

► Application Note

Vermeidung gängiger Digitizer Setup Fehler

Sobald mit modularen Digitizern oder Oszilloskopen Messungen gemacht werden sollen ist es wichtig verschiedene potentielle Fehlerquellen zu beachten, die in ungültigen Daten oder verlorener Zeit resultieren können. Dazu gehören Aliasing, unzureichende Amplitudenauflösung, falsche Eingangsbereiche, unpassende Kopplung oder Terminierung, schlechte Triggereinstellungen sowie das Aufsammeln von Rauschkomponenten und Störsignalen. Dieser Artikel behandelt jede dieser Fehlerquellen und zeigt, wie man sie vermeidet.

Aliasing, der Fluch abtastender Geräte.

Seit der Erfindung von abtastender Datenerfassung ist Aliasing durch die Unter-Abtastung von Eingangssignalen ein wiederkehrendes Problem. Abtastende Geräte wie Digitizer oder Digitalspeicher-oszilloskope benötigen, so lehrt das Abtasttheorem, eine Abtastrate, die mindestens doppelt so hoch ist wie die größte im Eingangssignal vorkommende Frequenzkomponente. Wenn dieses Kriterium nicht eingehalten wird, so kann es zu Aliasing kommen. Aktuelle Digitizer bieten in der Regel maximale Abtastraten, die deutlich höher als die Analogbandbreite ist. In Kombination mit großem Aufzeichnungsspeicher wird so dieses klassische Problem minimiert. Trotzdem sollte dem Benutzer die Problematik bewusst sein, besonders wenn die Abtastrate auf kleinere Werte eingestellt wird.

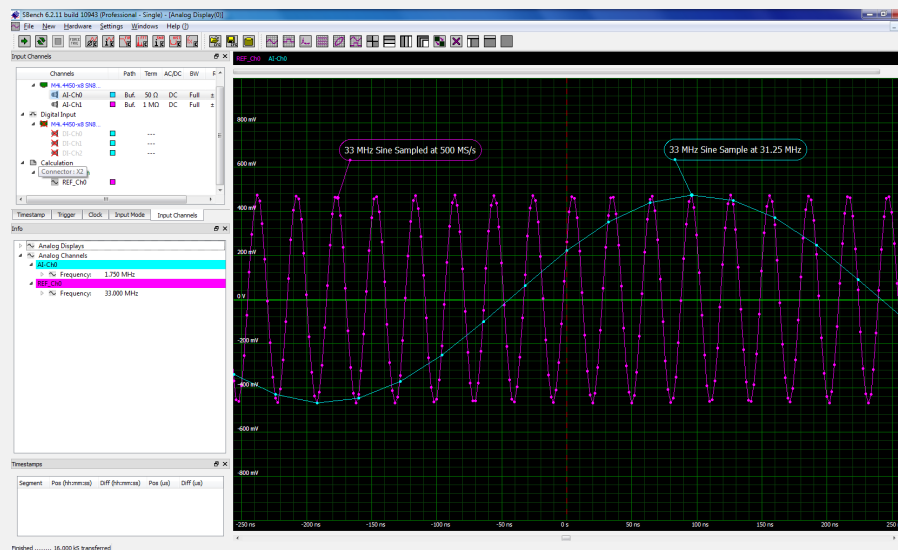


Abbildung 1: Ein 33 MHz Sinussignal abgetastet mit 500 MS/s und mit 31.25 MS/s. Durch Aliasing misst man hier fälschlich eine Signalfrequenz von 1.75 MHz.

Abtastende Datensysteme tasten das Eingangssignal ab und speichern die resultierenden numerischen Werte. Wenn die Abtastrate dem Abtasttheorem folgt, kann das Signal ohne Informationsverlust rekonstruiert werden. Bei Verletzung dieser Grenze, wie es in Abbildung 1 bei Aufzeichnung mit einem 500 MS/s 14 Bit Digitizer M4i.4450-x8 zu sehen ist, ergibt die Rekonstruktion eine Wellenform mit niedriger Frequenz.

► Application Note

Aliasing im Frequenzbereich

Der gleiche Effekt kann in Abbildung 2 im Frequenzbereich gesehen werden.

