

▶ **Product Note**

Modulare Digitizer: Triggerung und Synchronisation

Einleitung

Digitizer dienen der Konvertierung elektrischer Signale in eine Serie von Messwerten, die dann als numerisches Datenfeld mit Amplitudenwerten über der Zeit ausgegeben werden. Um diese Informationen nutzbar zu machen, wird die Zeitinformation in der Regel auf einen bestimmten Referenzpunkt bezogen, der meist der Trigger-Position entspricht. Der Triggerpunkt kann ein Ereignis sein, das innerhalb des gemessenen Signals eintritt oder aus anderen, externen Quellen stammt. Die Funktion des Triggerereignisses besteht darin, die Zeitmessungen mit einem bekannten Zeitpunkt zu verknüpfen. Bei wiederkehrenden Signalen muss das Triggerereignis stabil sein, damit der Vergleich von Messungen einer Aufzeichnung mit denen anderer möglich ist. Werden mehrere Digitizer oder zugehörige Aufzeichnungsgeräte in ein Mehrkanalsystem integriert, lassen sich aussagekräftige Daten nur dann erhalten, wenn sämtliche Kanäle auf eine gemeinsame Zeitachse bezogen werden. Dies erfordert eine Zeitsynchronisation der Datenaufzeichnungselemente des Systems mit allen Digitizer-Kanälen, die üblicherweise durch dasselbe Ereignis getriggert werden. Im hier vorliegenden Artikel liegt der Fokus auf den Themen Triggerung und Synchronisation.

Triggern

Triggern ist eine wesentliche Funktion bei jedem Gerät, das der Aufzeichnung und Digitalisierung von Signalen dient. Bei der am häufigsten verwendeten Triggermethode wird das Signal genutzt, das in einen der Digitizer-Kanäle eingespeist wird. Das Grundprinzip besteht in der Erkennung eines Punkts in der Wellenform. Dieses „Triggerereignis“ wird als bekannte Position in den aufgezeichneten Daten markiert. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel eines einfachen Flankentriggers. Die Signalquelle ist der Eingangskanal, wobei das Triggerereignis zu dem Zeitpunkt eintritt, zu dem die Wellenform den Triggerpegel bei 500 mV mit einer positiven Steigung schneidet. Tritt dies ein, wird diese Position auf dem aufgezeichneten Signal als Nullzeitpunkt auf der Zeitachse entsprechend der Position des Cursors in der Abbildung markiert. Handelt es sich um ein wiederkehrendes Signal, wird der Digitizer zum selben Zeitpunkt jedes Mal getriggert, wenn eine neue Aufzeichnung durchgeführt wird, was zu einer stabilen Anzeige führt.

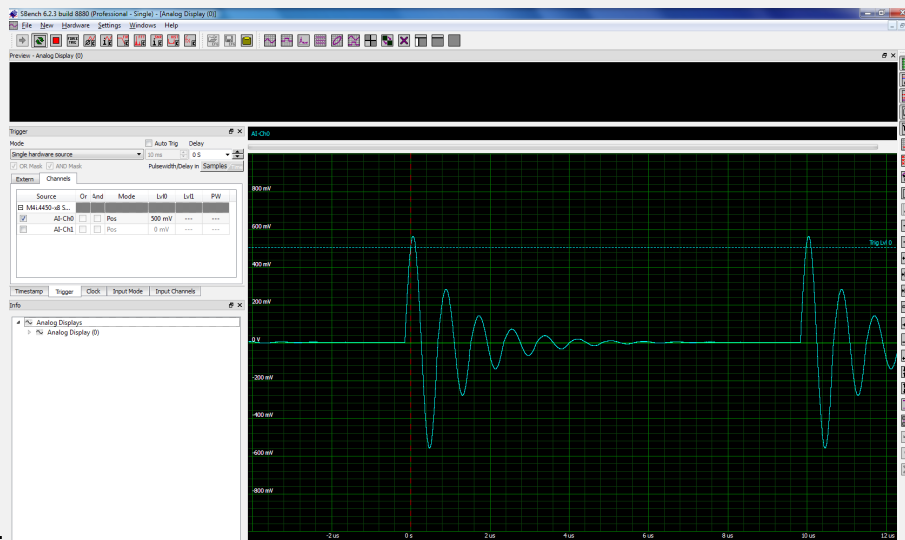


Abbildung 1: Beispiel eines einfachen Flankentriggers mit Definition des Nullzeitwerts auf der Zeitachse (markiert durch senkrechte unterbrochene Linie). Bei Kreuzung von Wellenform und Triggerpegel (waagerechte unterbrochene Linie) mit positiver Flanke.

