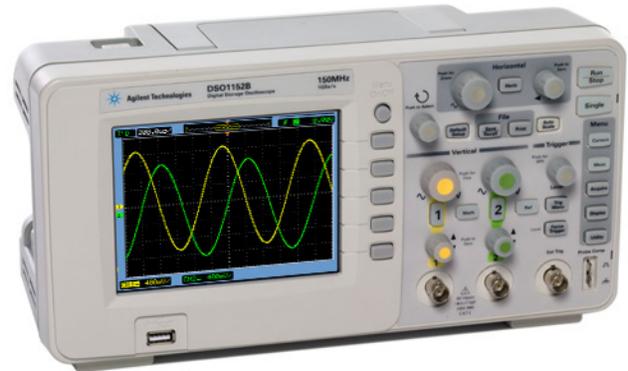


DSO1000 Oszilloskop – Schulungskit-Dokumentation



**Übungshandbuch und Tutorial für
Studenten der Elektrotechnik und
der Physik im Grundstudium**



Agilent Technologies

Anmerkungen

© Agilent Technologies, Inc. 2008-2012

Das Urheberrecht für dieses Lehrmaterial gestattet Ihnen das Abdrucken, Ändern und Verteilen des gesamten Dokuments oder von Teilen des Dokuments zum Zweck der Ausbildung von Studenten im Umgang mit Agilent-Testgeräten.

Eingetragene Marken

Microsoft®, MS-DOS® und Windows® sind in den USA und/oder anderen Ländern eingetragene Marken oder Marken der Microsoft Corporation.

Handbuch-Teilenummer

54136-97006

Edition

Mai 2012

Nur in elektronischem Format verfügbar.

Agilent Technologies, Inc.
1900 Garden of the Gods Road
Colorado Springs, CO 80907 USA

Handbuch-Gewährleistung

Das in diesem Dokument enthaltene Material wird im vorliegenden Zustand zur Verfügung gestellt und kann in zukünftigen Ausgaben ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Agilent Technologies bietet nur im gesetzlich vorgeschriebenen Rahmen Gewährleistung für die in dieser Dokumentation enthaltenen Informationen. Dies betrifft insbesondere deren Eignung oder Tauglichkeit für einen bestimmten Zweck. Agilent Technologies übernimmt keine Haftung für Fehler, die in diesem Dokument enthalten sind, und für zufällige Schäden oder Folgeschäden im Zusammenhang mit der Lieferung, Ingebrauchnahme oder Benutzung dieser Dokumentation. Falls zwischen Agilent und dem Benutzer eine schriftliche Vereinbarung mit abweichenden Gewährleistungsbedingungen hinsichtlich der in diesem Dokument enthaltenen Informationen existiert, so gelten diese schriftlich vereinbarten Bedingungen.

Technologielizenzen

Die in diesem Dokument beschriebene Hardware und/oder Software wird unter einer Lizenz geliefert und darf nur entsprechend den Lizenzbedingungen genutzt oder kopiert werden.

Nutzungsbeschränkungen

Wenn Software für den Gebrauch durch die US-Regierung bestimmt ist, wird sie als „kommerzielle Computer-Software“ gemäß der Definition in DFAR 252.227-7014 (Juni 1995), als „kommerzielle Komponente“ gemäß der Definition in FAR 2.101(a), als „nutzungsbeschränkte Computer-Software“ gemäß der Definition

in FAR 52.227-19 (Juni 1987) (oder einer vergleichbaren Agentur- oder Vertragsbestimmung) ausgeliefert und lizenziert. Nutzung, Vervielfältigung oder Weitergabe von Software unterliegt den standardmäßigen Bestimmungen für kommerzielle Lizenzen von Agilent Technologies. US-Regierung und -Behörden (außer Verteidigungsministerium) erhalten keine Rechte, die über die Rechte an „nutzungsbeschränkter Computer-Software“ gemäß FAR 52.227-19(c)(1-2) (Juni 1987) hinausgehen. Zur US-Regierung zählende Benutzer erhalten keine Rechte, die über die Rechte an „nutzungsbeschränkter Computer-Software“ gemäß FAR 52.227-14 (Juni 1987) oder DFAR 252.227-7015 (b)(2) (November 1995) hinausgehen, soweit in technischen Daten anwendbar.

Sicherheitshinweis

VORSICHT

VORSICHT weist auf eine Gefahr hin. Dieser Hinweis macht auf Arbeitsweisen, Anwendungen o. ä. aufmerksam, die bei falscher Ausführung zur Beschädigung des Produkts oder zum Verlust wichtiger Daten führen können. Wenn ein Prozess mit dem Hinweis **VORSICHT** gekennzeichnet ist, dürfen Sie erst fortfahren, wenn Sie alle aufgeführten Bedingungen vollständig verstanden haben und diese erfüllt sind.

WARNUNG

WARNUNG weist auf eine Gefahr hin. Dieser Hinweis macht auf Arbeitsweisen, Anwendungen o. ä. aufmerksam, die bei falscher Ausführung zu Personenschäden, u. U. mit Todesfolge, führen können. Wenn ein Prozess mit dem Hinweis **WARNUNG** gekennzeichnet ist, dürfen Sie erst fortfahren, wenn Sie alle aufgeführten Bedingungen verstanden haben und diese erfüllt sind.

Lab Guide and Tutorial – Übersicht

Dieses Handbuch „Oscilloscope Lab Guide and Tutorial“ für Studenten der Elektrotechnik und Physik ist für den Gebrauch mit Agilent Technologies DSO1000 Series Oszilloskopen vorgesehen.

Hinweis für Elektrotechnik-/Physikdozenten

Sehr geehrte Professoren und Dozenten für Elektrotechnik und Physik,

Das Handbuch „Oscilloscope Lab Guide and Tutorial“ für Studenten der Elektrotechnik und Physik für Agilent DSO1000 Series Oszilloskope besteht aus sieben praktischen Übungen, anhand derer sich Studenten sich mit einem Oszilloskop und dessen Funktionsweise vertraut machen können. Ein Oszilloskop ist ein Messgerät, das Ihre Studenten für Schaltkreisexperimente und studentische Konstruktionsprojekte häufiger einsetzen werden als jedes andere Messgerät. Nach dem Studienabschluss werden die Studenten in der Elektronikbranche tätig sein und Oszilloskope daher zum Berufsalltag gehören. Deshalb ist es sehr wichtig, dass die Studenten mit einem so wichtigen Werkzeug wie diesen gut umgehen können.

Die Durchführung jeder dieser Übungen dauert ungefähr 15 bis 20 Minuten. Diese Übungen sind für die 1000 Series Oszilloskope von Agilent vorgesehen. Bevor die Studenten ihre zugewiesenen Experimente in der ersten Schaltkreisübung testen, empfehlen wir, Abschnitt 1 sowie Anhang A und B dieses Dokuments vorab (als Hausarbeit) zu lesen. Abschnitt 1 bietet eine Einführung in das Oszilloskop und beschreibt die Grundlagen von Messungen. Anhang A und B sind kurze Tutorials zur Betriebstheorie und Bandbreite des Oszilloskops.

Dann sollten die Studenten die praktischen Übungen aus Abschnitt 2 dieses Dokuments während der ersten Laborübung durchführen. Ihre Studenten sollten bereits nach Übungen Nr. 1 und 2 über grundlegende Kenntnisse zur Verwendung von Oszilloskopen verfügen. Wenn Sie jedoch die Zeit haben, alle sieben Übungen durchzuführen, beherrschen Sie den Umgang mit dem Oszilloskop noch besser (auch Dokumentation und Speicherung von Ergebnissen für die erforderlichen Schaltkreisexperimentberichte. Beachten Sie bitte, dass die Studenten in Übung Nr. 3 (Erfassung von Einzelaufnahmen) aufgefordert werden, ihr Oszilloskop auf den (Labor-)Tisch zu klopfen, um eine elektrostatische Entladung zu erzielen. Wenn Sie vermeiden möchten, dass die Studenten ihre Messköpfe auf die Tische schlagen, geben Sie ihnen einfach die Anweisung, diese Übung zu überspringen. Dieses Übungshandbuch ist so strukturiert, dass es flexibel eingesetzt werden kann.

Mit freundlichen Grüßen



Johnnie Hancock
Oscilloscope Education Program Manager
Agilent Technologies

Inhalt

Lab Guide and Tutorial – Übersicht	3
Hinweis für Elektrotechnik-/Physikdozenten	4

1 Erste Schritte

Oszilloskop-Tastköpfe	8
Aufbau des vorderen Bedienfelds	11

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

Übung Nr. 1: Allgemeine Messungen vornehmen	16
Übung Nr. 2: Grundlagen des Triggerns mit einem Oszilloskop	24
Übung Nr. 3: Das Erfassen von Einzelaufnahmen	30
Übung Nr. 4: Kompensieren von passiven 10:1-Messköpfen	32
Berechnung des richtigen Werts der kapazitiven Kompensation	35
Messkopfbelastung	36
Übung Nr. 5: Dokumentierung und Speicherung von Oszilloskop-Testergebnissen	38
Übung Nr. 6: Verwenden von mathematischen Funktionen für Oszilloskop-Wellenformen	43
Übung Nr. 7: Der Zoom-Modus des Oszilloskops	48

3 Zusammenfassung

Weiterführende Literatur zu Agilent	52
-------------------------------------	----

A Oszilloskop-Blockdiagramm und Betriebstheorie

DSO-Blockdiagramm	54
A/D-Block	54
Abschwächer-Block	55
DC-Offset-Block	55
Verstärker-Block	55
Triggerkomparator und Triggerlogikblöcke	56
Zeitbasis- und Erfassungsspeicher-Blocks	57

Anzeige-DSP-Block 58

B Tutorial zur Oszilloskop-Bandbreite

Definition der Oszilloskop-Bandbreite 59

Erforderliche Bandbreite für analoge Anwendungen 61

Erforderliche Bandbreite für digitale Anwendungen 61

Faustregel 62

Schritt 1: Bestimmen der höchsten tatsächlichen Flankengeschwindigkeiten 62

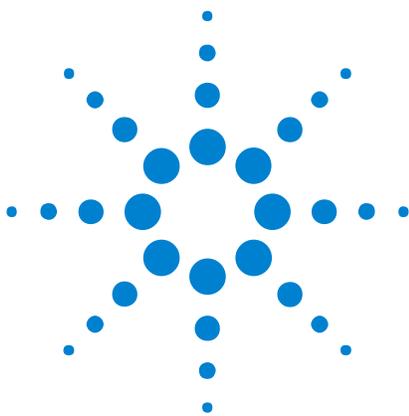
Schritt 2: Berechnen von f_{Knie} 62

Schritt 3: Berechnen der Oszilloskop-Bandbreite 63

Beispiel 63

Vergleiche zu Digitaltaktmessungen 64

Index



1 Erste Schritte

Oszilloskop-Tastköpfe 8

Aufbau des vorderen Bedienfelds 11

Oszilloskope sind wichtige Geräte für Spannungs- und Zeitmessungen für moderne Analog- und Digitalschaltungen. Wenn Sie das Studium der Elektrotechnik abgeschlossen haben und in der Elektronikbranche tätig werden, stellen Sie wahrscheinlich fest, dass das Oszilloskop das Messgerät ist, welches Sie am häufigsten verwenden werden, um Ihre Entwürfe zu testen und Fehler zu beheben. Selbst während der Elektrotechnik- oder Physikkurse an der Universität stellt ein Oszilloskop das Messgerät dar, das in den verschiedenen Testschaltungen beim Testen und Überprüfen Ihrer Laboraufgaben und -entwürfe am häufigsten zum Einsatz kommt. Leider erschließt sich vielen Studenten nie ganz die Verwendung eines Oszilloskops. Im Umgang mit dem Gerät sind Ihnen die entsprechenden Funktionen der Knöpfe und Tasten unbekannt und Sie betätigen diese, bis auf dem Oszilloskop-Display ein Bild angezeigt wird, das dem gewünschten ungefähr entspricht. Nach dem Abschluss dieser kurzen Übungsreihe besitzen Sie ein besseres Verständnis der Funktionsweise und der angemessenen Verwendung eines Oszilloskops.

Was ist ein Oszilloskop? Ein Oszilloskop ist ein elektronisches Messgerät, das fortlaufend Eingangssignale überwacht und diese in einem Diagramm grafisch als Spannungsverlauf im Verhältnis zur Zeit darstellt. Bei dem Oszilloskop, das Ihr Professor während seiner Studienzeit verwendet hat, handelte es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um ein analoges Gerät. Diese auf älterer Technologie basierenden Geräte, in der Regel analoge Oszilloskope genannt, verfügten über eine begrenzte Bandbreite (näher erläutert in Anhang B), führten keine automatischen Messungen durch und benötigten ein sich wiederholendes Eingangssignal (fortlaufend auftretendes und sich wiederholendes Eingangssignal).

