als 11 der 12 Vergleichsprodukte.

Länge des Aufzeichnungsspeicher

Der im Digitizer integrierte Aufzeichnungsspeicher bestimmt die maximale Aufzeichnungslänge bei Einzelschussaufnahmen. Umgekehrt wird dadurch bei gegebener Aufzeichnungslänge die erreichbare Abtastrate begrenzt. Die erreichbare Aufzeichnungslänge ist einfach aus dem Abtastintervall ($1/\text{Abtastrate}$) multipliziert mit dem Aufzeichnungsspeicher errechenbar.

Trigger

Das Triggerereignis synchronisiert die Datenaufzeichnung mit externen Ereignissen. Eine effektive Nutzung von schnellen Digitizern setzt zwingend eine große Flexibilität bei der Triggererkennung voraus. Einfache Flankentriggerung mit programmierbaren Pegeln sind bei Digitizern der Mindeststandard. Vielfach wird auch Fenstertrigger angeboten. Triggerquellen können die Aufzeichnungskanäle selbst sowie mehrere externe dedizierte

▶ Product Note

Triggereingänge sein. Für eine maximale Triggerflexibilität können diese mit Re-Arm Funktionalität sowie logischen Verknüpfungen kombiniert werden und damit erweiterte Triggerereignisse abbilden.

Anzahl der Kanäle sowie Synchronisation

Jeder Digitizer ist mit einer festgelegten Anzahl Kanäle pro Karte ausgestattet. Wenn mehr Kanäle benötigt werden, können mehrere Karten parallel betrieben werden. Zur Synchronität der Kanäle müssen mehrere Karten intern synchronisiert werden um die exakt gleichen Takt- und Triggerinformationen zu nutzen. So sind zum Beispiel bis zu acht der in Bild 1 dargestellten Digitizer mithilfe eines Star-Hub Moduls kombinierbar so dass zwischen den dann insgesamt bis zu 32 Kanälen kein Phasenversatz entsteht.

Aufzeichnungsmodi

Digitizer erlauben die Aufzeichnung der Daten in verschiedenen Aufzeichnungsmodi. Die M4i Serie von Spectrum ist von Haus aus zum Beispiel mit den folgenden Aufzeichnungsmodi ausgestattet: Ring-Buffer (entspricht dem Oszilloskopbetrieb), Kontinuierlicher FIFO oder Streaming Modus, Multiple Recording (Segmentaufzeichnung), Gated Sampling (Torgsignalgesteuerte Aufzeichnung) sowie eine doppelte Zeitbasis (ABA) wo langsame kontinuierliche Aufzeichnung mit schnellen Einzelaufnahmen um die Triggerereignisse herum kombiniert wird. Alle diese Aufzeichnungsmodi benötigen eine kurze Totzeit zwischen den Ereignissen. Die bereits vorgestellten M4i Digitizer kommen hier mit 40 Sampletakten (80 ns bei 500 MS/s Abtastrate) aus. Alle diese verschiedenen Aufzeichnungsmodi erlauben die Konfiguration des Digitizers zur optimalen Ausnutzung des Aufzeichnungsspeichers für verschiedene Anwendungen.

Datentransfer

Einer der Hauptvorteile von Digitizern ist die Möglichkeit die Daten schnell und kontinuierlich zum Computer für weitere Analysen oder zur Datenarchivierung zu übertragen. Die Spectrum Digitizer sind optimiert für einen schnellen FIFO Modus (Streaming Modus) und erreichen eine Dauertransferrate zwischen Kartenspeicher und PC Speicher von bis zu 3,4 GByte/s unter Nutzung einer PCI Express x8 Gen2 Schnittstelle.

Bauform

Moderne Digitizer sind in verschiedenen Bauformen und für verschiedene Standards verfügbar. Heutzutage am weitesten verbreitet sind PCI Express, immer dann wenn Größe und Systemkosten kritisch sind und die Karte in einem PC eingebaut werden soll, sowie PXI. Beim Aufbau großer automatisierter Testsystem mit einer Anzahl von verschiedenen Geräten vereinfacht die Wahl einer weitverbreiteten und zukunftsträchtigen Schnittstelle die Integration deutlich.

Treiber und Software

Die Spectrum Digitizer werden mit Treibern für Windows (XP, Vista, Windows 7 und Windows 8, jeweils 32 Bit und 64 Bit) sowie vor-kompilierte Linux-Kernel-Module für die am weitesten verbreiteten Distributionen wie RedHat, Fedora, SUSE, Ubuntu oder Debian. Die Linux

▶ Product Note

Unterstützung beinhaltet SMP Systeme und ebenfalls 32 Bit und 64 Bit.

Programmierbeispiele für Visual C++, Borland C++ Builder, LabWindows/CVI, Borland Delphi, Visual Basic, VB.NET, C#, J#, und IVI sind ebenfalls enthalten.

Sollten Drittprodukte wie LabVIEW1 oder MATLAB1 genutzt werden, so sind hierfür ebenfalls Treiber sowie Beispiele enthalten.

Obwohl die meisten Digitizer von selbstgeschriebener Software kontrolliert werden, ist die Verfügbarkeit einer Bediensoftware vom Hersteller für die Systemintegration sowie Tests der Hardware trotzdem für alle Anwender ein wichtiger Punkt. Die von Spectrum mitgelieferte Software läuft unter dem Namen SBench 6 und wird in Bild 4 gezeigt. Die Software kann flexibel eingesetzt werden und ist speziell für die Hardware des Herstellers entwickelt. Dabei können sowohl Karten mit einzelnen Kanälen als auch für Systeme mit hunderten synchronisierter Kanäle gesteuert werden.