Die zahlreichen Ausprägungen verschiedener Signalwellenformen und -pegel sowie deren zeitliche Verläufe erfordern Digitizer mit äußerst flexiblen Triggerkreisen. In Abbildung 2 ist

▶ Product Note

ein Blockschaltbild der Trigger-Engine eines Digitizers der Serie M4i von Spectrum dargestellt. Dies ist ein Beispiel für die umfangreichen Triggerbedingungen, die von modernen Digitizern unterstützt werden.

Die Hardware-Triggerquellen sind auf der linken Seite des Blockschaltbilds zu sehen. Sie umfassen alle Eingangskanäle sowie einen der beiden externen Triggereingänge (Ext0 oder Ext1). Jede dieser Quellen unterstützt mehrere Triggertypen. Die mehrfach nutzbaren E/A-Kanäle können unter anderem zur Meldung des RUN- bzw. ARM-Status der Digitizer sowie zur Ausgabe eines Trigger-Ausgangssignals verwendet werden. Neben den Hardware-Triggerquellen gibt es auch ein Software-Trigger, die ein programmgesteuertes Triggern ermöglicht.

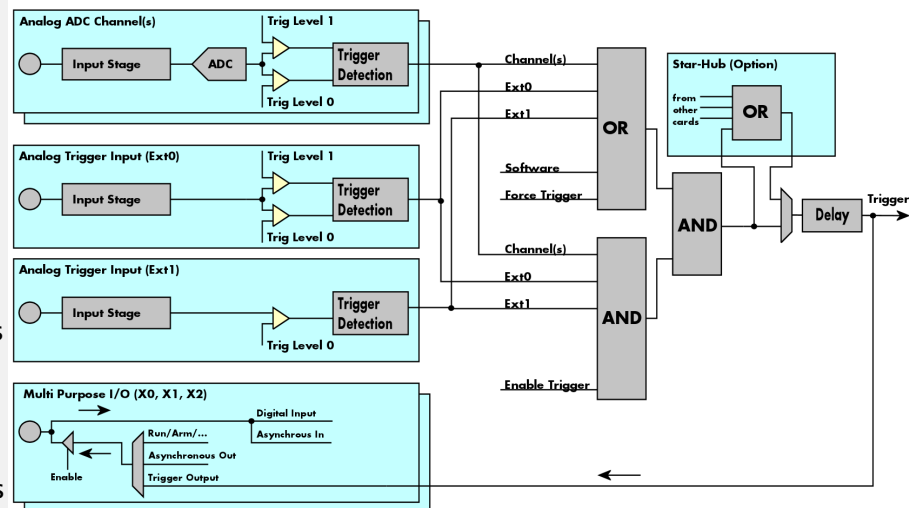


Abbildung 2: Blockschaltbild der „Trigger-Engine“ eines Digitizers der Serie M4i von Spectrum einschließlich Triggerquellen und Triggerlogik

Der Digitizer bietet zudem leistungsstarke Trigger-AND/OR-Logikelemente zur Kombination von Eingängen mehrerer Quellen zu einem komplexen Triggersignal für mehrere Elemente. Die Funktionalität kann dazu genutzt werden, sicherzustellen, dass der Digitizer nur dann triggert, wenn speziell definierte Muster auftreten. Eine weitere Funktion besteht in der Möglichkeit, mit bis zu sieben anderen Digitizer-Karten über die Star-Hub-Synchronisationsoption mehrere Geräte übergreifend zu triggern.

Triggermodi

Die wichtigsten Triggerquellen enthalten Komparatoren mit zweifachen Triggerpegeln und unterstützen mehrere Triggermodi. Dazu gehören Flankentrigger mit einfacher und doppelter Flanke, Re-arm- bzw. Hysterese-Trigger und Fenstertrigger; für den Trigger mit mehreren Quellen gibt es zudem entsprechende Trigger-Tor-Generatoren.