Das Oszilloskop, das Sie für diese Übungsreihe benutzen und wahrscheinlich während Ihres gesamten weiteren Studiums verwenden werden, wird Digital-speicher-Oszilloskop genannt; manchmal auch kurz als DSO bezeichnet. Die heutigen DSOs können entweder sich wiederholende oder einmalige Signale erfassen und anzeigen. Oft können mit den Geräten zahlreiche automatische Mess- und Analysefunktionen durchgeführt werden, mit denen Sie Ihre Entwürfe und Experimente schneller und genauer charakterisieren können, als es Ihr Professor früher konnte.



1 Erste Schritte

Wenn Sie sich für die Betriebstheorie eines Oszilloskops interessieren, finden Sie dazu im Anhang A dieses Dokuments nähere Erläuterungen. Die beste Möglichkeit, die Verwendung und Funktionen eines Oszilloskops schnell zu erlernen, besteht darin, sich mit einigen der wichtigsten Steuerelemente eines Oszilloskops vertraut zu machen und anschließend die Verwendung durch das Messen von einigen Basissignalen zu üben.

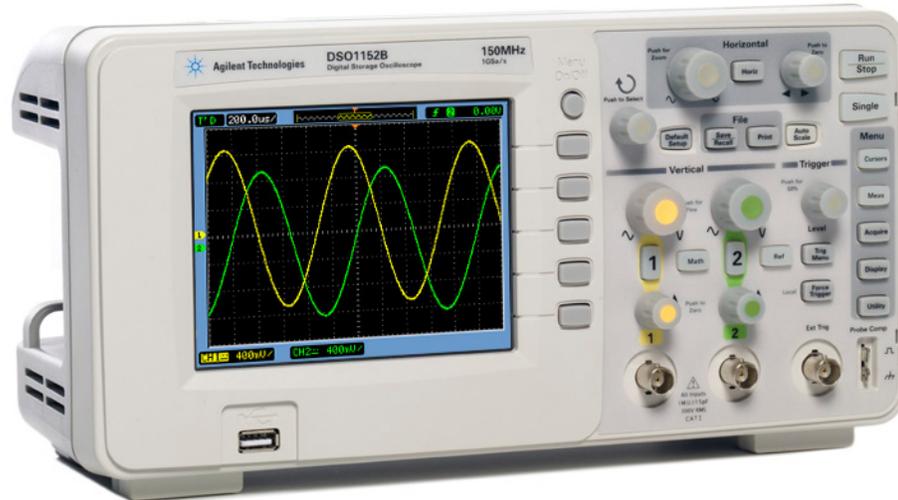


Abbildung 1 Agilent 1000B Series Oszilloskop

Oszilloskop-Tastköpfe

Die erste Aufgabe vor dem Durchführen von Messungen mit dem Oszilloskop ist das Anschließen der Oszilloskop-Tastköpfe am zu testenden Gerät und an den BNC-Eingängen des Oszilloskops. Oszilloskop-Tastköpfe bieten einen Abschlusswiderstand mit relativ hoher Eingangsimpedanz (hoher Widerstand mit niedriger Kapazität) am Testpunkt. Eine Verbindung mit hoher Impedanz ist wichtig, um das Messgerät vom zu testenden Stromkreis zu isolieren, da das Oszilloskop mit den Tastköpfen nicht die Merkmale der zu testenden Signale beeinflussen soll.

Es gibt verschiedene Oszilloskop-Tastköpfe, die für spezielle Messungen verwendet werden. Die hier verwendeten Tastköpfe sind die am häufigsten verwendeten Tastköpfe und werden passive 10:1-Spannungsteiler-Tastköpfe genannt, wie in [Abbildung 2](#) dargestellt. „Passiv“ bedeutet hier, dass diese Art von Tastkopf keinerlei „aktive“ Bauelemente wie Transistoren oder Verstärker enthält. Das Verhältnis „10:1“ gibt an, dass dieser Tastkopf das Signal, welches am Oszilloskop-Eingang empfangen wird, um das Zehnfache abschwächt.



Abbildung 2 Passive 10:1-Spannungsteiler-Tastköpfe

Bei der Verwendung eines standardmäßigen passiven 10:1-Tastkopfs sollten die gesamten Oszilloskop-Messungen mit einer Verbindung zwischen Testpunkt des Signals und Erdung erfolgen. Das heißt, Sie **müssen** den Tastkopf über die Erdungsklemme erden. Mit dieser Art von Tastkopf können Sie Spannungen über eine in der Schaltung befindliche Komponente **nicht** messen. Wenn Sie die Spannung an einer nicht geerdeten Komponente messen müssen, können Sie entweder bei der Signalmessung an beiden Enden der Komponente relativ zur Erdung über zwei Kanäle des Oszilloskops die mathematische Subtraktionsfunktion oder einen besonderen aktiven Differenzial-Tastkopf verwenden. Beachten Sie ebenfalls, dass ein Stromkreis nie über das Oszilloskop geschlossen werden sollte.

Abbildung 3 zeigt einen Schaltplan für einen mit einem Oszilloskop verbundenen passiven 10:1-Tastkopf. Es liegt der Standardwert für die Eingangsimpedanz von $1\text{ M}\Omega$ an, der für diese Art von Tastkopf erforderlich ist. Beachten Sie, dass der Benutzer bei vielen Tastköpfen mit höheren Bandbreiten eine Eingangsbegrenzung von $50\ \Omega$ wählen kann, die oft bei Begrenzungen von aktiven Tastköpfen und/oder bei einem Eingangssignal direkt aus einer $50\ \Omega$ -Quelle unter Verwendung eines BNC-Koaxialkabels für $50\ \Omega$ verwendet wird.

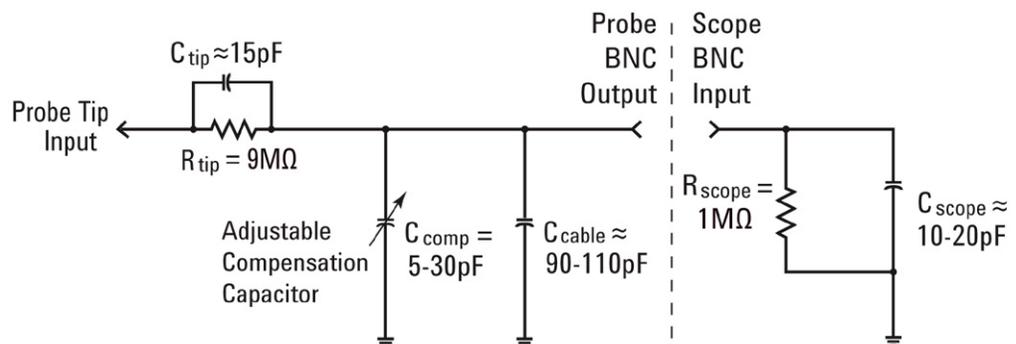


Abbildung 3 Vereinfachte Darstellung eines passiven 10:1-Tastkopfs, an dem eine Eingangsimpedanz von $1\text{ M}\Omega$ anliegt.

Obwohl das Schaltbild mit passivem Tastkopf und Oszilloskop sowohl Eigen-/Parasitärkapazitäten (nicht im Entwurf) als auch absichtlich entworfene Kompensationsnetzwerke für Kapazitäten enthält, wird an dieser Stelle nicht näher auf die kapazitiven Elemente eingegangen, sondern auf die Untersuchung des idealen Signalverhaltens dieses Tastkopfs/dieses Oszilloskops bei einer niedrigen Frequenz oder bei Gleichstrom.

Nach dem Entfernen der gesamten kapazitären Komponenten aus dem Schaltbild mit Tastkopf und Oszilloskop bleibt bei einer Reihenschaltung und Eingangsimpedanz von $1\text{ M}\Omega$ ein Widerstandswert von $9\text{ M}\Omega$ an der Spitze des Tastkopfs. Der Nettoeingangswiderstand an der Spitze des Tastkopfs beträgt dann $10\text{ M}\Omega$. Nach dem Ohmschen Gesetz beträgt der Spannungswert am Eingang des Oszilloskops ein Zehntel der Spannung an der Spitze des Tastkopfs ($V_{\text{Oszilloskop}} = V_{\text{Tastkopf}} \times (1\text{ M}\Omega/10\text{ M}\Omega)$).

Das heißt, dass bei einer passiven 10:1-Tastkopf der dynamische Bereich des Oszilloskop-Messsystems erweitert wurde. Mit anderen Worten: Es können im Vergleich zur Signalmessung mit einem 1:1-Tastkopf Signale mit einer zehnmal größeren Amplitude gemessen werden. Zudem wurde die Eingangsimpedanz für das Oszilloskop-Messsystem (Tastkopf und Oszilloskop) von $1\text{ M}\Omega$ auf $10\text{ M}\Omega$ erhöht. Dies ist positiv, da eine niedrigere Eingangsimpedanz das Messobjekt aufladen und möglicherweise die tatsächlichen Spannungswerte des Messobjekts verändern könnte, was wiederum zu Messfehlern führen würde. Obwohl ein Wert für die Nettoeingangsimpedanz von $10\text{ M}\Omega$ tatsächlich groß ist, müssen Sie beachten, dass dieser Lastimpedanzwert im Zusammenhang mit der Impedanz des zu testenden Geräts gesehen werden muss. Zum Beispiel führt ein einfacher Stromkreis mit einem Rückkopplungswiderstand von $100\text{ M}\Omega$ zu falschen Messergebnissen auf einem Oszilloskop.

Obwohl die meisten Hochleistungsoszilloskope den Anschluss eines 10:1 Tastkopfs detektieren und dann den Dämpfungsfaktor des Tastkopfs automatisch auf 10:1 setzen, muss bei Verwendung eines Agilent 1000 Series Oszilloskops der Tastkopfdämpfungsfaktor (10:1) manuell eingestellt werden oder die Bedientast **[Default Setup] Standard-Setup** auf der Frontabdeckung, um die Tastkopfdämpfung 10:1 einzustellen. Wurde der Tastkopfdämpfungsfaktor entweder vom Gerät automatisch erfasst oder manuell eingegeben wird, zeigt das Oszilloskop für alle vertikalen Einstellungen ausgeglichene Werte an, sodass alle Spannungsmessungen auf das nicht gedämpfte Eingangssignal an der Spitze des Tastkopfs abgestimmt werden. Wenn Sie zum Beispiel ein Signal von 10 Vpp prüfen möchten, beträgt das am Eingang des Oszilloskops eintreffende Signal nur 1 Vpp . Wenn das Oszilloskop festgestellt hat, dass ein 10:1-Spannungsteiler-Tastkopf verwendet wird, zeigt das Oszilloskop bei Spannungsmessungen an, dass es ein Signal mit 10 Vpp erkannt hat.

Bei Übung Nr. 4 (Kompensation der passiven 10:1-Tastköpfe) kommen wir auf dieses passive Tastkopfmodell zurück und gehen auf die kapazitiven Komponenten ein. Diese Elemente im Tastkopf/Oszilloskop-Schaltbild beeinflussen die dynamische Leistung/Wechselstromleistung des Oszilloskops und des Messsystems.

Aufbau des vorderen Bedienfelds

Machen wir uns zuerst mit den wichtigsten Steuerelementen/Drehknöpfen an Ihrem Oszilloskop vertraut. Im oberen Bereich Ihres Oszilloskops sind die „Horizontal“-Steuerelemente angeordnet, die in [Abbildung 4](#) dargestellt sind. Mit dem größeren Drehknopf wird die horizontale Skalierung in Sekunden/Division eingestellt. Mit diesem Steuerelement wird die Skalierung der X-Achse der angezeigten Wellenform eingestellt. Eine horizontale „Division“ entspricht der Zeit Δ zwischen jeder vertikalen Gitterlinie. Wenn Sie schneller verlaufende Wellenformen angezeigt bekommen möchten (Signale mit höherer Frequenz), stellen Sie für die horizontale Skalierung normalerweise einen kleineren Sekunden/Divisions-Wert ein. Wenn Sie langsam verlaufende Wellenformen angezeigt bekommen möchten (Signale mit niedrigerer Frequenz), müssen Sie die horizontale Skalierung auf einen höheren Sekunden/Divisions-Wert einstellen. Mit dem kleineren Drehknopf der „Horizontal“-Steuerelemente wird die horizontale Position der Wellenform festgelegt. Mit anderen Worten: Sie können mit diesem Steuerelement die horizontale Ausrichtung der Wellenform nach links und rechts verschieben. Die „Horizontal“-Steuerelemente (s/Div und Position) werden oft als wichtige „Zeitbasis“-Steuerelemente des Oszilloskops bezeichnet.