Daneben bietet die Software verschiedene Messverfahren, Analyse und Signalberechnungen. Im Screenshot wird sowohl die aufgezeichnete Signalform (Schalldruck eines akustischen Klicks) als auch die beiden Messcursor mit einer passenden Einheit und Umrechnung (Pascal) dargestellt. Daneben wird die FFT des aufgezeichneten Signals dargestellt.

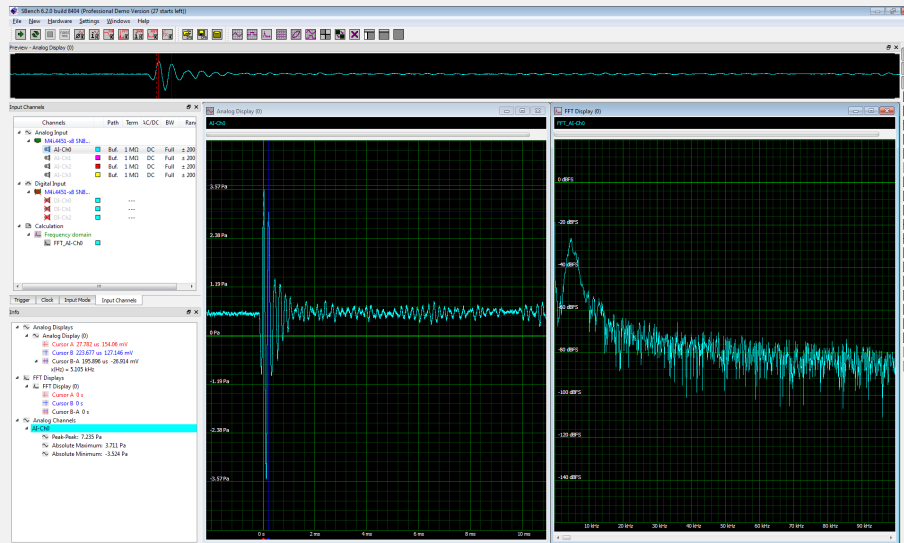


Bild 4: Ein Beispiel einer typischen Messaufgabe für einen Digitizer mit einigen grundlegenden Messungen sowie einer FFT, dargestellt mit Spectrums Software SBench 6.

Digitizer im Vergleich mit Digitaloszilloskopen

Digitizer teilen viele Details mit Digitaloszilloskopen. Daher drängt sich die Frage auf, welches Instrument denn am Besten für die eigene Anwendung passt. Zur Beantwortung dieser grundlegenden Frage wirft dieser Artikel fünf einfache Fragen auf, deren Eigenbeantwortung das für die Anwendung am Besten passendste Gerät herausarbeitet:

1. Soll eine Schaltung oder ein Gerät auf Fehler untersucht werden und die Daten weiterverarbeitet oder Analysen basierend auf den Aufnahmen gemacht werden?

Der Digitizer ist das passende Werkzeug zum Messen, Analysieren oder Weiterverarbeiten der Daten. Das enge Zusammenspiel zwischen Digitizer und Computer machen ihn zur ersten Wahl wenn große Datenmengen verarbeitet werden sollen. Auf der anderen Seite ist die interaktive Fehlersuche besser mit einem Oszilloskop mit seinen vielfältigen Bedienelementen zu erledigen.

2. Werden mehrere Kanäle bei kleiner Baugröße und mit minimalem Stromverbrauch benötigt?

▶ Product Note

Dies ist die Stärke von modularen Digitizern. Mehrfache Digitizer mit vielen Kanälen sind direkt im System synchronisiert und modulare Plattformen wie Spectrums M4i Serie können einfach um viele analoge und digitale Aufzeichnungs- sowie Wiedergabekanäle erweitert werden.

3. Wird ein hoher Datendurchsatz benötigt?

Auch in diesem Bereich glänzen modulare Digitizer. Digitizer basierend auf PCI Express mit mehreren Lanes erlauben die Datenübertragung bis zu 3,4 GByte/s was vielfältige Online-Analysen direkt im Computer möglich macht.

4. Werden die aufgezeichneten Daten von vorhandener oder selbst geschriebener Software direkt weiterverarbeitet?

Der hohe Datendurchsatz sowie die großen Speicher machen die Integration von Digitizern in ein komplettes Datenverarbeitungssystem einfach und komfortabel.

5. Sollen die Betriebskosten niedrig gehalten werden?

Digitizer haben die niedrigsten Kosten pro Aufzeichnungskanal wenn die Einfachheit der Nutzung, der Zeitaspekt bei der Integration, die vielfältigen Aufzeichnungsmodi, der Speicher pro Kanal, sowie die Zuverlässigkeit mit betrachtet wird.

Fazit

Für viele Anwendungen aus dem Bereich der Datenerfassung ist ein modularer Digitizer die erste Wahl und bietet mehr Möglichkeiten und eine einfachere Integration als Oszilloskope.

Autoren

Arthur Pini *unabhängiger Berater*
Greg Tate *Asian Business Manager, Spectrum GmbH*
Oliver Rovini *Technical Manager, Spectrum GmbH*