Das Eingangssignal ist ein bis 2.66 MHz gesweepter Sinus. Durch die Abtastung wird das Basisbandsignal (0 bis 2.66 MHz) mit den Vielfachen der Abtastrate dupliziert. Im oberen Graph sehen wir daher bei einer Abtastrate von 15.6 MS/s das Basisbandsignal auf der linken Seite. Der komplette Basisbandbereich wird links und rechts der markierten Abtastrate als Seitenbändern dupliziert. Verringert man die Abtastrate auf 6.2 MHz wie im mittleren Graphen zu sehen so nähert sich das untere Seitenband dem Basisband. Im untersten Graphen schließlich in dem die Abtastrate auf das Minimum des Abtasttheorems von 5.2 MS/s verringert wurde interferiert das Seitenband bereits mit dem Basisband was das Auftreten von Aliasing signalisiert.

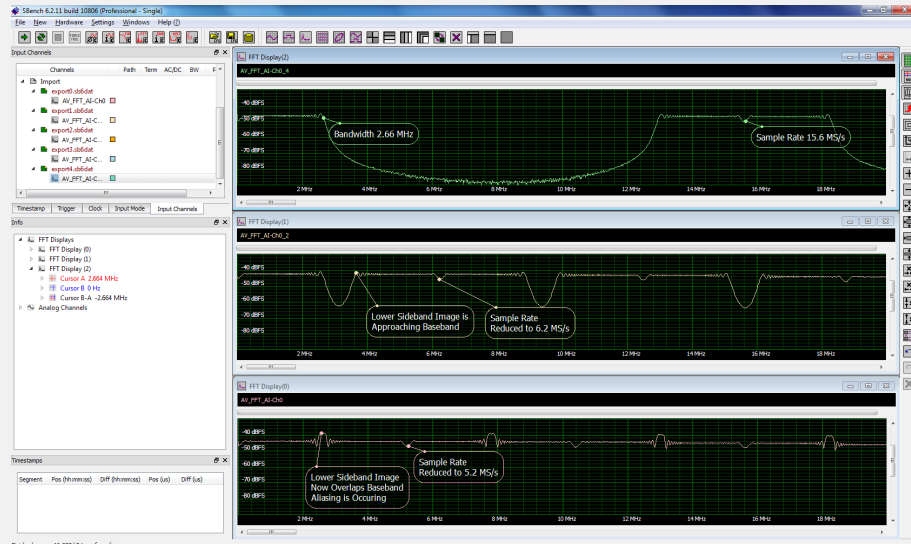


Abbildung 2: Aliasing ist im Frequenzbereich an der Interferenz zwischen dem unteren Seitenband und dem Basisband erkennbar.

Aliasing erkennen

Das Resultat von Aliasing ist generell eine Wellenform mit einer kleineren Frequenz als das Originalsignal. Daher ist man gut beraten, wenn man die Frequenz des Signals kennt und mit dem aufgenommenen Ergebnis vergleichen kann. Machbar ist dies indem unbekannte Signale zuerst mit der höchstmöglichen Abtastrate untersucht werden und erst dann die Abtastrate reduziert wird. Sieht man eine Frequenzänderung des Eingangssignals bei veränderter Abtastrate so ist man im Aliasing angekommen.

Unzureichende Amplitudenauflösung

Digitizer setzen ein analoges Signal in digitale Werte um mit Hilfe eines A/D Wandlers (ADC). Die Auflösung des ADC ist die Anzahl Bits, die für die Digitalisierung des Eingangswertes benutzt werden. Bei einem n-Bit ADC ist die Anzahl der diskreten Digitallevel daher 2^n . Ein 12 Bit Digitizer kann also 2^{12} oder 4096 Level annehmen. Das LSB (least significant bit) repräsentiert das kleinste Intervall, das aufgelöst werden kann und beträgt in unserem Beispiel $1/4096$ oder 2×10^{-4} . Um diesen Wert in eine Spannung umzurechnen multipliziert man ihn mit dem Eingangsbereich von Peak zu Peak.

Die Auflösung bestimmt die Genauigkeit der Messung. Je größer die Auflösung desto präziser das Messergebnis. Ein 8 Bit Digitizer wie Spectrums M4i.2210-x8 mit 1.25 GS/s teilt den vertikalen Eingangsbereich in 256 diskrete Schritte. Bei einem Eingangsbereich von 1 V kann der ADC daher auch idealerweise minimal 3.92 mV auflösen während eine 16 Bit Digitizer wie Spectrums M4i.4420-x8 mit 250 MS/s hier 65536 diskrete Schritte hat und den gleichen Eingangsbereich im Idealfall mit 15 μ V auflösen kann.