Abbildung 4 Horizontal-Steuerelemente (X-Achse) des Oszilloskops

Die im unteren Bereich des Oszilloskops angeordneten Steuerelemente/Drehknöpfe (siehe [Abbildung 5](#)) sind die Vertikal-Steuerelemente (oberhalb der BNC-Eingänge), die der vertikalen Skalierung des Oszilloskops dienen. Wenn Sie ein 2-Kanal-Oszilloskop verwenden, gibt es zwei Steuerelemente zur vertikalen Skalierung. Wenn Sie ein 4-Kanal-Oszilloskop verwenden, gibt es vier Steuerelemente zur vertikalen Skalierung. Mit dem größeren Drehknopf für jeden zu den Vertikal-Steuerelementen gehörenden Eingangskanal wird der Faktor für die vertikale Skalierung in Volt/Division eingestellt. Dies entspricht der grafischen Skalierung der Y-Achse Ihrer Wellenformen. Eine vertikale „Division“ entspricht dem Wert in Volt für Δ zwischen jeder horizontalen Gitterlinie. Wenn Sie verhältnismäßig große Signale anzeigen möchten (hohe Spitze-Spitze-Spannungen), dann sollten Sie den Wert für die Volt/Div-Einstellung relativ hoch einstellen. Wenn Sie kleine Eingangssignalwerte anzeigen möchten, dann müssen Sie die Volt/Div-Einstellung relativ niedrig einstellen. Die kleineren Steuerelemente/Drehknöpfe für jeden zu den Vertikal-Steuerelementen gehörenden Kanal sind die Positions/Offset-Steuerelemente. Sie betätigen diesen Drehknopf, um die Wellenform auf dem Bildschirm nach oben bzw. unten zu verschieben.

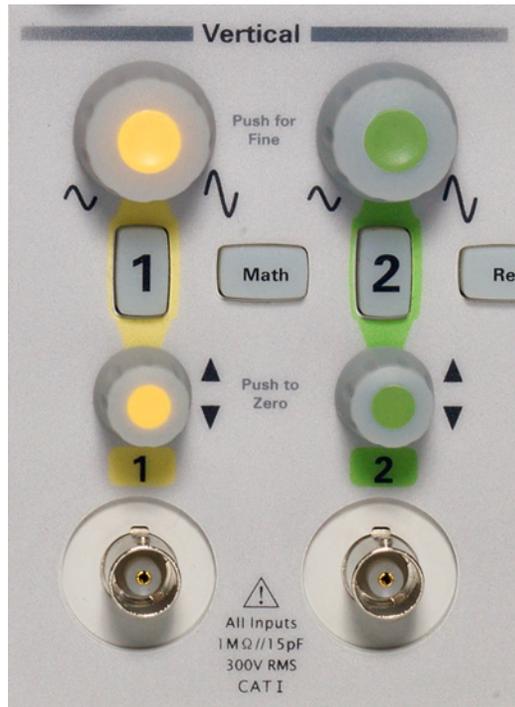


Abbildung 5 Vertikal-Steuer-elemente (Y-Achse) des Oszilloskops

Eine weitere wichtige Variable zur Einstellung des Oszilloskops ist das Steuer-element/der Drehknopf für den Triggerpegel, der in [Abbildung 6](#) dargestellt ist. Dieser Steuerknopf befindet sich auf der rechten Seite des vorderen Oszilloskop-Bedienfelds, direkt unter dem Bereich **Trigger**. Das Triggern ist die am seltensten verstandene, jedoch eine der wichtigsten Funktionen eines Oszilloskops. Auf die Triggerung eines Oszilloskops wird in den Abschnitten zu den praktischen Übungen näher eingegangen.



Abbildung 6 Oszilloskop-Steuer-element für Triggerpegel

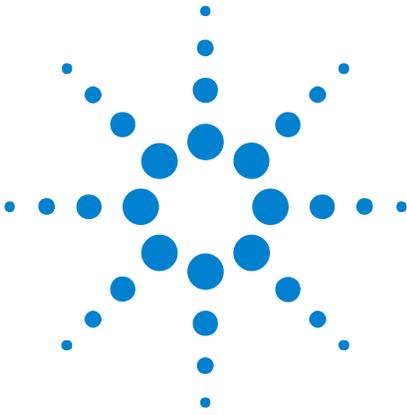
Beim Lesen der Anweisungen in den folgenden Übungen steht ein fettgedrucktes Wort in eckigen Klammern, wie [**Cursor**] **Cursors**. Dieses bezeichnet eine Taste bzw. Schaltfläche auf der rechten Seite des vorderen Oszilloskop-Bedienfelds. Beim Drücken dieser Taste wird ein Menü mit einer „Softkey“-Auswahl für die spezielle Funktion des vorderen Bedienfelds angezeigt. „Softkeys“ sind die 5 Tasten/Schaltflächen rechts vom Oszilloskop-Display. Die Funktionen dieser Tasten wechseln (je nachdem, welches Menü aktiviert wurde).

Finden Sie nun den Steuerungsknopf **Eingabe**, dargestellt in [Abbildung 7](#). Dies ist der Drehknopf rechts neben dem Display des Oszilloskops. Dieser Drehknopf wird sehr oft genutzt, um einen Bereich von Einstellungsvariablen und Auswahlmöglichkeiten zu ändern, für die es auf dem vorderen Bedienfeld keine eigenen Steuerelemente gibt. Jedes Mal, wenn der runde grüne Pfeil (↻) bei einer Softkey-Auswahl angezeigt wird, bedeutet das, dass der Drehknopf **Eingabe** diese Variable steuert. Lassen Sie uns nun Messungen mit Ihrem Oszilloskop durchführen!



Abbildung 7 Allgemeine Oszilloskop-Eingabesteuerung

1 Erste Schritte



2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

- Übung Nr. 1: Allgemeine Messungen vornehmen 16
- Übung Nr. 2: Grundlagen des Triggerns mit einem Oszilloskop 24
- Übung Nr. 3: Das Erfassen von Einzelaufnahmen 30
- Übung Nr. 4: Kompensieren von passiven 10:1-Messköpfen 32
- Übung Nr. 5: Dokumentierung und Speicherung von
Oszilloskop-Testergebnissen 38
- Übung Nr. 6: Verwenden von mathematischen Funktionen für
Oszilloskop-Wellenformen 43
- Übung Nr. 7: Der Zoom-Modus des Oszilloskops 48



Übung Nr. 1: Allgemeine Messungen vornehmen

Diese erste Übung demonstriert die Verwendung der horizontalen und vertikalen Skalierungssteuerungselemente des Oszilloskops, um das Gerät für die Darstellung einer periodischen Rechteckwelle ordnungsgemäß einzurichten. Darüber hinaus erfahren Sie, wie einfache Spannungs- und Zeitmessungen mit diesem Signal durchgeführt werden.

- 1 Schließen Sie den Funktionsgenerator an das Stromnetz an und schalten Sie das Oszilloskop ein.
- 2 Schließen Sie einen Oszilloskop-Messkopf zwischen dem Input-Kanal 1 (BNC-Anschluss) und dem Anschluss **Messsondenkomp.** an, der der „Impulsform“ entspricht, wie in [Abbildung 8](#) dargestellt. Verbinden Sie die Erdungsklemme des Messkopfs mit dem Erdungsanschluss. Beachten Sie, dass bei DSO1000A Series Oszilloskopen die Anschlüsse **Messsondenkomp.** unter der Anzeige liegen.

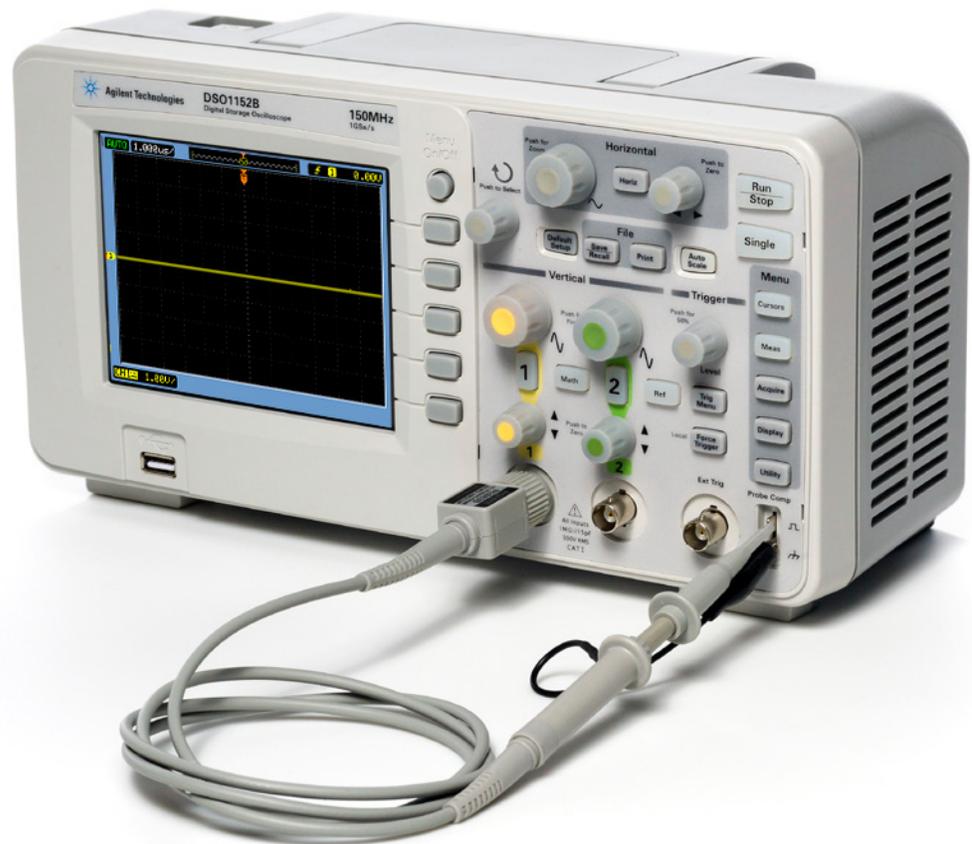


Abbildung 8 Schließen Sie einen Messkopf zwischen dem Input-Kanal 1 und dem Anschluss Messsondenkomp. an

Am Anschluss Messsondenkomp. ist stets eine 1 kHz Rechteckwelle vorhanden. Obwohl der Hauptzweck dieses Signals darin besteht, die Messköpfe des Oszilloskops zu kalibrieren/kompensieren (was wir in einer späteren Übung tun werden), verwenden wir dieses Signal für Oszilloskop-Übungen.