Flankentrigger sind die einfachste Ausführung von Triggern. Der Benutzer legt einen Triggerpegel fest und wählt die gewünschte Triggerflanke. Überschreitet das Quellensignal den Schwellenwert mit der gewählten Steigung, triggert der Digitizer. Für die Flanke stehen die Optionen positiv, negativ und positiv/negativ zur Auswahl. Der Flankentrigger ist der am häufigsten verwendete Triggermodus.

Re-arm- oder Hysterese-Trigger dienen der Einstellung zweier Pegel: Der erste ist der Bereitschaftspegel, der zweite der eigentliche Triggerpegel. Wie beim Flankentrigger wählt der Benutzer auch hier eine Flanke. Das Signal muss den Bereitschaftspegel zuerst mit der gewählten Steigung schneiden, um den Trigger in den Bereitschaftsmodus zu versetzen. Der Digitizer triggert dann erst, wenn das Signal anschließend den Triggerpegel mit derselben Steigung schneidet. Die Re-arm-Triggermodi können dazu verwendet werden, den Digitizer daran zu hindern, an den falschen Flanken verrauschter Signale zu triggern.

▶ **Product Note**

Fenstertrigger nutzen zwei Triggerschwellen je Triggerquelle zur Definition eines Amplitudenfensters. Es gibt zwei Betriebsmodi für den Fenstertrigger: Triggern beim Betreten des Fensters und Triggern beim Verlassen des Fensters. Beim Betreten erfolgt das Triggern, sobald das Quellensignal einen der Schwellenwerte schneidet und in das Fenster eintritt; beim Verlassen erfolgt das Triggern, sobald das Quellensignal zwischen den beiden Triggerschwellen liegt und anschließend das Fenster verlässt. Fenstertrigger werden verwendet, wenn das Quellensignal seinen Status in beide Richtungen ändern kann.

Bei Verwendung eines Triggermodus mit mehreren Quellen und integrierter Triggerlogik ist es häufig erforderlich, einen Kanal für die Erzeugung einer Trigger-Freigabe zu verwenden, um einen Trigger von einem anderen Kanal zu ermöglichen. Dies kann durch Auswahl eines der Pegelmodi „**High Pegel, Low Pegel, innerhalb Fenster oder außerhalb Fenster**“ erfolgen. Diese Triggermodi erzeugen ein internes Torsignal, das zusammen mit einer zweiten Triggerquelle und einer AND-Logik zur Ansteuerung des Triggers verwendet werden kann. Abbildung 3 zeigt anhand eines Beispiels, wie man den High-Pegel-Trigger zur Ansteuerung einer Triggerquelle auf einem anderen Kanal verwenden kann.

Immer dann, wenn die Sinuskurve auf Kanal CH0 den Triggerpegel überschreitet, wird eine positive Steuerspannung erzeugt, solange der Wert dieses Signals über der Schwelle liegt. Diese Steuerspannung (Torsignal) wird in einer AND-Schaltung mit dem Signal auf Kanal CH1 verknüpft. Da das Torsignal nur solange positiv ist, wie der Impuls mit niedriger Amplitude auf Kanal CH1 vorliegt, triggert der Digitizer, wenn die Impulswellenform den in der Abbildung als horizontale, rote unterbrochene Linie dargestellten Triggerpegel schneidet.