► Application Note

Hochauflösenden Digitizer werden benutzt um kleinpegelige Signale aufzuzeichnen. Nun könnte man, basierend auf den vorherigen Berechnungen, einfach ein Gerät mit geringerer Auflösung und gleichzeitig einem kleineren Eingangsbereich nutzen. Dem entgegen steht die Tatsache, dass viele Signale sowohl Anteile mit hohem Pegel als auch Anteile mit niedrigem Pegel enthalten. Hierfür ist ein hochauflösender Digitizer mit großem Dynamikbereich notwendig um gleichzeitig beide Komponenten sicher erfassen zu können. Abbildung 3 zeigt anhand eines gedämpften Sinuswelle bis ± 200 mV wie ein solches Signal aufgezeichnet wird bei verschiedenen Auflösungen von 12, 14 und 16 Bit.

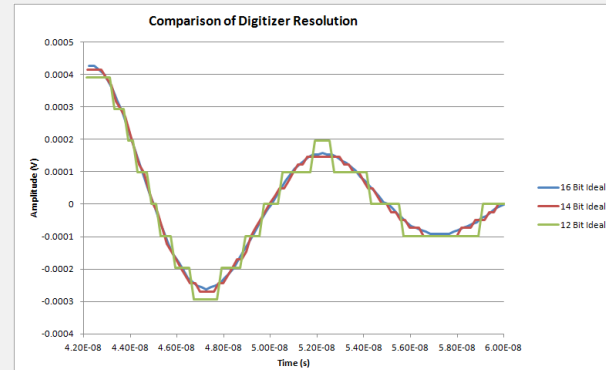


Abbildung 3: Vergleich zwischen Digitizerauflösung und Messgenauigkeit.

Das ausgewählte Segment ist nahe dem Ende des Signals und hat eine sehr kleine Amplitude. Die 14 und 16 Bit Digitizer haben immer noch eine ausreichende Auflösung für die akkurate Darstellung des Signals aber der 12 Bit Digitizer mit einer Schrittweite von $100 \mu\text{V}$ beim Eingangsbereich von ± 200 mV kann Signallevel unterhalb dieser $100 \mu\text{V}$ nicht mehr darstellen. Der Lesefehler wird dabei mit abnehmender Signalamplitude stärker unabhängig von der Auflösung. Bei der dargestellten Auflösung sind Rauschteile, die bei echten Anwendungen die Messgenauigkeit nochmal deutlich verschlechtern, ignoriert.

Nachfolgende Signalverarbeitung wie Filterung oder Mittlung kann die Auflösung verbessern. Trotzdem ist es wichtig die Anforderungen an den Dynamikbereich zu untersuchen und den Digitizer passend dazu auszuwählen.

Auswahl des passenden Eingangsbereichs

Qualitativ hochwertige Digitizer bieten eine breite Auswahl an Eingangsspannungsbereichen um sich an verschiedene Messszenarien anzupassen. Als generelle Regel zur Auswahl des Eingangsbereichs gilt es, den Eingangsbereich so zu wählen, dass das maximale Eingangssignal einen möglichst großen, idealerweise 90 bis 95%, Anteil des Eingangsbereichs überdeckt. Hiermit wird der Dynamikbereich und der Signal-Rausch-Abstand optimiert.

Ein gängiges Problem ist die Auswahl eines unpassenden Eingangsbereichs wie ein ± 5 V Bereich für ein ± 2 V Signal wie in Abbildung 4.

► Application Note

Das Eingangssignal ist ein gedämpfter Sinus mit einer Amplitude von ± 2 Volt. Es wird mit verschiedenen Eingangsbereichen von ± 2 , ± 5 und ± 10 Volt aufgezeichnet. In der rechten Graphik sieht man in einem kleinen Ausschnitt die verschiedenen Rauschteile bei niedrigem Pegel. So hat der ± 2 Volt Bereich (rot) ein deutlich geringeres Rauschen als die ± 5 Volt (gelb) und ± 10 Volt (blau) Bereiche.

Ein grundlegendes Problem tritt bei der Nutzung von Abschwächern wie 10:1 Tastköpfen auf: Das Eigenrauschen des Instruments skaliert linear mit dem Abschwächer. So werden aus einem

Eigenrauschen des Digitizers von $58 \mu\text{V}$ durch den Einsatz eines 10:1 Abschwächers $580 \mu\text{V}$. Der relative Rauschanteil bleibt derselbe wohingegen bei Signalpegeln die deutlich kleiner als der Eingangsbereich sind (als Beispiel ein 5 V Signal in einem 10 V Bereich) der Dynamikbereich um 6 dB abnimmt und der Signal-Rausch-Abstand sich verschlechtert.