- 3 Drücken Sie die Taste [**Default Setup**] **Standardeinstellung** auf der Frontabdeckung.
Standardeinstellung stellt die Werkseinstellungen des Oszilloskops wieder her. Damit werden nicht nur die Skalierung der X- und Y-Achse des Oszilloskops zurückgesetzt, sondern auch spezielle Betriebsmodi, die Ihre Kommilitonen eventuell für ihre Arbeit verwendet haben. Die Standardeinstellung stellt weiterhin die Messkopfdämpfungsfaktoren auf 10X, sodass alle Amplitudenmessungen auf derselben Ebene wie das Signal an der Messkopfspitze referenziert werden. Bei Beginn neuer Messungen mit dem Oszilloskop empfiehlt es sich, mit einer Standardeinstellung zu beginnen. Passen wir nun die vertikalen und horizontalen sowie die Trigger-Einstellungen des Oszilloskops an, um die 1 kHz Rechteckwelle auf dem Display des Oszilloskops korrekt zu skalieren und anzuzeigen.
- 4 Drücken Sie die Taste [**Menu On/Off**] **Menü An/Aus** auf der Frontabdeckung (oben rechts im Display), um den Wellenformanzeigebereich des Oszilloskops zu erweitern.
- 5 Drehen Sie den Drehknopf **Trigger Level** im Uhrzeigersinn, bis die Triggerpegelinstellung ca. **1,5 Volt** anzeigt (oben rechts im Display) und die vorübergehende orangefarbene horizontale Triggerpegellinie die Mitte der Wellenform schneidet. In der nächsten Übung erfahren Sie mehr über die Oszilloskop-Triggerung.
- 6 Drehen Sie den großen Horizontal-Knopf (oben an der Frontabdeckung des Oszilloskops) gegen den Uhrzeigersinn, bis Sie mehr als zwei Perioden der Rechteckwelle sehen. Die korrekte Einstellung sollte **200 us/** betragen (Anzeige oben links im Display). Diese Einstellung ist eine Abkürzung für 200 μ Sek/Division. Im weiteren Verlauf verwenden wir für diese Oszilloskopeinstellung den Begriff „Zeitbasis“.
- 7 Drehen Sie den Positionsknopf Horizontal (kleinerer Knopf oben an der Frontabdeckung des Oszilloskops), um die Wellenform nach links und rechts zu bewegen. Drücken Sie diesen Knopf für eine Rücksetzung auf Null (0,0 Sekunden in der Bildschirmmitte).
- 8 Drehen Sie den vertikalen Positionsknopf von Kanal 1 (kleinerer gelber Knopf im vertikalen Bereich der Frontabdeckung, direkt über dem Eingangs-BNC), bis sich die Spitze der Wellenform in der Nähe der Anzeigemitte befindet. Die korrekte Einstellung sollte **-3,0 V** betragen (vorübergehende Anzeige unten links im Display).
- 9 Drehen Sie den Knopf Kanal-1 V/Div. (größerer gelber Knopf im vertikalen Bereich) im Uhrzeigersinn, bis unten links im Display „**500mV/**“ angezeigt wird. Dies bedeutet 500 mV/Div. Wenn Sie den Knopf Kanal-1 V/Div. drücken und dann Anpassungen vornehmen, sehen Sie als Ergebnis eine „Feinabstimmung“ der Einstellung. Ihr Dozent bezeichnet diese vielleicht auch als „Vernier-Abstimmung“ des Oszilloskops. Drücken Sie den Knopf

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

erneut, um zur „Grobabstimmung“ zurückzukehren und stellen Sie sie dann wieder auf **500 mV/**.

Die Anpassung der vertikalen Position des Oszilloskops und der V/Div.-Einstellung (s.o., Schritt Nr. 8 und Nr. 9) ist in der Regel ein iterativer Prozess. Erst wird ein Wert eingestellt und dann der andere; dann geht es wieder zurück, bis die Wellenform korrekt angezeigt wird.

Das Oszilloskop-Display wird jetzt wie in [Abbildung 9](#) angezeigt. Führen wir jetzt einige Messungen mit dieser Rechteckwelle durch. Beachten Sie, dass das Oszilloskop-Display grundsätzlich ein X/Y-Display ist. Auf der X-Achse (horizontal) wird die Zeit angezeigt, auf der Y-Achse (vertikal) die Spannung. In Ihren Elektrotechnik- und Physikseminaren haben Sie elektrische Signale vermutlich schon in einem ähnlichen, nur statischen Papierformat berechnet und grafisch dargestellt. Oder Sie haben verschiedene PC-Softwareanwendungen genutzt, um Ihre Wellenformen automatisch grafisch darzustellen. Wenn ein Oszilloskop ein periodisches Eingangssignal erhält, können wir dynamische (kontinuierlich aktualisierte) grafische Darstellungen unserer Wellenformen beobachten.

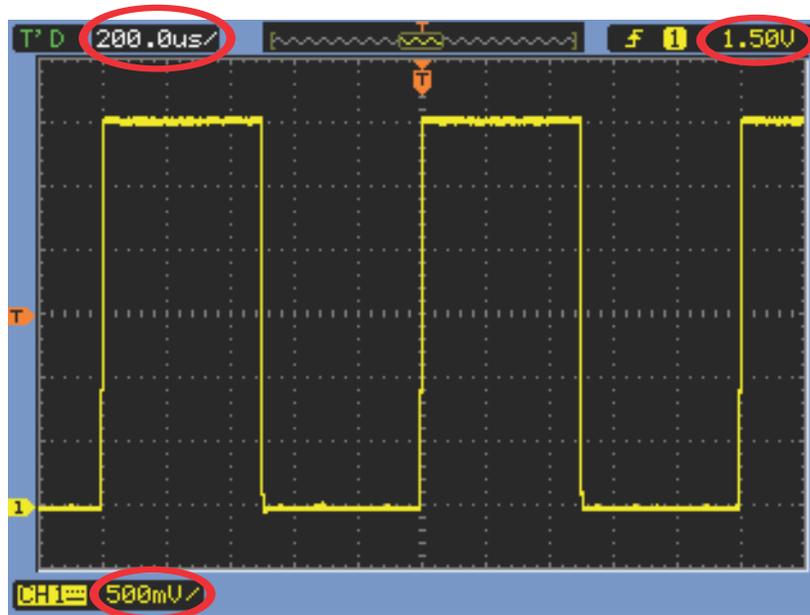


Abbildung 9 Einrichten der vertikalen und horizontalen sowie der Triggerpegel-Einstellungen zur Anzeige einer Wellenform

Die X-Achse (horizontal) besteht aus 12 Hauptdivisionen (wenn die Menüanzeige ausgeschaltet ist), die über das gesamte Display verteilt sind. Dabei entspricht eine einzelne Hauptdivision der s/div-Einstellung. In unserem Fall steht jede horizontale Hauptdivision 200 Mikrosekunden dar. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass die Zeitbasis des Oszilloskops wie oben beschrieben auf 200 $\mu\text{s}/\text{Div}$ eingestellt ist. Da auf dem Display 12 Divisionen dargestellt sind, werden von links nach rechts 2,4 ms ($200 \mu\text{s}/\text{div} \times 12$ Divisionen) ange-

zeigt. Beachten Sie, dass jede Haupt-Division zudem in vier Teildivisionen unterteilt ist (jeweils 0,2 Divisionen), die als Teilstriche dargestellt sind. Jede Teildivision steht in unserem Fall für $1/5 \text{ div} \times 200 \mu\text{s}/\text{Div} = 40 \mu\text{s}$.

Die Y-Achse (vertikal) besteht aus acht vertikalen Hauptdivisionen. Jede Hauptdivision entspricht der V/div-Einstellung. Diese ist auf 500 mV/div eingestellt. Damit kann das Oszilloskop Signale mit einem Höchstwert von bis zu 4 V_{p-p} (500 mV/div x 8 Divisionen) messen. Jede Hauptdivision ist zudem in fünf Teildivisionen von jeweils 0,2 Divisionen unterteilt. Jede als Teilstriche dargestellte Teildivision entspricht dann 100 mV.

- 10 Schätzen Sie die Pulsbreite (PW) von einem der positiven Impulse, indem Sie die Anzahl der Divisionen (Haupt- und Teildivisionen) von einer Anstiegsflanke bis zur nächsten Abfallflanke zählen und diese mit der s/div-Einstellung (in diesem Fall 200 $\mu\text{s}/\text{div}$) multiplizieren.

$$\text{PW} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 11 Schätzen Sie die Periode (T) einer der Rechteckwellen, indem Sie die Anzahl der Divisionen von einer steigenden Flanke zur nächsten steigenden Flanke zählen und diese mit der s/div-Einstellung multiplizieren.

$$\text{T} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 12 Wie hoch ist die Frequenz dieser Sinuswelle ($F = 1/T$).

$$\text{F} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 13 Schätzen Sie die Spitze-Spitze-Spannung dieser Wellenform, indem Sie die Anzahl der Divisionen vom unteren bis zum höchsten Bereich der Wellenform zählen und diese dann mit der V/div-Einstellung multiplizieren (sollte 500 mV/div sein).

$$\text{V}_{p-p} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Beachten Sie, dass das gelbe Label „1“ links im Display die Erdungsreferenz (0,0 V) der Kanal-1-Wellenform anzeigt. Wenn Kanal-2 dieses Oszilloskops auch eingeschaltet wäre, könnten Sie ein grünes Label „2“ sehen, das die Erdungsreferenz dieses Kanals angibt (0,0 V). Verwenden wir nun die Funktion „Cursor“ des Oszilloskops, um die gleichen Spannungs- und Zeitmessungen vorzunehmen.

- 14 Drücken Sie die Taste [**Cursor**] **Cursors** auf der Frontabdeckung und dann den Softkey **Modus**. Drehen Sie den Drehknopf **Eingabe**, bis **Manuell** markiert ist und drücken Sie dann den Knopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.
- 15 Drücken Sie den Softkey **CurA---**, bis dieser blau hervorgehoben ist (bitte beachten, dass er evtl. bereits blau hervorgehoben sein kann).
- 16 Drehen Sie den Knopf **Eingabe**, um den Zeit-Cursor A an der 1. Anstiegsflanke der Wellenform zu positionieren (links am Display).

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

- 17 Drücken Sie den Softkey **CurA**---, um diesen Cursor zu deaktivieren und drücken Sie dann den Softkey **CurB**---, um den Zeit-Cursor B zu aktivieren.
- 18 Drehen Sie den Knopf **Eingabe**, um den Zeit-Cursor B auf der zweiten Anstiegsflanke der Wellenform in der Mitte des Bildschirms zu positionieren. Das Oszilloskop-Display wird jetzt wie in [Abbildung 10](#) angezeigt.



Abbildung 10 Verwenden der Zeit-Cursor zur Messung von Periode und Frequenz der Rechteckwelle

- 19 Bestimmung von Periode und Frequenz dieser Wellenform

$$\Delta X = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$1/\Delta X = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 20 Drücken Sie den Softkey **Typ**, um von den **Zeit**-Cursor zu **Amplituden**-Cursor zu wechseln.
- 21 Drücken Sie den Softkey **CurB**---, um diesen Cursor zu deaktivieren und drücken Sie dann den Softkey **CurA**---, um den Amplituden-Cursor A zu aktivieren.
- 22 Drehen Sie den Knopf **Eingabe**, um den A-Amplituden-Cursor aus den unteren Bereich der Wellenform zu setzen.
- 23 Drücken Sie den Softkey **CurA**---, um diesen Cursor zu deaktivieren und drücken Sie dann den Softkey **CurB**---, um den B-Amplituden-Cursor zu aktivieren.

- 24 Drehen Sie den Knopf **Eingabe**, um den B-Amplituden-Cursor auf die Spitze der Wellenform zu setzen. Das Oszilloskop-Display wird jetzt wie in **Abbildung 11** angezeigt.

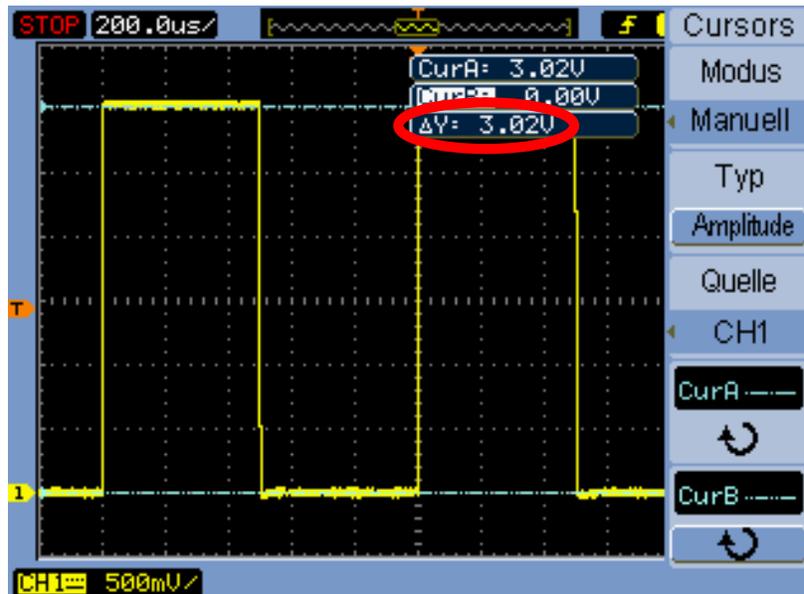


Abbildung 11 Messung der Spitze-Spitze-Spannung der Rechteckwelle mit Amplituden-Cursor

- 25 Bestimmung der obersten und untersten Amplitude sowie der V_{pp} -Amplitude dieser Wellenform

Unten (CurA) = _____

Oben (CurB) = _____

V_{pp} (ΔY) = _____

Die Verwendung der Cursor ermöglicht eine genauere Messung ohne Schätzungen. Lassen Sie uns nun eine noch einfachere und präzisere Methode für diese Messungen verwenden.