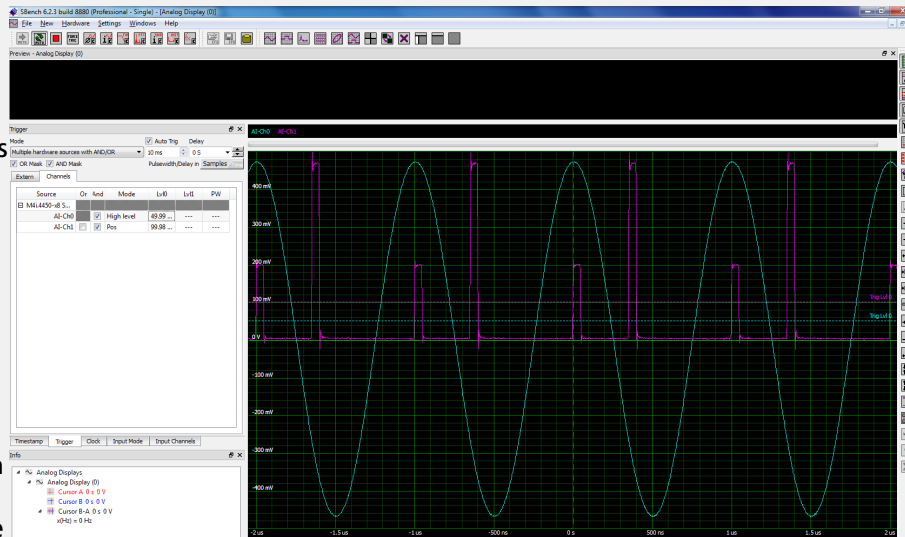
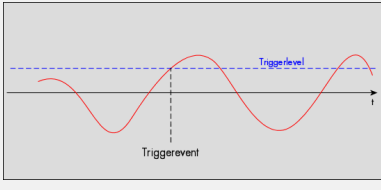
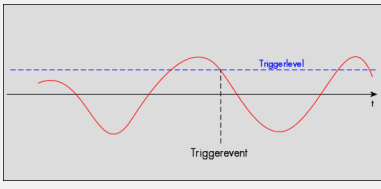
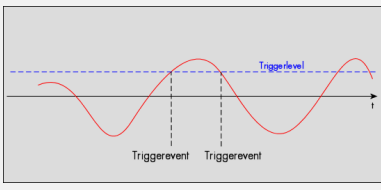
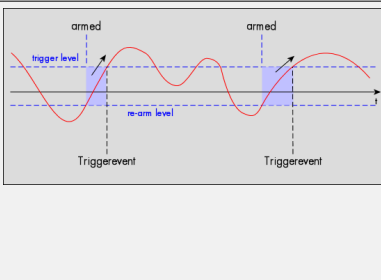
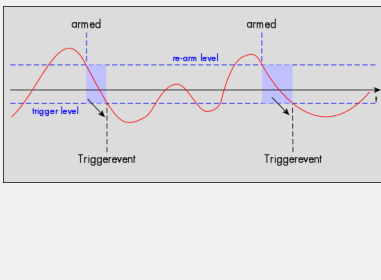
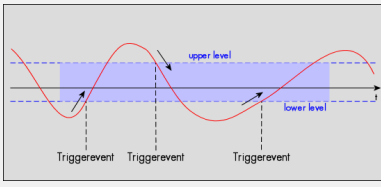


Abbildung 3: Verwendung des High-Pegeltriggers auf CH0 zur Erzeugung eines Torsignals für die Auswahl des niedrigeren der beiden Impulse auf dem Kanal CH1. Der High-Pegeltrigger erzeugt ein Torsignal, das solange positiv ist, wie die Triggerquelle oberhalb des Triggerpegels liegt (Trig Lvl 0). Dieses Tor wird in einer AND-Schaltung mit der Impulswellenform auf CH1 verknüpft, wodurch der Digitizer beim Impuls mit der niedrigeren Amplitude triggern kann.

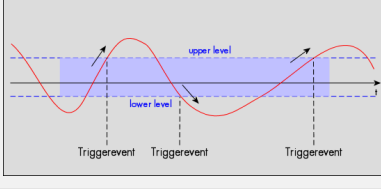
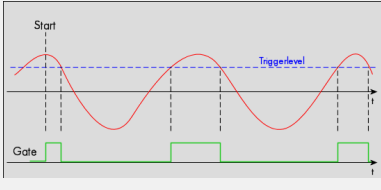
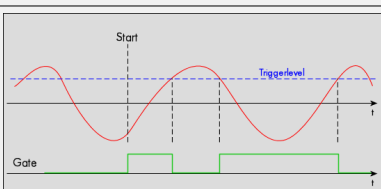
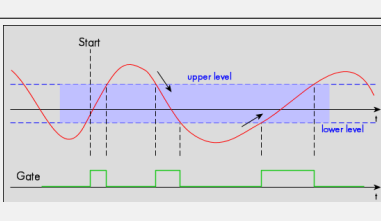
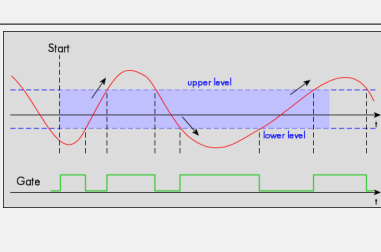
► **Product Note**

Tabellarische Zusammenfassung der M4i Triggermodi

Tabelle 1 enthält eine Liste aller bei Digitizern der Serie M4i von Spectrum verfügbaren Triggermodi.