Problematisch ist auch die Wahl eines Eingangsbereichs, der zu klein ist. Wenn das Signal den eingestellten Bereich übersteigt so wird es abgeschnitten. Wird sogar der maximal erlaubte Spannungspegel überschritten so kann es zu einer Beschädigung des Digitizers kommen. In den abgeschnittenen Bereichen gehen Informationen verloren und Signalverarbeitung wie z.B. die FFT oder Filterung kommen zu unkorrekten Ergebnissen.

Genauso können Teile des Signals, die sich eigentlich innerhalb des erlaubten Bereichs befinden, durch die Erholungsphasen des ADCs gestört werden. Wenn bewusst ein zu kleiner Eingangsbereich gewählt wird um kleine Signalanteile besser sehen zu können so muss untersucht werden, ob es durch die Überlastung zu Verzerrungen wie in Abbildung 5 kommt.

Das Testsignal ist ein 1 Volt Rechteck mit überlagertem 50 mV Sinus. Bei Nutzung des ± 200 mV Bereichs (Überlastung 5:1) ist das Signal etwa 8 ns verschoben und braucht volle 70 ns um sich von der Überlastung vollständig zu erholen. In dieser Zeitspanne ist das Signal deutlich verzerrt und entspricht nicht der Realität.

Anhand dieses Beispiels kann man sehr gut die Vorteile eines hochauflösenden Digitizers mit passendem Eingangsbereich und großem Dynamikbereich gegenüber einer gewollten Überlastung des Eingangsbereichs sehen.

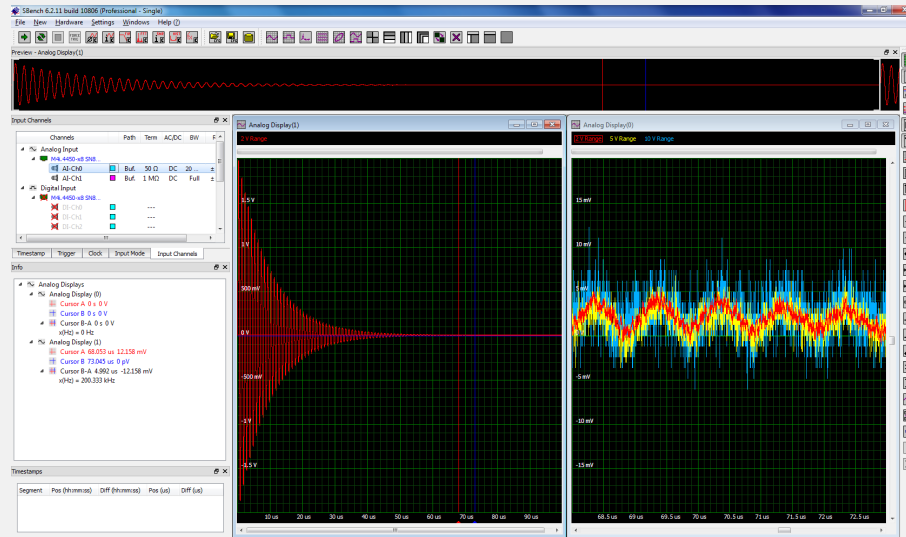


Abbildung 4: Aufzeichnung des gleichen gedämpften Sinussignals mit ± 2 Volt Pegel mit verschiedenen Eingangsbereichen von ± 2 V (rot), ± 5 V (gelb) und ± 10 V (blau). Links das komplette Signal, rechts ein Ausschnitt bei kleinem Pegel.

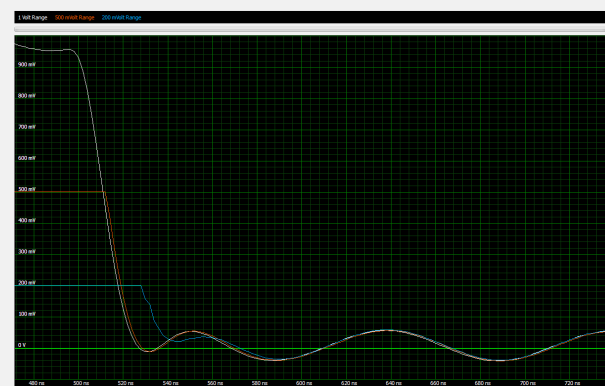


Abbildung 5: Die Effekte verschieden starker Überlastungen des Eingangsbereichs und die unterschiedlichen langen Erholungsphasen: keine Überlastung (weiß), Überlastung 2:1 (rot) mit kurzer Erholungsphase, Überlastung 5:1 (blau) mit längerer Erholungsphase.