- 26 Drücken Sie die Taste [**Meas**] **Mess.** auf der Frontabdeckung. Beachten Sie, dass diese Taste der Frontabdeckung bei DSO1000A Series Oszilloskopen [**Measure**] **Mess.** heißt.
- 27 Wenn der Top Softkey mit **2/2** gekennzeichnet ist (Menü 2 von 2), drücken Sie diesen Softkey, um zu **1/2** (Menü 1 von 2) zu wechseln.
- 28 Drücken Sie den Softkey **Spannung**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **Vpp** hervorzuheben und drücken Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

- 29 Drücken Sie den Softkey **Spannung**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **Vpp** hervorzuheben und drücken Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.

Die Anzeige Ihres Oszilloskops sollte nun wie in [Abbildung 12](#) aussehen und die automatischen Vpp- und Frequenzmessungen unten im Display anzeigen.

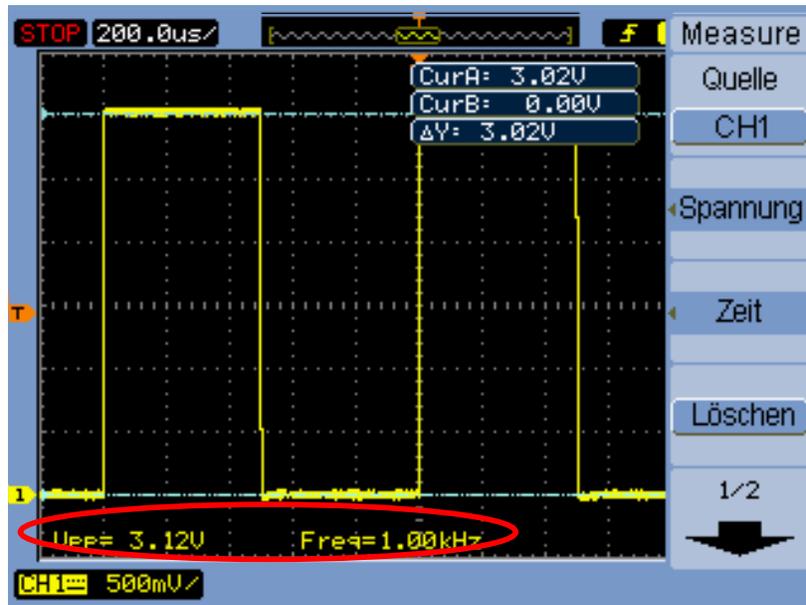


Abbildung 12 Verwendung der automatischen Parametermessungen des Oszilloskops

Die gängigste Methode zur Messung der Zeit und der Spannung auf einem Oszilloskop ist in der Regel die Methode „Divisionszählung“, die wir als erstes angewendet haben. Auch wenn die Divisionen gezählt und anschließend mit den Oszilloskopeinstellungen multipliziert werden müssen, können Ingenieure, die mit der Methode vertraut sind, die Spannungs- und Zeitparameter der Signale schnell schätzen. Und oftmals ist eine Grobschätzung ausreichend, um zu bestimmen, ob ein Signal gültig oder ungültig ist.

Vor der Zusammenfassung dieser ersten Übung möchten wir noch eine interessante Messung anwenden.

- 30 Drücken Sie den Softkey **1/2**, um zur zweiten Seite dieses Messmenüs zu gelangen.
- 31 Drücken Sie den Softkey **Alles anzeigen**, um zwischen **OFF** und **ON** zu wechseln.

Die Anzeige Ihres Oszilloskops sollte nun [Abbildung 13](#) entsprechen und eine umfassende Liste mit mehreren Parametermessungen zu unserer 1 kHz Rechteckwelle anzeigen.

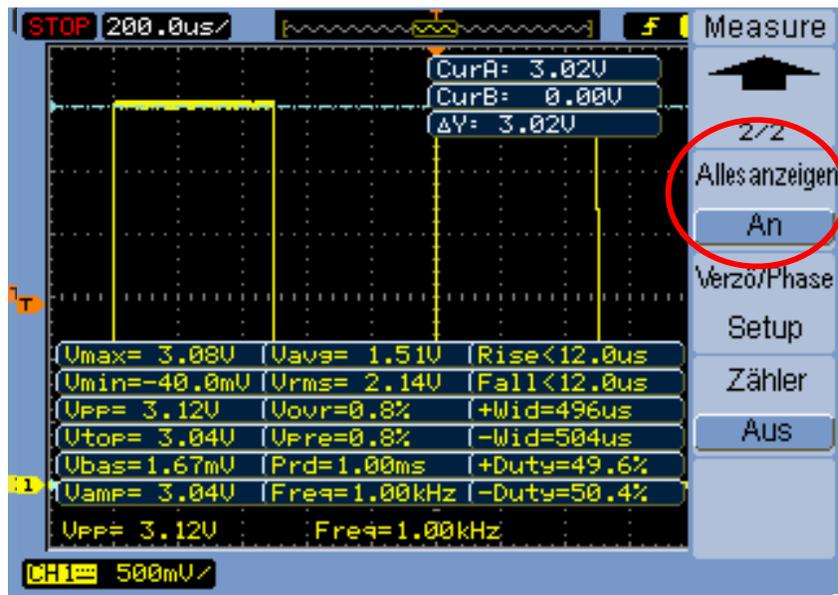


Abbildung 13 Ausführen „aller“ Spannungs- und Zeitmessungen für die Rechteckwelle

Einer der ersten Schritte dieser Übung zum Kennenlernen des Oszilloskops bestand in der Einstellung des Triggerpegels. Wie haben jedoch noch nicht erläutert, worum es sich bei der Oszilloskop-Triggerung eigentlich handelt. In der nächsten praktischen Übung erfahren Sie mehr über das Triggern eines Oszilloskops.

Übung Nr. 2: Grundlagen des Triggerns mit einem Oszilloskop

Wie oben schon erwähnt, ist das Triggern mit einem Oszilloskop wohl die wichtigste Funktion, wenn Sie die Oszilloskopmessungen optimal nutzen möchten. Diese Methode kommt besonders dann zum Einsatz, wenn Messungen an komplexen digitalen Signalen durchgeführt werden. Häufig ist das Triggern mit einem Oszilloskop jedoch der Aspekt des Oszilloskopbetriebs, der am wenigsten verstanden wird.

Sie können sich das Triggern mit einem Oszilloskop wie eine „synchronisierte Bildaufnahme“ vorstellen. Erfasst ein Oszilloskop ein periodisches Eingangssignal und stellt es dar, können pro Sekunde des Eingangssignals Tausende von Bildern aufgenommen werden. Um diese Wellenformen (oder Bilder) anzeigen zu lassen, muss die Bildaufnahme mit einem bestimmten Wert synchronisiert werden. Dieser Wert ist ein einmaliger Zeitpunkt des Eingangssignals.

Ein Fotofinish eines Pferderennens entspricht der Oszilloskoptriggerung. Auch wenn es sich dabei nicht um ein periodisches Ereignis handelt, muss die Blende der Kamera mit dem Zeitpunkt synchronisiert werden, zu dem die Nase des Pferdes die Ziellinie überquert. Zufällig aufgenommene Fotos des Pferderennens zwischen dem Start und dem Ende des Rennens entsprechen der Darstellung ungetriggelter Wellenformen auf einem Oszilloskop.

Zum besseren Verständnis des Triggervorgangs führen wir jetzt weitere Messungen mit der Rechteckwelle aus Übung Nr. 1 durch.

- 1 Stellen Sie sicher, dass Ihr Oszilloskop-Messkopf noch zwischen dem Anschluss mit der Bezeichnung „**Messsondenkomp.**“ und dem Input-Kanal 1 (BNC-Anschluss) angeschlossen ist.
- 2 Drücken Sie auf dem vorderen Bedienfeld des Oszilloskops **[Default Setup] Standardeinstellung**.
- 3 Drücken Sie **[Menu On/Off] Menü An/Aus**, um das Menü auszuschalten und den Anzeigebereich der Wellenform zu erweitern.
- 4 Drehen Sie den Triggerpegelknopf im Uhrzeigersinn, um den Triggerpegel in der Mitte der Wellenform einzustellen (ca. **1,5 V**).
- 5 Passen Sie den Kanal-1-Drehknopf für die vertikale Position so an, dass die Wellenform im Anzeigebereich des Oszilloskops zentriert wird.

Das Oszilloskop-Display sollte jetzt wie in [Abbildung 14](#) angezeigt werden. Wir setzen hierbei nur einen kleinen Ausschnitt dieser Rechteckwelle (rund um die Anstiegsflanke), da die Zeitbasis auf $1,0\mu\text{s}/\text{div}$ eingestellt ist. Denen Sie daran, dass die Periode dieses Signals ca. $1,0\text{ ms}$ entspricht. Beachten Sie das Symbol „T“ oben in der Anzeige. Es kennzeichnet den Zeitpunkt, bei dem das Oszilloskop auf dieser Wellenform triggert. Wellenformdaten, die vor dem Triggerpunkt erfasst werden (linke Seite des Displays) sind negative Zeitbereichsmessdaten; Wellenformdaten, die nach dem Triggerpunkt erfasst werden (rechte Seite des Displays) sind positive Zeitbereichsmessdaten. Beachten Sie nun das Symbol „T“ auf der linken Seite der Anzeige. Dieses kennzeichnet den Spannungspegel, bei dem das Oszilloskop auf dieser Wellen-

form triggert. Die Schnittstelle der beiden „T“-Symbole an der Anstiegsflanke der Wellenform ist der ungefähre Triggerpunkt (auch Synchronisationspunkt genannt).

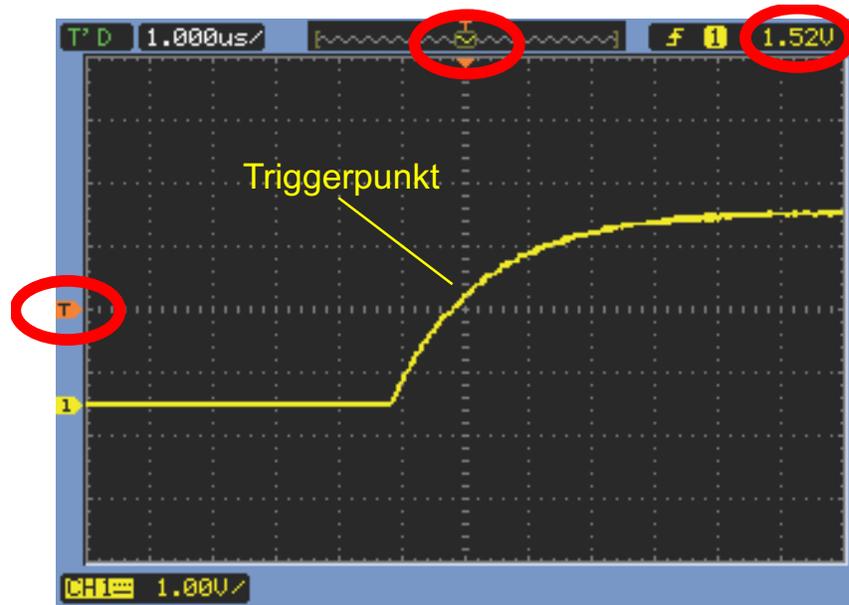


Abbildung 14 Triggern auf einer Anstiegsflanke

- 6 Drehen Sie den Triggerpegelknopf im Uhrzeigersinn, um die Triggerpegel­einstellung zu erhöhen und näher an den oberen Bereich der Wellenform zu bringen. Sie müssten sehen, wie die Wellenform nach links verschoben wird.
- 7 Drehen Sie den Triggerpegelknopf gegen den Uhrzeigersinn, um die Triggerpegel­einstellung zu senken und näher an den unteren Bereich der Wellenform zu bringen. Sie müssten sehen, wie die Wellenform nach rechts verschoben wird.
- 8 Triggerpegel auf ca. **1,5 V** zurücksetzen, in die Mitte der Wellenform.

In der Standardeinstellung wählt das Oszilloskop automatisch die Triggerung an Anstiegsflanken aus. Stellen wir nun das Oszilloskop so ein, dass an einer Abfallflanke dieser 1 kHz Rechteckwelle getriggert wird.

- 9 Drücken Sie die Taste **[Trig Menu] Triggermenü** auf dem vorderen Bedienfeld. Beachten Sie, dass diese Taste der Frontabdeckung bei DSO1000A Series Oszilloskopen **[Menu] Menü** heißt.
- 10 Drücken Sie den Softkey **Steigung**. Drehen Sie dann den **Eingabedrehknopf**, um das Abfallflankensymbol auszuwählen.