Modus Beschreibung	Diagramm
<p>Trigger mit positiver Flanke</p> <p>Es kommt zum Triggerereignis, wenn das Triggerquellensignal von einem niedrigen Wert auf höhere Werte ansteigt (positive Steigung oder ansteigende Flanke) und dabei den zuvor festgelegten Triggerpegel schneidet.</p>	
<p>Trigger mit negativer Flanke</p> <p>Es kommt zum Triggerereignis, wenn das Triggerquellensignal von einem höheren Wert auf niedrigere Werte abfällt (negative Steigung oder abfallende Flanke) und dabei den zuvor festgelegten Triggerpegel schneidet.</p>	
<p>Trigger mit doppelter Flanke</p> <p>Es kommt zum Triggerereignis, wenn der programmierte Triggerpegel vom Triggerquellensignal mit ansteigender oder abfallender Flanke geschnitten wird.</p>	
<p>Re-arm- bzw. Hysterese-Trigger bei positiver Flanke</p> <p>Der Triggerkreis wechselt in den Bereitschaftsmodus, wenn das Quellensignal den Re-arm-Pegel mit positiver Steigung schneidet. Wird der programmierte Triggerpegel nach dem Wechsel in den Bereitschaftsmodus vom Quellensignal mit ansteigender Flanke geschnitten, wird das Triggersignal erzeugt, und die Triggerschaltung verlässt den Bereitschaftsmodus. Ein neues Triggerereignis wird erst erkannt, nachdem die Triggerschaltung wieder in den Bereitschaftsmodus gewechselt ist.</p>	
<p>Re-arm- bzw. Hysterese-Trigger bei negativer Flanke</p> <p>Der Triggerkreis wechselt in den Bereitschaftsmodus, wenn das Quellensignal den Re-arm-Pegel mit negativer Steigung schneidet. Wird der programmierte Triggerpegel nach dem Wechsel in den Bereitschaftsmodus vom Quellensignal mit abfallender Flanke geschnitten, wird das Triggersignal erzeugt, und die Triggerschaltung verlässt den Bereitschaftsmodus. Ein neues Triggerereignis wird erst erkannt, nachdem die Triggerschaltung wieder in den Bereitschaftsmodus gewechselt ist.</p>	
<p>Kanal-Fenstertrigger für eintretende Signale</p> <p>Der obere und untere Pegel definieren ein Amplitudenfenster. Jedes Mal, wenn das Quellensignal in das Fenster eintritt, wird ein Triggersignal erzeugt.</p>	

► **Product Note**

Modus Beschreibung	Diagramm
<p>Kanal-Fenstertrigger für verlassende Signale</p> <p>Der obere und untere Pegel definieren ein Amplitudenfenster. Jedes Mal, wenn das Signal das Fenster verlässt, wird ein Triggersignal erzeugt.</p>	
<p>High-Pochpegeltrigger</p> <p>In diesem Modus wird ein internes Torsignal erzeugt, das zusammen mit einem zweiten Triggermodus zur Ansteuerung des Triggers verwendet werden kann. Bei Verwendung dieses Modus mit einer einzigen Triggerquelle triggert die Karte nur dann, wenn das Quellensignal den Triggerpegel überschreitet, sich also wie ein Triggersignal mit positiver Flanke verhält.</p>	
<p>low-Pegeltrigger</p> <p>In diesem Modus wird ein internes Torsignal erzeugt, das zusammen mit einem zweiten Triggermodus zur Ansteuerung des Triggers verwendet werden kann. Bei Verwendung dieses Modus mit einer einzigen Triggerquelle triggert die Karte nur dann, wenn das Quellensignal den Triggerpegel unterschreitet, sich also wie ein Triggersignal mit negativer Flanke verhält.</p>	
<p>Trigger innerhalb Fenster</p> <p>In diesem Triggermodus wird ein internes Torsignal erzeugt, das zusammen mit einem zweiten Triggermodus zur Ansteuerung des Triggers verwendet werden kann. Bei Verwendung dieses Modus als einzige Triggerquelle triggert die Karte nur bei Eintritt in das Fenster mit Definition durch zwei Triggerpegel, wenn sich also das Signal wie ein Trigger zum Eintritt in das Fenster verhält.</p>	
<p>Trigger außerhalb Fenster</p> <p>In diesem Triggermodus wird ein internes Torsignal erzeugt, das zusammen mit einem zweiten Triggermodus zur Ansteuerung des Triggers verwendet werden kann. Bei Verwendung dieses Modus als einzige Triggerquelle triggert die Karte nur bei Austritt aus dem Fenster mit Definition durch zwei Triggerpegel, wenn sich also das Signal wie ein Trigger zum Austritt aus dem Fenster verhält.</p>	

