

## Grenzen überwinden

# So nutzt man Oszilloskop-Triggerfunktionen zur Fehlersuche

Oszilloskope sind das wichtigste Handwerkzeug, und doch nutzen viele die Triggerung nicht richtig. Zweck dieses Artikels ist es, ein Verständnis für die Grundlagen der Triggerung zu wecken und Methoden zu vermitteln, wie man sie wirksam im Laboralltag einsetzt.

Weil Oszilloskope nur über begrenzte Speicherkapazität verfügen, brauchen sie eine Triggerung. Oszilloskope der Familie Agilent 90000 haben z. B. eine Speichertiefe von 1 Mrd. Samples. Aber selbst mit so viel Speicher braucht das Oszilloskop ein Ereignis, das ihm signalisiert, welche 1 Milliarden Samples es dem Anwender zeigen soll. 1 Mrd. Samples mag viel klingen, aber noch nicht einmal so viel Speicher stellt sicher, dass das interessierende Ereignis im Speicher des Oszilloskops landet.

Man kann sich den Speicher eines Oszilloskops als Endlosschleife vorstellen. Wird ein neues Sample erfasst, wird es in den Speicher geschrieben. Ist der Speicher voll, wird das älteste Sample überschrieben, so dass der Speicher immer nur die neuesten Samples enthält. Trifft das Triggerereignis ein, erfasst das Oszilloskop noch so viele weitere Samples, das das Triggerereignis an der gewünschten Stelle im Speicher steht (normalerweise in der Mitte) und zeigt dem Anwender dann die Daten an.

## Repetitiv oder Single-Shot?

In der Vergangenheit war die gängigste Betriebsart für Oszilloskope der repetitive Modus (Freilaufmodus): Sobald das Oszilloskop getriggert und die erfassten Daten dargestellt hatte, begann es sofort wieder mit der Suche nach dem nächsten Triggerereignis. Daher wurden die Messkurven auf Oszilloskopen häufig neu geschrieben. Kein Oszilloskop kann triggern und Messdaten anzeigen, ohne zumindest einige Zeit zu benötigen, bis es wieder scharf ist. Diese Zeit nennt man Totzeit. Während dieser Zeit kann das Oszilloskop keine Da-

ten erfassen, ist also quasi blind. Je kürzer sie ist, desto weniger Ereignisse können dem Oszilloskop entgehen und desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Oszilloskop ein seltenes Ereignis verpasst. Wenn z. B. während der Totzeit ein Glitch auftritt, wird dieser nicht auf dem Oszilloskopschirm angezeigt, und der Anwender könnte fälschlich zu dem Schluss kommen, auf dem Messsignal käme kein Glitch vor, wo in Wirklichkeit aber doch einer aufgetreten ist.

Statt über die Totzeit kann man sich dem Problem auch anders nähern, nämlich über die Signalaktualisierungsrate. Sie wird in Messkurven pro Sekunde angegeben. Je mehr Messkurven ein Oszilloskop pro Zeiteinheit aufnehmen kann, desto geringer ist die Totzeit und desto geringer die Wahrscheinlichkeit, dass das Oszilloskop seltene Ereignisse verpasst. Die Oszilloskope der Familie Agilent 7000 können pro Sekunde 100 000 Kurven aufnehmen.

Die Single-Shot-Methode wird angewandt, wenn man nur einmal triggern will, ohne danach die Aufzeichnung fortzusetzen. Man setzt sie ein, wenn man ein Einzereignis erfassen und dann prüfen

will, was zu ihm geführt hat und was hinterher passiert ist. Diese Methode ist besonders nützlich zur Analyse von Kurven, die sich nicht wiederholen und von Zyklus zu Zyklus anders sind.

## Automatisch oder triggered?

Was geschieht eigentlich, wenn das Triggerereignis nicht eintrifft? In diesem Fall wird das Bild auf dem Bildschirm nicht erneuert. Das mag unerwünscht sein, weil der Anwender in einem solchen Fall nicht weiß, wie er den Trigger ändern muss, um Kurven auf den Bildschirm zu bekommen. Es könnte z. B. sein, dass ein Tastkopf vom Messpunkt abgefallen ist. Dann setzt natürlich die Triggerung aus. Dass das Triggersignal nicht mehr anliegt, fällt allerdings nicht auf, wenn der Bildschirm nicht neu geschrieben wird.

Um dieses Problem zu lösen, verfügen Oszilloskope über eine Betriebsart Auto-Trigger. In dieser Betriebsart triggert das Oszilloskop automatisch und schreibt den Bildschirm neu, wenn eine bestimmte Zeit lang kein „echtes“ Triggerereignis aufgetreten ist. Üblicherweise gibt es hierzu einen Indikator (z. B. eine LED auf der Frontplatte), der anzeigt, ob der letzte Trigger ein „echter“ oder ein automatischer war (also ein Time-Out). Auf diese

Weise kann der Anwender am Leuchten der Auto-LED erkennen, dass die gesetzte Triggerbedingung nicht eintrifft. Will man beispielsweise auf einen Glitch triggern und die Leuchtdiode leuchtet, zeigt das an, dass das Oszilloskop keinen solchen Glitch erkennt.