Die Anzeige Ihres Oszilloskops müsste jetzt eine Abfallflanke dieser Wellenform anzeigen und mit dieser synchronisiert sein (ähnlich wie in [Abbildung 15](#)). Nun lernen Sie etwas über Ablenkungsmodi.

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

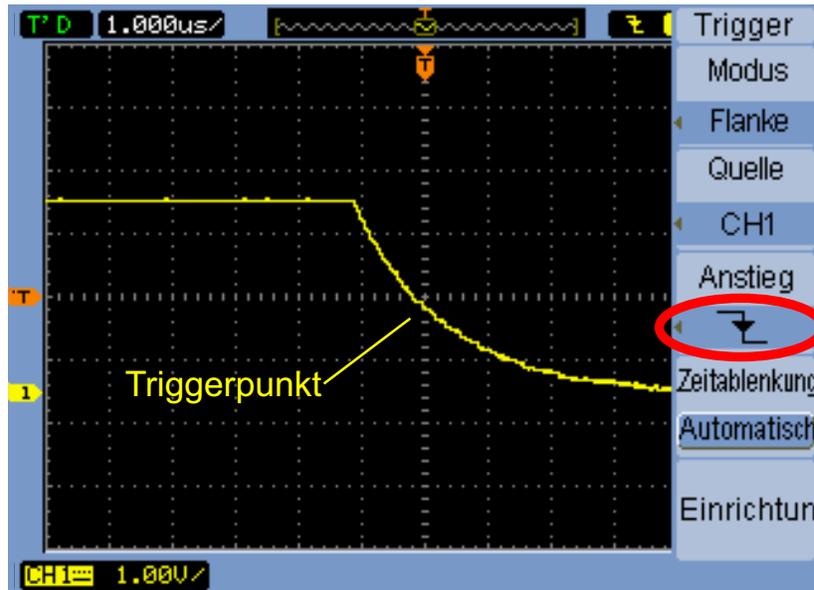


Abbildung 15 Triggern auf einer Abfallflanke

- 11 Drehen Sie den großen Horizontal-Knopf gegen den Uhrzeigersinn, um für die Zeitbasis $200 \mu\text{s}/\text{div}$ einzustellen. Nun sollten Sie beobachten, dass einige Perioden dieser Wellenform mit einer Abfallflanke der Rechteckwellenform weiterhin mit dem Punkt in der Bildschirmmitte synchronisiert sind.
- 12 Drehen Sie den Triggerpegelknopf im Uhrzeigersinn, bis die Triggerpegelanzeige sich über der Wellenform befindet.

Da der Triggerpegel über der Wellenform eingestellt ist, fehlt dem Oszilloskop ein Wert, mit dem die Bildaufnahme synchronisiert wird, wie in [Abbildung 16](#) dargestellt. Das Oszilloskop führt nun eine „automatische“ Triggerung durch und Sie sollten eine blinkende grüne „AUTO“ Meldung oben links im Display sehen. Sie zeigt an, dass das Oszilloskop automatische Trigger generiert. Diese automatischen Trigger sind jedoch nicht mit dem Eingangssignal synchronisiert. Beachten Sie, dass Sie dasselbe beobachten würden, wenn der Triggerpegel unter der Wellenform eingestellt wäre.

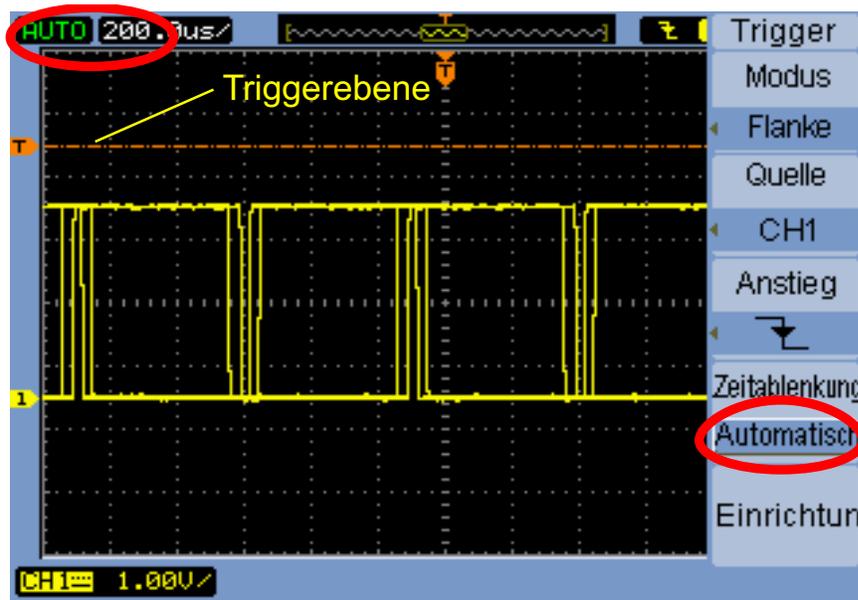


Abbildung 16 Auto-Trigger mit einem Triggerpegel über dem Eingangssignal

Auto ist der Standard-Ablenkungsmodus (oder Trigger-Modus) des Oszilloskops. Wenn das Oszilloskop im automatischen Ablenkungsmodus arbeitet und keine gültige Triggerbedingung findet (in diesem Fall, wenn die Abfallflanke die 1 kHz Rechteckwellenform schneidet), generiert das Oszilloskop seine eigenen asynchronen Trigger und beginnt mit den Bildaufnahmen (Erfassungen) des Eingangssignals zu zufälligen Zeitpunkten. Da die „Bildaufnahme“ jetzt zufällig und nicht mit dem Eingangssignal synchronisiert durchgeführt wird, werden nur „unscharfe“ oder zufällig angezeigte Wellenformen angezeigt. Diese zufällig angezeigten Wellenformen sind ein Hinweis darauf, dass das Oszilloskop nicht mehr auf dem Eingangssignal triggert.

Beachten Sie bitte, dass der Begriff „Ablenkung“ aus der veralteten Terminologie der analogen Oszilloskope übernommen wurde. Er stammt aus der Zeit, in der Oszilloskope mit älterer Technologie - wie sie Ihre Dozenten in ihrem Studium wahrscheinlich benutzt haben – einen Elektronenstrahl über eine Kathodenstrahlröhre (CRT) „ablenkten“ oder umlenkten. Digitale Speicheroszilloskope (DSOs) führen keine „Ablenkung“ mehr durch, sondern digitalisierten Eingangssignale mit einem A/D Wandler (ADC). Dann werden die digitalisierten Punkte als Bitmap auf dem Flachbildschirm des Oszilloskops angezeigt. Doch der Begriff „Ablenkung“ wird auch heute noch häufig verwendet. Sie müssen jedoch wissen, dass diese Betriebsart bei manchen modernen Oszilloskopen auch „Triggermodus“ heißt.

- 13 Drücken Sie den Triggerpegel-Drehknopf, um den Triggerpegel automatisch auf ca. 50% einzustellen.
- 14 Trennen Sie den Kanal-1-Messkopf vom Anschluss „Messsondenkomp.“.

Da der Kanal-1-Messkopf nicht mehr mit der Signalquelle verbunden ist, wird jetzt ein Basislinien-DC-Signal von 0,0 V angezeigt. Da mit diesem 0,0 V DC-Signal keine Flankenschnittstellen mehr auftreten und das Oszilloskop über keinen zu triggerenden Wert verfügt, führt das Oszilloskop erneut eine automatische Triggereung durch, um uns dieses flache DC-Signal anzuzeigen.

Neben dem Standard-Ablenkungsmodus „Auto“ verfügt das Oszilloskop über einen weiteren wählbaren Ablenkungsmodus, der als „Normal-Ablenkungsmodus“ bezeichnet wird. Sehen wir uns den Unterschied zwischen den Ablenkungsmodi „Normal“ und „Auto“ an.

- 15 Trennen Sie den Kanal-1-Messkopf vom Anschluss „**Messsondenkomp.**“. Die getriggerte Rechteckwelle wird erneut angezeigt.
- 16 Drücken Sie den Softkey **Zeitablenkung**, um vom Ablenkungsmodus **Auto** zum Ablenkungsmodus **Normal** zu wechseln.
- 17 Trennen Sie den Kanal-1-Messkopf erneut vom Anschluss „**Messsondenkomp.**“.

Jetzt wird die letzte Erfassung (letztes Bild) vor dem Entfernen des Messkopfs angezeigt, oder evtl. eine Transiente. Weiterhin sollte oben links im Display die blinkende Meldung „Warten“ angezeigt werden. Dies zeigt an, dass das Oszilloskop auf gültige Triggerereignisse wartet. Beachten Sie, dass die 0,0 V DC-Messkurve, die der Ablenkungsmodus „Auto“ beim Trennen des Messkopfes anzeigte, nicht sichtbar ist. Wird der Ablenkungsmodus „Normal“ gewählt, zeigt das Oszilloskop nur dann Wellenformen an, wenn das Oszilloskop gültige Triggerbedingungen erkennt (in diesem Fall Flankenschnittpunkte).

- 18 Drehen Sie den Trigger-Drehknopf im Uhrzeigersinn, um den Triggerpegel bei ca. **+4.00 V** einzustellen (das liegt über unserer Rechteckwelle – wenn der Messkopf angeschlossen wäre).
- 19 Trennen Sie den Kanal-1-Messkopf vom Anschluss „**Messsondenkomp.**“.

Die Rechteckwelle ist jetzt verbunden und wird am Oszilloskop eingegeben. Aber wo befindet sich das periodische Signal? Da wir im Ablenkungsmodus „Normal“ arbeiten, benötigt das Oszilloskop gültige Flankenschnittpunkte. Diese treten jedoch in unserem Fall nicht auf, da der Triggerpegel über der Wellenform liegt (bei +4,00 V). Sie sehen also, dass wir im Ablenkungsmodus „Normal“ nicht wissen, wo unsere Wellenform liegt und daher auch den DC nicht messen können.

- 20 Drücken Sie den Triggerpegel-Drehknopf, um den Triggerpegel automatisch auf ca. **50%** einzustellen. Das Oszilloskop zeigt wieder periodische Wellenformen an.

Der heutige Ablenkungsmodus „Normal“ entspricht auf einigen älteren Oszilloskopen dem Ablenkungsmodus „Getriggert“. Dabei handelt es sich eher um eine Beschreibung dieses Triggermodus, da das Oszilloskop in diesem Modus nur dann triggert, wenn es eine gültige Triggerbedingung erkennt und keinen automatischen Trigger (asynchroner Trigger zur Generierung einer asynchronen Bildaufnahme) generiert. Und es ist eher ein Widerspruch in sich, dass der Ablenkungsmodus „Normal“ nicht der „normal“ verwendete Ablenkungs-

des bzw. der Standard-Ablenkungsmodus des Oszilloskops ist. Der normal verwendete Triggermodus und somit der Standardtriggermodus des Oszilloskops ist der Ablenkungsmodus „Auto“.

An dieser Stelle ist Ihnen vielleicht nicht ganz klar, wann Sie den Ablenkungsmodus „Normal“ verwenden. Der Ablenkungsmodus „Normal“ wird dann verwendet, wenn das Triggerereignis sehr unregelmäßig auftritt (einschließlich Einzelaufnahmen). Beispiel: Wenn Sie das Oszilloskop für die Erfassung und Anzeige eines Signals eingerichtet haben, das nur mit einer Rate von $\frac{1}{2}$ Hz (ein Zyklus alle zwei Sekunden) auftritt und das Oszilloskop im Ablenkungsmodus „Auto“ arbeitet, generiert das Oszilloskop zahlreiche asynchron generierte, automatische Trigger und kann dieses langsam wechselnde Signal nicht anzeigen. In diesem Fall wählen Sie den Ablenkungsmodus „Normal“, sodass das Oszilloskop erst dann Wellenformen anzeigt, wenn gültige Triggerereignisse auftreten. Wenn Ihr Labor über einen Funktionsgenerator verfügt, können Sie versuchen, die Frequenz auf 0,5 Hz zu stellen und dann den Unterschied zwischen den Ablenkungsmodi „Auto“ und „Normal“ Ihres Oszilloskops beobachten.