► **Application Note**

Unpassende Eingangskopplung

Manche Digitizer wie Spectrums M4i Serie bieten die Möglichkeit das Eingangssignal mit DC oder AC zu koppeln. Bei DC-Kopplung wird das gesamte Signal inklusive etwaiger vorhandener Gleichanteile (DC) aufgezeichnet während bei der AC-Kopplung alle DC-Anteile eliminiert werden. Die AC-Kopplung ist z.B. nützlich für Ripple-Messungen an einem DC-Netzteil. Ohne die AC-Kopplung würde eine große Abschwächung benötigt werden was die Messung des kleinen Ripple-Signals deutlich erschweren würde. Durch die AC-Kopplung kann der Ripple-Anteil mit deutlich höhere Eingangsempfindlichkeit gemessen werden.

Die entscheidende Spezifikation für die AC-Kopplung ist die untere -3 dB Grenzfrequenz. Dies definiert wie weit ein Signal mit niedriger Frequenz abgeschwächt wird. Hiermit verknüpft ist die Erholzeit des Eingangs bei Änderung des DC-Anteils. Generell gilt: je niedriger die untere Grenzfrequenz desto größer der Koppelkondensator und desto länger damit die Erholzeit.

Probleme bei AC-Kopplung treten in der Regel auf, wenn Signale mit Frequenzanteilen unterhalb der unteren Grenzfrequenz gemessen werden. Sichtbar gemacht wird das in Abbildung 6.

Die beiden Eingangssignale sind Rechtecksignale mit einem Gleichanteil. Das linke Signal hat eine Frequenz von 2 kHz und das rechte 1 MHz. Beide Signale werden in einen M4i.4450-x8 500 MS/s 14 Bit Digitizer mit einer unteren Grenzfrequenz von 30 kHz bei AC-Kopplung und 50 Ω Terminierung eingespeist.

Beim 1 MHz Signal wird der DC-Anteil sauber entfernt während es beim 2 kHz Signal dadurch dass die Frequenz unter der Grenzfrequenz liegt zu einer Differenzierung kommt. Nur die höheren Signalanteile passieren die AC-Kopplung und somit sind nur die Flanken sichtbar. Besser passend ist hier die Terminierung mit 1 Megaohm ($M\Omega$) da hier die untere Grenzfrequenz nur 2 Hz beträgt und mehr langsame Signale durchgelassen werden.

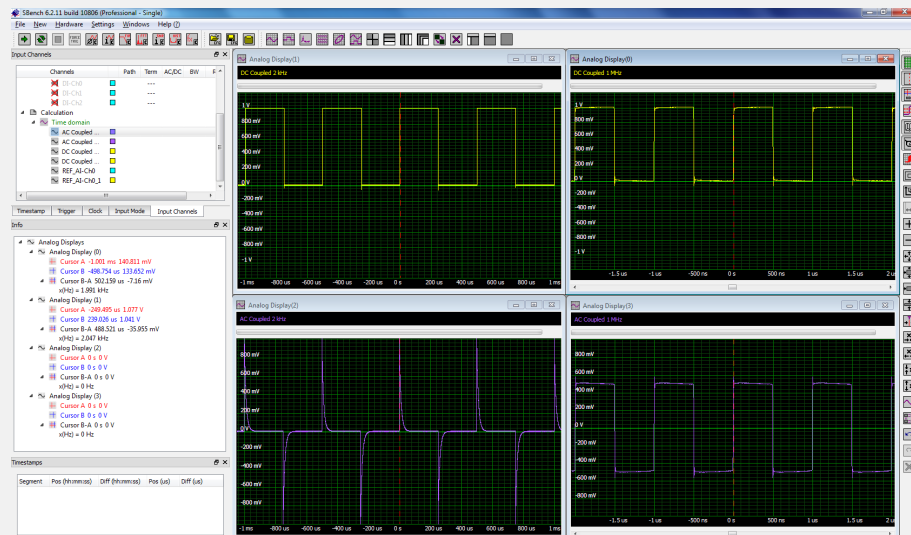


Abbildung 6: Die AC-Kopplung beeinflusst ungewollt Signale deren Frequenzanteile unterhalb der Grenzfrequenz der Kopplung liegen wie hier das 2 kHz Signal links im Gegensatz zu dem unbeeinflussten 1 MHz Signal rechts.