Allerdings bedeutet automatische Triggerung, dass es eine Totzeit



## AUTOR

Douglas J. Beck und Thomas Giehm, Agilent Technologies

gibt, also eine Zeit, die das Oszilloskop zum Scharfmachen der Triggerung braucht und in der es keine Daten erfasst. Will man diese Zeit vollständig eliminieren, sollte man das Oszilloskop auf Triggered einstellen (bei manchen Oszilloskopen wird diese Betriebsart Normal genannt). In der Betriebsart Triggered wird das Oszilloskop wirklich nur dann triggern, wenn das Triggerereignis gefunden wird. Wenn der Anwender den Trigger also auf den Glitch eingestellt hat und das Oszilloskop triggert nicht, kann er sich sicher sein, dass kein Glitch aufgetreten ist (oder zumindest: dass das Oszilloskop nicht in der Lage war, einen zu erkennen).

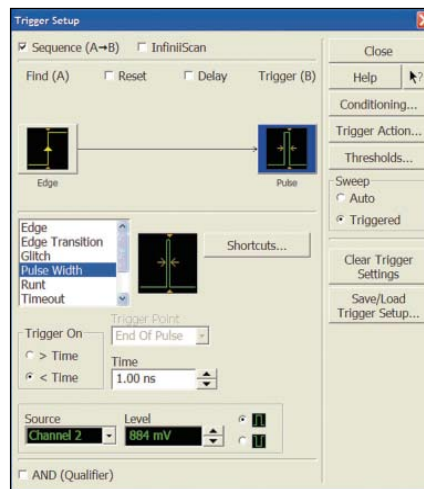


Bild 1: Sequenztriggerung.

### Flankentrigger

Flankentrigger sind die gängigsten Trigger überhaupt, schließlich haben alle Signale irgendwelche Flanken. Wenn der Triggerpegel richtig gewählt ist, funktioniert ein Flankentrigger immer. Allerdings ist dieser Vorteil gleichzeitig auch der größte Nachteil, denn bei den meisten Signalen spricht ein Flankentrigger sehr oft an, so dass seine Wirkung fast einem automatischen Trigger entspricht.

### Pulsbreitentrigger

Viele Probleme können mit einfachen Flankentriggern gelöst werden, manchmal braucht man aber komplexere Trigger. Die einfachsten komplexen Trigger reagieren auf Pulsbreiten. Man definiert sie als Zeitspannen entweder über (positive Impulse) oder unter (negative Impulse) einer gewissen Triggerschwelle. Der häufigste Pulstrigger ist ein Trigger auf Glitches, er reagiert auf Impulse, die schmäler sind als ein definiertes Minimum. Ein solcher Trigger ist ein Beispiel für einen Fehlertrigger, denn wenn ein Oszilloskop auf einen solchen Trigger anspricht, zeigt das ein Problem an.

Eine weitere Frage bei einem Pulsbreitentrigger mit Maximalzeit ist, wann genau der Trigger ausgelöst werden soll. Manchmal soll das Oszilloskop bereits triggern, sobald eine gewisse Zeit überschritten ist (unabhängig von der zweiten Flanke des Impulses). Man nennt so etwas einen „Trigger auf Zeitüberschreitung“, weil das Oszilloskop in diesem Fall keinen vollständigen Signalzyklus zur Triggerung braucht. Ein solcher Trigger triggert sogar dann, wenn die zweite Flanke des Impulses niemals kommt.

Im Gegensatz dazu wird ein Pulstrigger stets bis zur zweiten Flanke warten, bis er triggert. Bei einem positiven Impuls wird der Trigger also nicht vor der abfallenden Flanke auslösen, auch wenn die Maximalzeit überschritten ist. Es ist somit möglich, dass der Trigger erst lange nach Ablauf der Maximalzeit ausgelöst wird. Aus diesem Grund werden Trigger auf Zeitüberschreitung sehr viel häufiger verwendet als Trigger auf Impulszeit. Das widerspricht aber der Intuition, daher wird dem Anwender bei Anwahl eines Pulsbreitentriggers als zweites Kriterium Zeitüberschreitung oder Ende des Impulses angeboten. Wenn er Zeit-

überschreitung wählt, funktioniert der Trigger genau so wie ein Zeitüberschreitungstrigger.

Ein zweites etwas verwirrendes Faktum über Pulsbreitentrigger ist, dass solche nicht immer eine Fehlerbedingung anzeigen. Während Glitches eindeutig Fehler sind, kann ein langer Impuls durchaus auch ein korrektes Ereignis sein. Ob die Pulslänge einen Fehler darstellt oder nicht, ist von Fall zu Fall unterschiedlich.