Übung Nr. 3: Das Erfassen von Einzelaufnahmen

Bisher haben wir repetitive Wellenformen erfasst – in anderen Worten: sich wiederholende Signale. Im Falle der Rechteckwelle mit 1 kHz wiederholt sich dieses Signal jede Sekunde 1.000 Mal. Doch manchmal müssen Ingenieure Einzelaufnahmen (oder -signale) erfassen, die nur einmal auftreten. Digitale Speicheroszilloskope (DSOs) sind aufgrund ihrer schnellen Abtastrate besonders gut für die Erfassung von Einzelaufnahmen geeignet. Doch die Einstellung des Oszilloskops zur Erfassung von Einzelaufnahmen ist etwas komplizierter als die Einstellung eines Oszilloskop zur Erfassung einer repetitiven Wellenform. Sie können die Einrichtungseinstellungen wie V/div und sec/div nicht mehr während der Anzeige der Wellenform abstimmen. Das Signal ist dazu nicht vorhanden. Sie benötigen einige Informationen zu den ungefähren Eigenschaften der Einzelaufnahme (z. B. Amplitude und Ereignisbreite), um das Oszilloskop für ihre Erfassung einzurichten. Nehmen wir einmal an, Sie wissen, dass die Einzelaufnahme eine Spitze-Spitze-Amplitude von ca. 2 Vpp und eine Ereignisbreite von ca. 10 Millisekunden hat. Richten wir nun das Oszilloskop für die Erfassung einer Einzelaufnahme mit diesen Eigenschaften ein.

- 1 Drücken Sie die Taste [**Default Setup**] **Standard-einstellung** auf der Frontabdeckung.
- 2 Trennen Sie den Kanal-1-Messkopf (Messkopfgreifer und Erdungsklemme) vom Anschluss „**Messsondernkomp.**“.
- 3 Stellen Sie die Zeitbasis des Oszilloskops auf **1,000 ms/Div** ein.
- 4 Stellen Sie die Kanal-1-V/div auf **200 mV/div**.
- 5 Stellen Sie den Triggerpegel auf ca. **300 mV**.
- 6 Drücken Sie die Taste **Trig [Trigger]** auf dem vorderen Bedienfeld. Beachten Sie, dass diese Taste der Frontabdeckung bei DSO1000A Series Oszilloskopen [**Menu**] **Menü** heißt.
- 7 Drücken Sie den Softkey **Zeitablenkung**, um vom Ablenkungsmodus **Auto** zum Ablenkungsmodus **Normal** zu wechseln.
- 8 Drücken Sie die Taste [**Menu On/Off**] **Menü An/Aus** auf dem vorderen Bedienfeld.
- 9 Drücken Sie die Taste [**Single**] **Einzel-Aufnahme** auf der Frontabdeckung.
- 10 Nehmen Sie den Messkopf und klopfen Sie damit leicht gegen Ihren (Labor-)Tisch, um eine kleine elektrostatische Entladung hervorzurufen und zu erfassen.

Jetzt kann es sein, dass eine gespeicherte Wellenform auf dem Display Ihres Oszilloskops angezeigt wird, die [Abbildung 17](#) entspricht. Wahrscheinlich sieht sie jedoch etwas anders aus. Wenn Ihr Oszilloskop nichts erfasst hat, sollten Sie versuchen, den Triggerpegel zu senken. Drücken Sie erneut die Taste [**Single**] **Einzel-Aufnahme** auf der Frontabdeckung und klopfen Sie dann mit dem Messkopf noch einmal leicht auf den Labortisch. Drücken Sie zur Erfassung mehrerer Single-Shot-Events erneut die Taste [**Single**] **Einzel-Aufnahme**, bevor das Ereignis das nächste Mal auftritt.

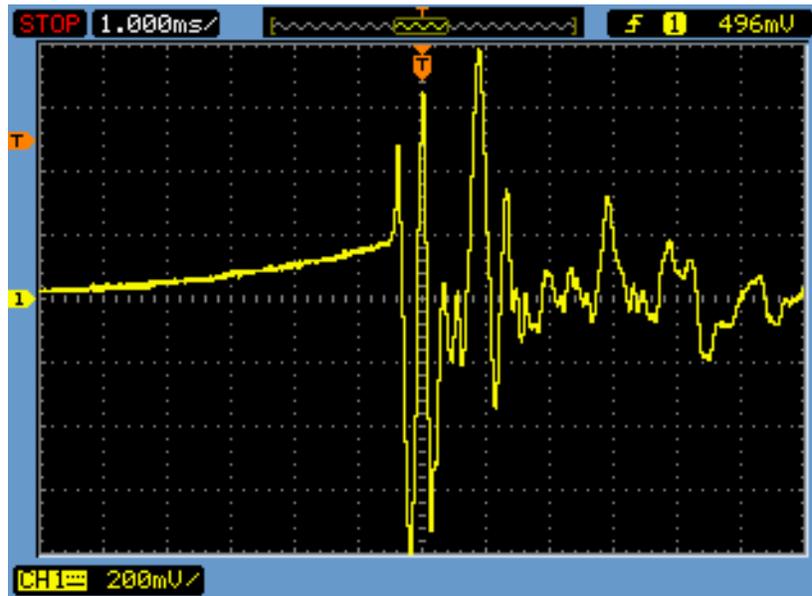


Abbildung 17 Einrichten des Oszilloskops für die Erfassung einer Einzelaufnahme

Versuchen wir nun, mehrere unregelmäßige Ereignisse zu erfassen, um die Verwendung des Ablenkungsmodi „Normal“ besser zu verstehen, der in der letzten Übung behandelt wurde.

- 11 Drücken Sie auf dem Bedienfeld die Taste **[Run/Stop] Start/Stop** (die Taste sollte grün aufleuchten).
- 12 Beginnen Sie damit, ihren Messkopf langsam (ca. einmal pro Sekunde) auf den Labortisch zu klopfen.

Sie sollten beobachten, dass das Oszilloskop jede Einzelaufnahme erfasst. Setzen wir nun den Ablenkungsmodus auf „Auto“ und sehen uns an, was passiert.

- 13 Drücken Sie die Taste **[Trig Menu] Triggermenü** auf dem vorderen Bedienfeld. Beachten Sie, dass diese Taste der Frontabdeckung bei DSO1000A Series Oszilloskopen **[Menu] Menü** heißt.
- 14 Drücken Sie den Softkey **Zeitablenkung**, um den Modus von **Normal** zu **Auto** zu ändern.
- 15 Beginnen Sie damit, ihren Messkopf erneut langsam auf den (Labor-)Tisch zu klopfen.

Sie sollten nun beobachten können, dass das Oszilloskop die Einzelaufnahme selten erfasst. Ist dies der Fall, wird sie zufällig irgendwo auf dem Display angezeigt – nicht an der Triggerposition in der Mitte des Bildschirms. Dies ist der Fall, weil das Oszilloskop automatisch triggert. Denken Sie daran: Der Ablenkungsmodus (Triggermodus) Auto funktioniert zur Erfassung repetitiver Wellenformen sehr gut, sollte jedoch nicht zur Erfassung von Ereignissen mit niedriger Wiederholrate oder Einzelaufnahmen verwendet werden.

Übung Nr. 4: Kompensieren von passiven 10:1-Messköpfen

Sie haben jetzt die ersten drei Übungen dieser Oszilloskop-Schulungsanleitung abgeschlossen und wissen, wie Sie mit dem Oszilloskop grundlegende Spannungs- und Zeitmessungen durchführen. An dieser Stelle gehen wir einen Schritt zurück und erläutern erneut das Thema Abtasten. Im Abschnitt [Erste Schritte](#) dieser Anleitung wurde das Abtasten kurz erläutert. Darüber hinaus finden Sie dort das elektrische Eingangsmodell der Kombination mit einem passiven 10:1-Messkopf und dem Oszilloskop-Eingang. Das elektrische Modell des Messkopfs und des Oszilloskops ist erneut in [Abbildung 18](#) dargestellt.

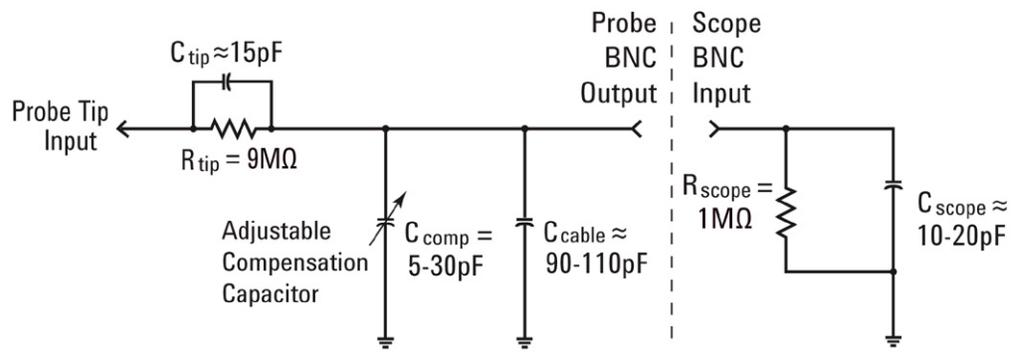


Abbildung 18 Vereinfachte Darstellung eines passiven 10:1-Messkopfs, an dem eine Eingangsimpedanz von 1 MΩ anliegt.

Sie wissen bereits, dass Sie die kapazitiven Komponenten in diesem elektrischen Modell außer Acht lassen können und lediglich die resistiven Komponenten berücksichtigen müssen. Bei der Betrachtung der resistiven Komponenten haben wir festgelegt, dass ein Widerstandswert von 9 MΩ an der Spitze des Messkopfs in Kombination mit der Eingangsimpedanz von 1 MΩ des Oszilloskops ein Spannungsteilerverhältnis von 10 zu 1 ergibt. Bei Niederfrequenz- oder DC-Anwendungen können die kapazitiven Elemente ignoriert werden. Möchten Sie jedoch dynamische Signale messen (primäre Messanwendung von Oszilloskopen) müssen die kapazitiven Elemente dieses elektrischen Modells berücksichtigt werden.

Parasitärkapazitäten sind bei allen Oszilloskop-Messköpfen und Oszilloskop-Eingängen inhärent. Dazu gehören sowohl die Kapazität des Messkopfkabels (C_{cable}) als auch die Kapazität des Oszilloskop-Eingangs (C_{scope}). „Inhärent/parasitär“ bedeutet, dass diese Elemente des elektrischen Modells nicht absichtlich vorgesehen sind, sondern einfach existieren. Der Umfang der inhärenten/parasitären Kapazität variiert je nach Oszilloskop und Messkopf. Ohne zusätzliche vorgesehene kapazitive Komponenten zur Kompensation der inhärenten, kapazitiven Elemente des Systems kann der Blindwiderstand des Systems unter dynamischen Signalbedingungen (non-DC) die gesamte dynamischen Dämpfung des Abtastsystems auf ein anderes Verhältnis als das

gewünschte Verhältnis von 10:1 verändern. Um eine kapazitive Blindwiderstandsämpfung aufzubauen, die der resistiven Dämpfung von 10:1 entspricht, wird neben dem einstellbaren Kompensationskondensator (C_{comp}) ein zusätzlicher/vorgesehener Tastkopfspitzenkondensator (C_{tip}) verwendet. Ist der Kompensationskondensator ordnungsgemäß eingestellt, stimmen die Zeitkonstante der Tastkopfspitzenkapazität, die parallel zum $9\text{ M}\Omega$ -Widerstand geschaltet ist, mit der Zeitkonstanten der Inhärent- und Kompensationskapazität, die parallel zum $1\text{ M}\Omega$ -Eingangswiderstand des Oszilloskop geschaltet ist, überein.

Soweit die Theorie. Legen wir jetzt ein Signal an und schauen wir uns den Einfluss von Unterkompensation, Überkompensation und ordnungsgemäße Kompensation an.

- 1 Schließen Sie einen Oszilloskop-Messkopf zwischen dem BNC-Eingang von Kanal 1 und dem Anschluss mit der Bezeichnung **Messsondenkomp.** an. Verbinden Sie die Erdungsklemme des Messkopfs mit dem Masseanschluss.
- 2 Schließen Sie einen anderen Oszilloskop-Messkopf zwischen dem BNC-Eingang von Kanal 2 und dem Anschluss mit der Bezeichnung **Messsondenkomp.** an. Verbinden Sie die Erdungsklemme des Messkopfs mit dem Masseanschluss.
- 3 Drücken Sie auf dem vorderen Bedienfeld des Oszilloskops [**Default Setup**] **Standardeinstellung.**
- 4 Drücken Sie die Taste [**2**] auf dem vorderen Bedienfeld (zwischen den beiden grünen Knöpfen), um Kanal-2 einzuschalten.
- 5 Drücken Sie die Taste [**Menu On/Off**] **Menü An/Aus** auf dem vorderen Bedienfeld, um den Anzeigebereich der Wellenform zu erweitern.
- 6 Stellen Sie die horizontale Zeitbasis auf **200.0 $\mu\text{s}/\text{div}$.**
- 7 Drücken Sie den Triggerpegel-Knopf, um den Triggerpegel automatisch auf ca. 50% einzustellen.
- 8 Vertikale Position von Kanal 2 (kleiner grüner Knopf) anpassen, um die Kanal-2-Wellenform (grüne Kurve) unter der Kanal-1-Wellenform (gelb) zu positionieren.