Unpassende Eingangsterminierung

Ein Messinstrument sollte die Quelle adäquat abschließen. Für die meisten Messungen im RF (Radio Frequency) Bereich ist eine 50 Ω Terminierung passend. Eine passende Terminierung minimiert Signalverluste durch Reflektionen. Der beschreibenden Spezifikationen dafür sind Return-Loss oder Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). Jede dieser Spezifikationen beschreibt wie gut die Impedanzanpassung zwischen Quelle und Digitizer passen.

► Application Note

Hat die Quelle eine hohe Ausgangsimpedanz so passt die Eingasterminierung von $1\text{ M}\Omega$ deutlich besser da dadurch die Belastung der Quelle verhindert wird. Ebenso erlaubt diese Terminierung den direkten Einsatz von hochohmigen Tastköpfen.

Eine Impedanzanpassung zu anderen Standards wie $75\ \Omega$ für Video oder $600\ \Omega$ für Audio kann über eine parallele externe Terminierung erreicht werden.

Eine unpassende Terminierung kann zu interessanten Effekten führen wie in Abbildung 7 zu sehen ist.

Die Quelle ist hier ein Arbiträrgenerator (AWG) mit $50\ \Omega$ Ausgangsimpedanz. Bei korrekter Terminierung des Digitizereingangs mit $50\ \Omega$ (gelbes Signal) sieht man eine saubere Stufe von 1 Volt auf 0 Volt. Bei Terminierung mit $1\text{ M}\Omega$ (rotes Signal) verdoppelt sich wie erwartet der Pegel da der Spannungsteiler wegfällt. Zusätzlich erhalten wir nach 32 ns eine Signalreflektion durch die fehlende Impedanzanpassung. Beide Fehler können bei unerfahrenen Messtechnikern leicht in überflüssige Fehlersuche auf Seiten der Quelle führen.

Aus diesem Grund empfiehlt es sich, die Signalquelle auf dem Digitizer passend zu terminieren.

Trigger Einstellungen

Der Trigger ist eine essentielle Funktion für jedes Instrument, das Signale aufzeichnet und digitalisiert. Üblich ist die Verwendung eines der Eingangssignale als Quelle. Ein definierter Punkt im Signal wird detektiert, als Triggerzeitpunkt markiert und dient fortan als zeitlicher Bezugspunkt. Die Funktion des Triggers ist die Verlinkung der Zeitskala zu einem bekannten Punkt im Signal. Für wiederkehrende Signale muss dieser Triggerzeitpunkt stabil sein um verschiedene Messungen zu vergleichen oder weiterzuverarbeiten.

Die große Anzahl von verschiedenen möglichen Signalformen, -pegeln und -timings erfordert eine extrem flexible Triggererkennung. Bei der M4i Serie ist der Haupt-Trigger Eingang mit zwei Pegelvergleichen ausgestattet und unterstützt Einzel – und Doppelflankenerkennung, Re-Arm (Hysterese) Trigger, Fenstertrigger sowie eine Verknüpfung mehrere Triggerquellen. Diese Vielzahl verschiedener Triggermodi und -quellen bedingt eine genau Planung der Triggereinstellungen. Ein häufig zu beobachtender Fehler ist die Nutzung unpassender Triggerpegel und fehlerhafte Einstellungen bei Signalen mit mehreren Triggerereignissen. Um diese zu vereinfachen bietet Spectrum's Software SBench 6 die Möglichkeit die Triggerpegel ins aufgezeichnete Signal einzublenden sowie eine Detailskizze jedes verfügbaren Triggermodus wie in Abbildung 8 gezeigt.