Triggerlogik

In dem Beispiel in Abbildung 3 ist eine mögliche Verwendung der verfügbaren Triggerlogik bei mehreren Triggerquellen dargestellt. Sowohl AND- als auch OR-Logikelemente werden unterstützt. Die am OR-Logikelement ankommenden Eingangssignale können von allen Kanälen stammen, externe Triggersignale oder das Ergebnis der Funktionen 'Softwaretrigger' oder 'Trigger

© Spectrum GmbH, Germany

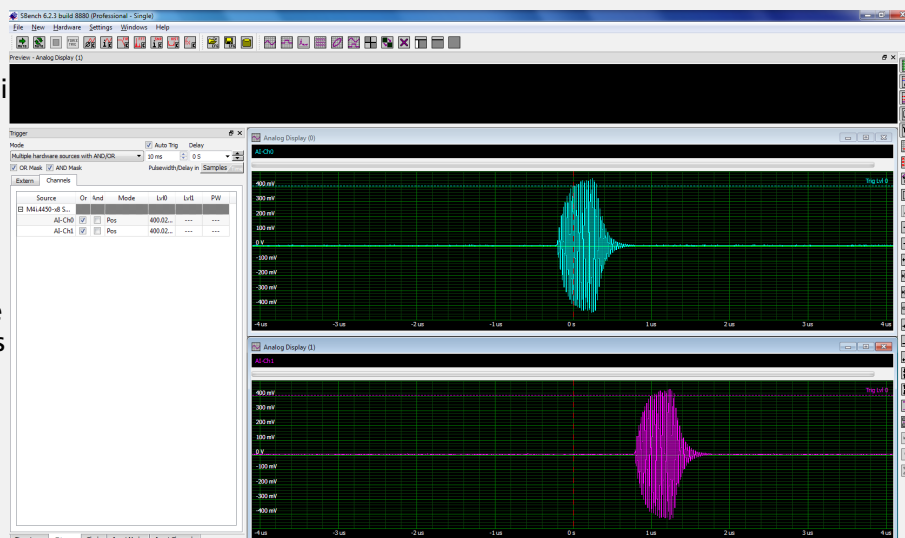


Abbildung 4: Verwendung der OR-Triggerlogik zum Triggern auf dem Kanal, auf dem der früheste RF-Impuls auftritt

▶ Product Note

erzwingen' sein. Die logische OR-Funktion ermöglicht das Triggern des Digitizers durch das Signal jeder dieser Triggerquellen. Die am AND-Logikelement ankommenden Signale können von allen Kanälen stammen, externe Triggersignale oder das Ergebnis der Funktion 'Trigger aktivieren' sein. Die AND-Funktion erfordert, dass alle ausgewählten Triggersignale gleichzeitig erkannt werden, um einen Digitizer-Trigger zu initiieren. Berücksichtigt man, dass die Triggermodi zum Ansteuern wie High-Pegel und Low-Pegel die Möglichkeit bieten, Eingänge logisch zu invertieren, können andere Logiken wie NAND und NOR realisiert werden.