### Rise- & fall-time Trigger

Der nächste Typ von Fehlertriggern spricht auf Anstiegs- und Abfallzeiten an, also auf Flanken, die zu schnell oder zu langsam ansteigen bzw. abfallen. Dieser Triggertyp ist definiert durch zwei Triggerschwellen, eine obere und eine untere. Weiterhin gibt es eine Minimal- oder Maximalzeit, die ein Signal zwischen diesen beiden Schwellen zubringen darf.

Die Triggerschwellen für Trigger auf Anstiegs- und Abfallzeit sind unabhängig von den Spannungsschwellen für die automatische Messung (von Anstiegs- und Abfallzeit). Das kann beim Anwender für Verwirrung sorgen. Angenommen, der Anwender hat ►

einen Trigger auf eine bestimmte Flankenzeit gesetzt, das Oszilloskop misst beim aktuellen Messsignal die Flankenzeiten und zeigt den Messwert auf dem Bildschirm an. Das Oszilloskop triggert aber nicht, obwohl das Triggerkriterium scheinbar erfüllt ist. Der Grund dafür liegt daran, dass die Schwellenwerte für die automatische Messung der Flankenzeiten des Signals normalerweise bei 10% und 90% der Signalamplitude liegen, die Schwellen für die Triggerung aber durchaus davon abweichen können. Es kann durchaus sein, dass der Anwender die Triggerschwellen (eventuell irrtümlich) anders gesetzt hat, etwa auf 5% und 95%. In diesem Fall würde das Oszilloskop bestimmte Werte für die Anstiegszeit messen und anzeigen, trotz scheinbarer Erfüllung des Triggerwerts aber nicht triggern.

## Setup & Hold

Ein anderer Fehlertriggertyp ist Setup& Hold. Für diese Triggerart braucht man ein Datensignal und einen Takt. Der Trigger braucht weiterhin eine Setup-Zeit, eine Haltezeit oder beides. Das Oszilloskop triggert jedes Mal, wenn es eine Verletzung von Setup&Hold erkennt.

## Zwergimpulse (Runt Trigger)

Ein Glitch ist ein zu schmaler Impuls; ein Zwergimpuls ist normal breit, aber er hat

nicht die volle Amplitude. Für die Definition eines Triggers auf Zwergimpulse braucht man drei Spannungsniveaus: Ein solcher Trigger wird ausgelöst, wenn ein Signal zwei Spannungsschwellen in einer Richtung überschreitet und dann unter eine Schwelle zurückfällt, ohne eine dritte, höhere zu überschreiten. Wenn die drei Schwellen z. B. bei 1, 2 und 3V liegen, ein Signal von 0 auf 2,3V geht und dann wieder auf 0V zurückfällt, handelt es sich um einen Zwergimpuls, denn er hat 1V und 2V nach oben durchlaufen, ist dann aber unter 2V zurückgefallen. Verwirrend an dieser Triggerart ist, dass man dafür drei Spannungsniveaus festlegen muss. Normalerweise funktionieren 10%, 50% und 90% gut, aber es mag nicht unmittelbar einsichtig sein, warum man drei Spannungsschwellen braucht anstatt deren zwei.

## Fenstertrigger

Ein erweiterter Triggertyp ist der „Fenstertrigger“. Er arbeitet mit zwei Spannungsschwellen und bis zu zwei Zeitangaben. Ein Fenstertrigger kann beispielsweise ausgelöst werden, wenn ein Signal einen vorgegebenen Spannungsbereich betritt oder verlässt. Zusätzlich kann man ein Zeitfenster definieren, so dass das Signal eine bestimmte Mindest- oder Höchstzeit in (oder außerhalb) eines definierten

Spannungsbereichs verlaufen muss. Dieser Mechanismus liefert eine Vielzahl von verschiedenen Triggern.

## Sequenztriggerung

Bei Sequenztriggerung wird erst ein bestimmtes Ereignis gesucht. Nachdem dieses gefunden wurde, wird nach einem zweiten Ereignis gesucht. Erst wenn dieses gefunden ist, erfolgt die Triggerung. Sequenztriggerung erlaubt beispielsweise dem Anwender, eine Flanke auf dem ersten Signal zu finden, worauf später ein Puls auf einem anderen Signal folgt. Ein Beispiel für eine Sequenztriggerung ist in **Bild 1** an einem Oszilloskop der Familie Agilent 90000 dargestellt. Das Diagramm zeigt, wie die Flanke auf Kanal 1 von einem Impuls auf Kanal 2 folgt

Über unseren infoDIRECT-Service haben Sie Zugriff auf die Langfassung dieses Beitrages in dem es u. a. auch um die die Softwaretriggerung geht sowie um die Triggerung zum Anzeigen von Messkurven, zum Debugging analoger Probleme und zum Debuggen von Software oder FPGA-Problemen. (jj)

	<b>infoDIRECT</b>	<b>578ei0509</b>
<a href="#">▶ Link zu Agilent Technologies</a>		
<a href="http://www.elektronik-industrie.de">www.elektronik-industrie.de</a>		