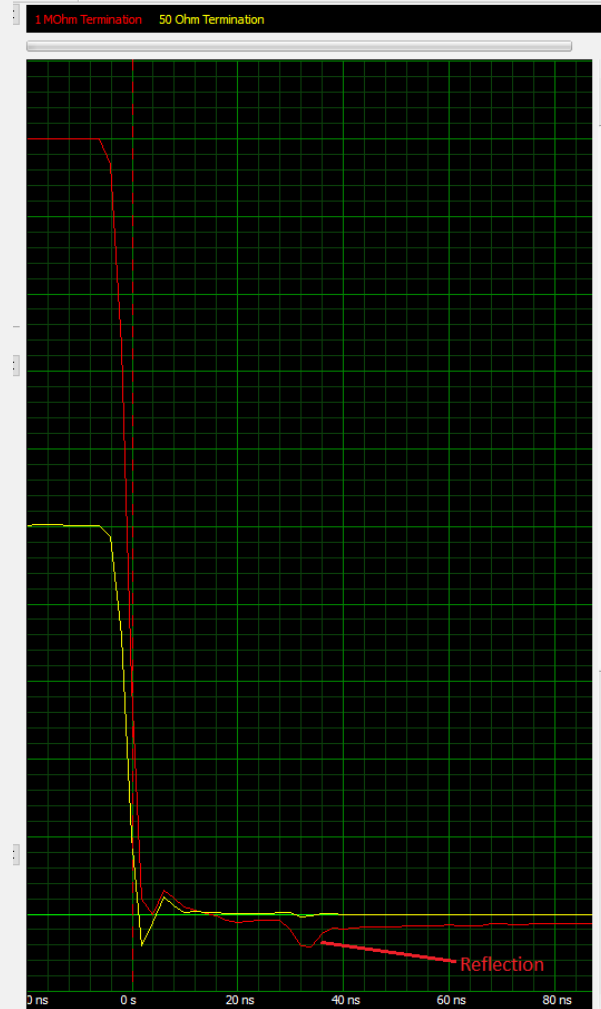


Abbildung 7: Vergleich zweier unterschiedlicher Terminierungen einer $50\ \Omega$ Quelle. Die fehlerhafte $1\text{ M}\Omega$ Terminierung zeigt eine Reflektion.

► Application Note

Ein Blick in das Quellsignal zeigt, welche Triggerpegel gewählt werden sollten. Im Beispiel ist der Hysterese-Trigger die beste Wahl da es sich um ein stark verrauschtes Signal handelt. Das Ziel ist es, auf das eigentliche Signal zu triggern ohne dass die Rausch- effekte zu Fehltriggern führen. Dazu gibt es zwei Triggerpegel, der erste (TrigLvl1) aktiviert die Trigger-erkennung, der zweite (TrigLvl0) löst die Messung des Digitizers aus, sobald das Signal mit positiver Flanke den Level passiert. Dieses Ver- halten wird im angezeigten Erklärungs- fenster dargestellt. Generell dient der Re-Arm-Trigger zur sicheren Triggerung auf verrauschte Signale. Die Differenz zwischen den beiden Pegeln ist dabei die Hysterese, welche größer als die typischen Rauschanteile gewählt werden muss. Bei richtigen Einstellungen ignoriert der Digitizer dann die Rauschanteile zwischen Aktivierungslevel und Auslöselevel.

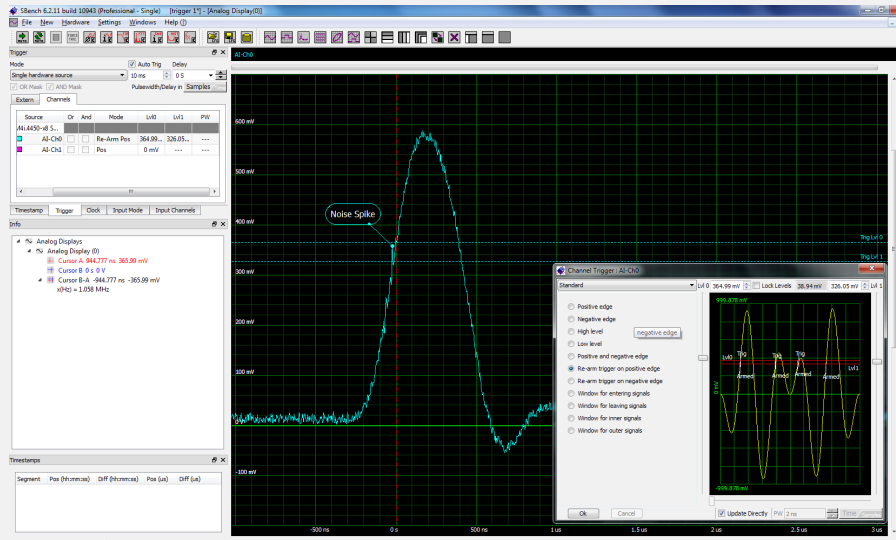


Abbildung 8: Vermeidung von Triggerproblemen durch Anzeige der Triggerpegel sowie eines Triggermoduserklärung in SBench 6.

Die Auswahl des besten Triggermodus für die Anwendung kann einiges an Arbeit erfordern. Ein intensives Studium des Handbuchs und zusätzlicher Application Notes hilft dabei.

Rauschen und Interferenz

Hochauflösende modulare Digitizer sind so konzipiert, dass sie minimale interne Rauschanteile enthalten. Ihren großer Dynamikbereich macht sie anfällig für die Kontaminierung durch externe Rauschquellen oder Interferenz. Interferenzsignale können dabei leitungsgebunden oder eingestrahlt in den Signalpfad gelangen.