In Abbildung 4 ist ein Beispiel einer Funkortungsanwendung zu sehen, bei der eine OR-Triggerlogik zum Einsatz kommt. Jeder der Eingangskanäle ist mit einem Sensor verbunden. Die Richtung zur Quelle wird durch die Ankunftszeit des emittierten Impulses an jedem Sensor bestimmt.

Über die Ortung der Quelle wird bestimmt, an welcher Quelle das Signal zuerst sichtbar ist. Die OR-Triggerlogik erlaubt dem Kanal mit dem frühesten Impuls, den Digitizer zu triggern. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass beide Sensorausgänge erfasst werden.



Abbildung 5: Ein weiteres Beispiel für die Verwendung der AND-Triggerfunktion bei invertiertem Logikelement (Low-Pegelmodus auf Ch0). Der Trigger erfolgt, wenn ein ausbleibender Impuls auf Kanal Ch0 im Abgleich mit der Impulsfolge auf Ch1 festgestellt wird.

Ein weiteres Beispiel für einen Trigger mit mehreren Quellen ist in Abbildung 5 zu sehen. Hier werden zwei Taktsignale verglichen. Der Trigger mit niedrigem Impuls wird auf Kanal Ch0 eingerichtet, wodurch ein positives Torsignal erzeugt wird, sobald die Amplitude dieses Kanals unter den Triggerpegel fällt. Kanal Ch1 triggert an der positiven Flanke. Beide Triggerquellen sind über eine AND-Schaltung verbunden. Daher kommt es zu einem Triggerereignis, wenn auf Ch0 ein Impuls ausbleibt. Der fehlende Impuls in Abbildung 5 taucht zum Triggerzeitpunkt (time=0) auf.

Weitere Triggerfunktionen

Es gibt zwei weitere erwähnenswerte Triggerfunktionen. Die erste ist die Trigger-Verzögerung, die dem letzten Element im Trigger-Blockschaltbild in Abbildung 2 entspricht. Diese Funktion verwendet einen 33-Bit-Zähler und ermöglicht es dem Benutzer bei den in diesem Artikel verwendeten 14- und 16-Bit-Digitizern der Serie M4i, das Triggerereignis um bis zu (8 GSample - 16) Abtasttakte zu verzögern in Schritten von 16 Abtasttakte. Wird der Standardwert Null der Verzögerung geändert, ändert sich der Triggerpunkt auf der horizontalen Achse von Null in den eingegebenen Verzögerungswert.

Die zweite Funktion besteht im externen Triggerausgang und den Triggerstatusausgängen. Diese Funktionen eignen sich für die Synchronisation mehrerer Geräte. Triggerausgang-, ARM- und RUN-Status stehen über die mehrfach nutzbaren E/A-Kanäle gemäß

▶ Product Note

Blockschaltbild in Abbildung 2 weiter oben zur Verfügung.

Synchronisation

Theoretisch gibt es zwei Aspekte beim Synchronisieren von Geräten. Der erste besteht darin, einen gemeinsamen Trigger einzurichten. Der zweite besteht darin, beide Geräte mit einem synchronisierten Takt zu betreiben. Auch wenn dies sehr einfach erscheint, können Probleme beim Versuch, mehrere Digitizer zu synchronisieren, auftreten.

Der Takt kann mithilfe eines externen Taktgebers mit der gewünschten Taktfrequenz synchronisiert werden. Eine zweite Methode besteht darin, eine externe Referenz, beispielsweise 10 MHz, bereitzustellen. Diese wird dann in eine Phasenregelschleife (PLL) eingespeist, die zur Multiplizierung der Frequenz des Referenztakts bis zur gewünschten Taktfrequenz verwendet wird. Die Digitizer der Serie M4i von Spectrum verarbeiten beide Arten von externen Takten über einen gemeinsamen externen Takteingang. Der externe Takteingang wird mit einer internen PLL verbunden. Der Benutzer stellt anschließend entweder die Multiplizierung eines Referenztakts oder die Phasenregelung auf den externen Takt ein und leitet den Takt ohne Frequenzänderung weiter. Dadurch wird zwar die richtige Frequenz für den Takt sichergestellt, jedoch ist dadurch nicht garantiert, dass der Takt in jedem Digitizer dieselbe Phase aufweist.