Leitungsgebundene Rauschanteile entstehen meistens durch Masseschleifen wo sich zwei oder mehr Schaltungen auf verschiedene Massen beziehen. Korrekte Masseanbindung ist daher für exakte Messungen essentiell. Durch Masseschleifen werden üblicherweise 50/60 Hz sowie die darauf basierten Oberwellen ins System eingeschleift. Diese können manchmal herausgefiltert werden aber die Vermeidung dieser Störungen ist der bessere Weg zur exakten

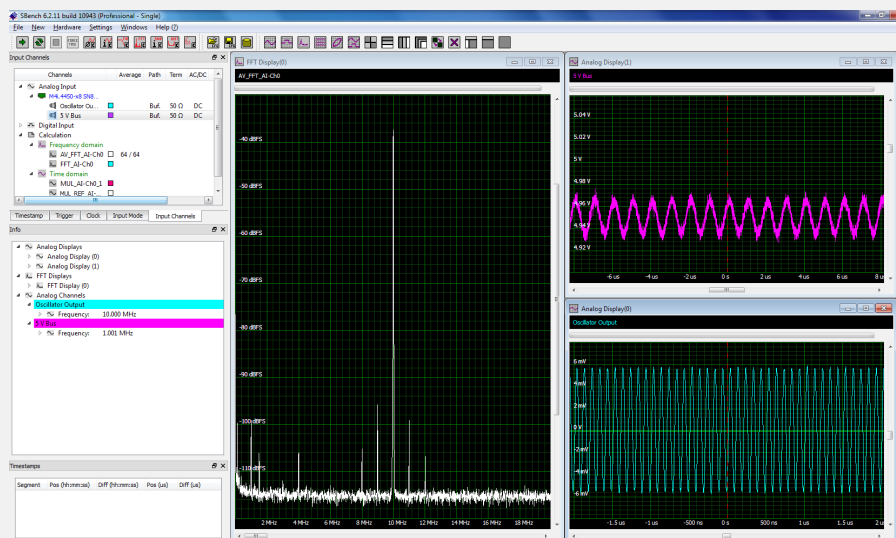


Abbildung 9: Ein 1 MHz Störsignal eingekoppelt über die 5 V Versorgung eines 10 MHz Oszillators.

► Application Note

Messungen. In Abbildung 9 wird der Effekt von eingekoppelten Störspitzen aus einem Schaltnetzteil gezeigt. Ein 10 MHz Oszillatorsignal wird unten rechts dargestellt. Im FFT-Plot links sieht man Seitenbänder in 1 MHz Schritten. Oben rechts wird der Verursacher davon, die 5 V Versorgungsspannung mit dem 40 mV Ripplesignal gezeigt.

Eingestrahlt Rauschen kann kapazitiv, induktiv oder RF-gekoppelt ins Signal gelangen. Interferenz wird direkt von einer Quelle in die Verkabelung des Testaufbaus injiziert. Dabei sind die Effekte der Interferenz von der Einkopplung und dem Schaltungsaufbau abhängig.

Externes Rauschen und Interferenz sind generelle Probleme der Messtechnik und des messtechnischen Aufbaus und nicht auf Digitizer beschränkt.

Es gibt einige Möglichkeiten aufgefangenes Rauschen und Störimpulse in einem Messaufbau zu minimieren:

1. Verwendung von niederohmiger Anbindung (50Ω) wo es möglich ist
2. Verwendung der kleinstmöglichen Bandbreite, die noch zu einer korrekten Messung führt
3. Nutzung geschirmter Kabel, die mit einer rauscharmen Masse verbunden sind, idealerweise am Messgerät
4. Nutzung differentieller Kabel und Digitizer mit differentiellen Eingängen wie Spectrums M2i.49xx 16 Bit 60 MS/s Digitizer für langsame Signale
5. Aussendende Störquellen so weit wie möglich vom Testobjekt entfernt
6. Nutzung magnetischer Schirmung um induktive Einkopplung von Motoren und anderen elektromechanischen Geräten zu minimieren
7. Masseanschluss aller Instrumente an eine gemeinsame, rauscharme Masse
8. Nutzung hochqualitativer verlustarmer Kabel
9. Filterung der Versorgungsspannungen des Testobjekts

Fazit

Dieser Artikel befasst sich mit den häufigsten Fehlerquellen bei der Nutzung von modularen Digitizern und digitalen Speicheroszilloskopen. Weitere Informationsquellen sind die Webseiten der Hersteller und zur Verfügung gestellte technische Dokument.

Autoren

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