Beim Synchronisationsprozess müssen wir Trigger-seitig berücksichtigen, dass der externe Triggereingang jedes Digitizers einen separaten Komparator zur Erkennung des Triggerpegeldurchgangs verwendet. Kleine Unterschiede beim Referenzpegel und Unterschiede bei Einrichtung und Haltezeiten können zu diskreten Änderungen bei der zeitlichen Triggerpunktanordnung, einer Art Trigger-Jitter, führen.

Die einzige Möglichkeit, eine präzise Synchronisation mehrerer Digitizer sicherzustellen, besteht in der Verteilung des Taktsignals auf alle Module und in der Synchronisation des Triggerereignisses mit dem Systemtakt. Bei Digitizern von Spectrum lässt sich dies mithilfe des optionalen Star-Hub-Moduls erreichen.

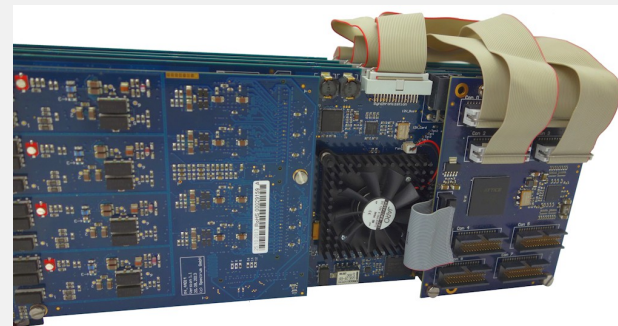


Abbildung 6: Optionales Star-Hub-Modul bei der Synchronisation von vier Digitizern. Das Modul fungiert als Hub in Sternschaltung für Takt- und Triggersignale.

Synchronisation mehrerer Digitizer

Der in den angegebenen Beispielen verwendete Digitizer der Serie M4i von Spectrum verfügt auch über die optionale Synchronisationsfunktion namens Star-Hub (Abbildung 6). Das Star-Hub-Modul ermöglicht die Synchronisation von bis zu 8 Karten derselben Familie.

Das Modul fungiert als Hub in Sternschaltung für Takt- und Triggersignale. Der Digitizer mit diesem Modul fungiert als Master für das Taktsignal, und diese Karte oder irgendeine andere Karte kann der Master für das Triggersignal sein. Sämtliche Triggermodi, die auf der Master-Karte zur Verfügung stehen, stehen bei Verwendung des Star-Hub-Moduls ebenfalls zur Verfügung. Sie erweitert zudem die AND/OR-Triggerlogik und ermöglicht somit die Berücksichtigung von Eingangssignalen aller angeschlossenen Digitizer. Der Star-Hub synchronisiert auch verschiedene Einstellungen für Pre-Trigger, Speicherplatzgröße und Post-Trigger unter den Digitizern durch Synchronisation deren ARM-Signale. Der Star Hub stellt daher die bevorzugte Methode für das Synchronisieren mehrerer Digitizer dar.



▶ Product Note

Zusammenfassung

Digitizer erfordern ein Triggersignal, um die Aufzeichnung auf einen bekannten Zeitpunkt beziehen zu können. Mehrere Triggerquellen und -modi erleichtern die Auswahl des gewünschten Triggerpunkts. Außerdem ermöglicht die Synchronisation der Zeitbasis über den Star Hub die Kopplung mehrerer Geräte, wodurch viele Aufzeichnungskanäle zur Verfügung stehen.

Digitizer mit intelligenten Trigger-Engines ermöglichen das Triggern bei und Aufzeichnen von unterschiedlichsten komplexen Signalen. Diese Funktion wird bei Kombination mit innovativen Aufzeichnungsmodi wie Ring-Buffer, FIFO, Multiple Recording und Gated Sampling mit Zeitstempeln zur Markierung von Triggerereignissen noch erweitert. Für weitere Informationen zur Verwendung der Aufzeichnungsmodi siehe den Artikel mit dem Titel „Verwendung von Aufzeichnungsmodi modularer Digitizer“ (<http://spectrum-instrumentation.com/en/applications/using-modular-digitizer-acquisition-modes>).

Autoren:

Arthur Pini unabhängiger Berater

Greg Tate Asian Business Manager, Spectrum GmbH

Oliver Rovini Technical Manager, Spectrum GmbH