Wurden die Messköpfe ordnungsgemäß kompensiert, sehen Sie auf dem Oszilloskop-Display zwei 1 kHz-Rechteckwellen mit einem ebenen Frequenzgang, ähnlich wie in [Abbildung 19](#). Passen wir nun die Messkopfkompensation für jeden Messkopf an.

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

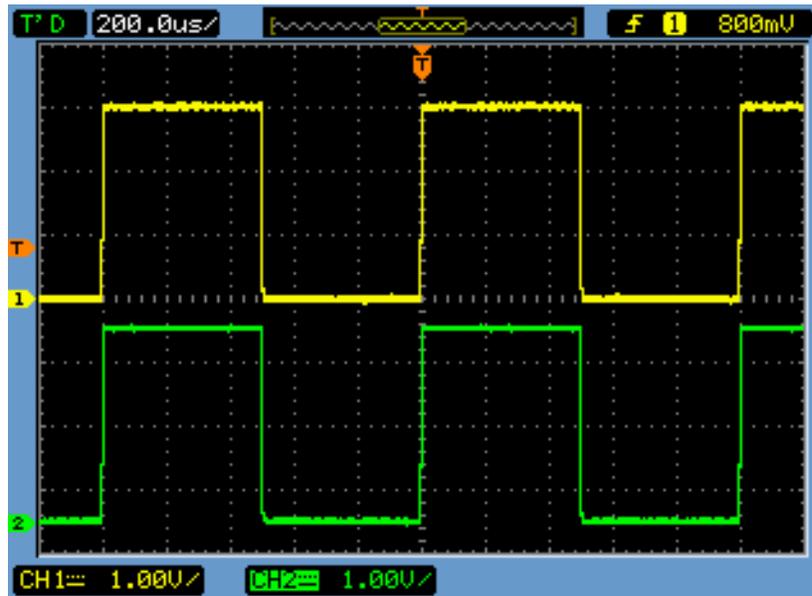


Abbildung 19 Verwendung des 1-kHz-Messkopfkompensationssignals des Oszilloskops zur Kompensation der passiven 10:1-Messköpfe

- 9 Stellen Sie den variablen Kondensator an den Messköpfen mit einem kleinen Schlitzschraubendreher ein. Beachten Sie, dass sich diese Einstellung bei einigen Messköpfen neben dem BNC-Anschluss befindet.

Abbildung 20 zeigt ein Beispiel für einen überkompensierten (zu hohe Kapazität) Kanal-1-Messkopf (gelbe Wellenform) und einen unterkompensierten (zu geringe Kapazität) Kanal-2-Messkopf (grüne Wellenform). Wenn Sie keine annähernd perfekte Rechteckwelle erkennen, stellen Sie die Messkopfkompensation Ihrer Messköpfe solange ein, bis die Wellenformen auf Ihrem Oszilloskop der Darstellung in **Abbildung 19** entspricht.

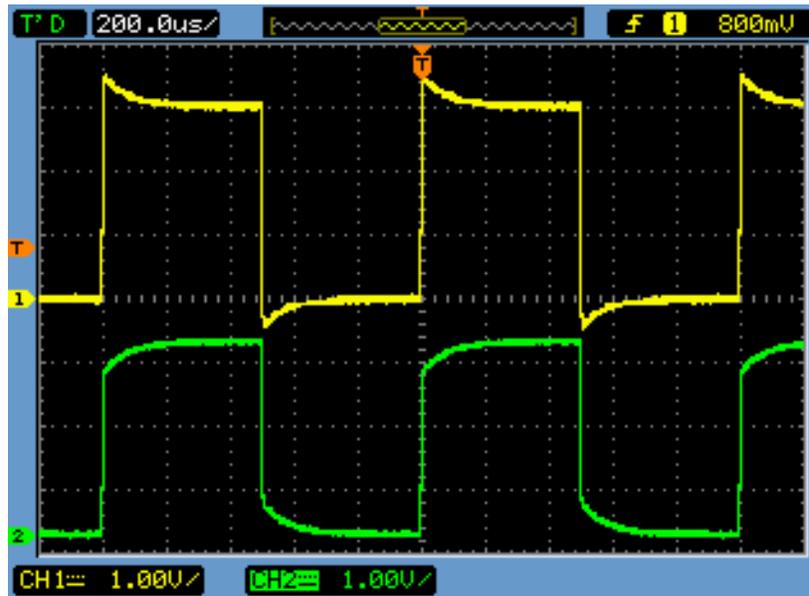


Abbildung 20 Ungenügend kompensierte Messköpfe

Nach der ordnungsgemäßen Einstellung Ihrer Messköpfe ist bei der nächsten Verwendung des Oszilloskops keine Neueinstellung erforderlich, solange Sie diese Messköpfe mit dem Oszilloskop verwenden.

An dieser Stelle ist der praktische Teil dieser Übung abgeschlossen. Der nächste Teil dieser Übung besteht in einer ausführlichen Darstellung der Theorie von Messsondenkompensation und -belastung. Ihr Dozent teilt Ihnen diese vielleicht als Hausaufgabe zu. Ist dies der Fall, möchten Sie vielleicht zur nächsten Übung übergehen und diesen Abschnitt später lesen.

Berechnung des richtigen Werts der kapazitiven Kompensation

Berechnen Sie mit der folgenden Voraussetzung den Wert der Kompensationskapazität (C_{comp}) für die richtige Kompensation:

$$R_{\text{tip}} = 9 \text{ M}\Omega$$

$$R_{\text{scope}} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$C_{\text{scope}} = 15 \text{ pF}$$

$$C_{\text{cable}} = 100 \text{ pF}$$

$$C_{\text{tip}} = 15 \text{ pF}$$

$$C_{\text{parallel}} = C_{\text{scope}} + C_{\text{cable}} + C_{\text{comp}}$$

$$C_{\text{comp}} = ?$$

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

Die einfachste Möglichkeit zur Berechnung des erforderlichen Werts der Kompensationskapazität (C_{comp}) ist die Gleichsetzung der Zeitkonstante ($1/RC$) der parallelen Kombination von R_{tip} und C_{tip} mit der Zeitkonstante der parallelen Kombination von R_{scope} und C_{parallel} :

$$\frac{1}{R_{\text{tip}} \times C_{\text{tip}}} = \frac{1}{R_{\text{scope}} \times C_{\text{parallel}}}$$

Beachten Sie, dass C_{parallel} die Kombination von drei kapazitiven Elementen des Messkopf-/Oszilloskop-Modells ist.

Eine andere Berechnungsmöglichkeit ist die Gleichsetzung des neunfachen Werts des kapazitiven Blindwiderstands von C_{parallel} mit dem einfachen Wert des kapazitiven Blindwiderstands von C_{tip} . Dadurch ergibt sich derselbe Dämpfungsfaktor kapazitiver Blindwiderstände wie im Fall eines nur resistiven Netzwerks (10:1).

$$\frac{1}{2\pi f C_{\text{tip}}} = 9 \times \frac{1}{2\pi f C_{\text{parallel}}}$$

$$C_{\text{comp}} = \text{_____}$$

Messkopfbelastung

Neben der ordnungsgemäßen Kompensation der passiven 10:1-Messköpfe muss auch die Messkopflast berücksichtigt werden, um möglichst genaue Oszilloskopmessungen zu erzielen. Anders ausgedrückt: Wird durch das Anschließen von Messsonde und Oszilloskop an das Messobjekt das Verhalten der Schaltung beeinflusst? Wenn Sie ein beliebiges Gerät an Ihre Schaltung anschließen, wird das Gerät selbst ein Teil des DTU und kann das Verhalten der Signale in gewissem Maße „belasten“ oder verändern. Verwenden wir die oben angegebenen Werte der Widerstände und Kapazitäten (zusammen mit dem berechneten Wert für C_{comp}), können wir den Lasteffekt des Tastkopfs und des Oszilloskops als die parallele Kombination eines einzelnen Widerstands und Kondensators, wie in [Abbildung 21](#) dargestellt, nachstellen.

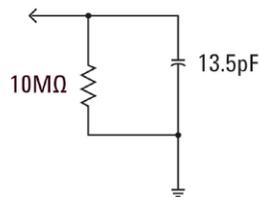


Abbildung 21 Lastmodell eines passiven 10:1-Tastkopfs und eines Oszilloskops

Bei Niederfrequenz- oder DC-Anwendungen wird die Last von dem 10 MΩ-Widerstand dominiert. Dies sollte in den meisten Fällen kein Problem darstellen. Was geschieht aber, wenn wir ein digitales 100 MHz-Taktsignal

abtasten? Der Wert der fünften Oberwelle dieses Digitaltakts, die eine wichtige Rolle in der Entstehung der Form dieses Signals spielt, beträgt 500 MHz. Berechnen Sie jetzt den Blindwiderstand, der durch die 13,5 pF-Kapazität dieses Lastmodells in [Abbildung 21](#) hervorgerufen wird:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 500 \times 10^6 \times 13.5 \times 10^{-12}} = 23.6\Omega$$

Auch wenn 13,5 pF nicht sehr hoch scheint, ist diese Lastkapazität bei höheren Frequenzen sehr erheblich. Für Hochfrequenzanwendungen wie diese bieten die meisten Anbieter von Oszilloskopen optionale, aktive Abtastlösungen mit erheblich niedrigeren Eingangskapazitäten (sub pF) an. Diese speziellen Tastköpfe sind jedoch wesentlich teurer als ein gängiger passiver 10:1-Messkopf.

Beachten Sie, dass die dargestellten Messkopf-Oszilloskop-Modelle in dieser Übung stark vereinfacht sind. Genauere Modelle umfassen außerdem induktive Elemente. Kabel, speziell die Erdungsleitung, sollten insbesondere für Hochfrequenzanwendungen als ein induktives Element betrachtet werden.

Zur Durchführung Ihres eigenen Messkopfbelastungsversuchs müssen Sie den Anwendungshinweis mit dem Titel *Versuch zur Messsondenbelastung von Oszilloskopen* herunterladen, der im Abschnitt „[Weiterführende Literatur zu Agilent](#)“ dieses Dokuments aufgeführt ist.

Übung Nr. 5: Dokumentierung und Speicherung von Oszilloskop-Testergebnissen

Wenn Sie Ihre verschiedenen Übungsaufgaben abgeschlossen haben, möchte Ihr Dozent eventuell einen Testbericht von Ihnen bekommen. Es kann notwendig sein, Ihren Übungsberichten Abbildungen (Bilder) Ihrer Messungen hinzuzufügen. Darüber hinaus möchten Sie eventuell die Tests zu einem späteren Zeitpunkt fortsetzen, wenn Sie eine Übungsaufgabe nicht abschließen konnten. Es ist außerdem von Vorteil, wenn Sie an der Stelle weiterarbeiten können, an der Sie aufgehört haben, ohne das Oszilloskop erneut einzurichten oder Wellenformen neu erfassen zu müssen. In dieser Übung lernen Sie, wie Sie unterschiedliche Oszilloskop-Dateitypen inkl. Abbildungen, Referenzwellenformen und Einstellungen speichern und erneut aufrufen können. Für diese Übung benötigen Sie ein eigenes USB-Speichergerät.

- 1 Stellen Sie sicher, dass Ihr Oszilloskop-Messkopf noch zwischen dem Anschluss mit der Bezeichnung „**Messsondenkomp.**“ und dem Input-Kanal 1 (BNC-Anschluss) angeschlossen ist.
- 2 Drücken Sie auf dem vorderen Bedienfeld des Oszilloskops **[Default Setup] Standardeinstellung**.
- 3 Drücken Sie die Taste **[Menu On/Off] Menü An/Aus** auf dem vorderen Bedienfeld, um den Anzeigebereich der Wellenform zu erweitern.
- 4 Stellen Sie die Zeitbasis des Oszilloskops auf **200 $\mu\text{s}/\text{div}$** .
- 5 Drücken Sie den Triggerpegel-Drehknopf, um die Triggerung bei einem Triggerpegel von ca. **50 %** einzustellen.

Nun sollten Sie einige Zyklen der 1 kHz Rechteckwelle sehen, wie in [Abbildung 22](#) dargestellt. Speichern wir nun diese Abbildung (dieses Bild).

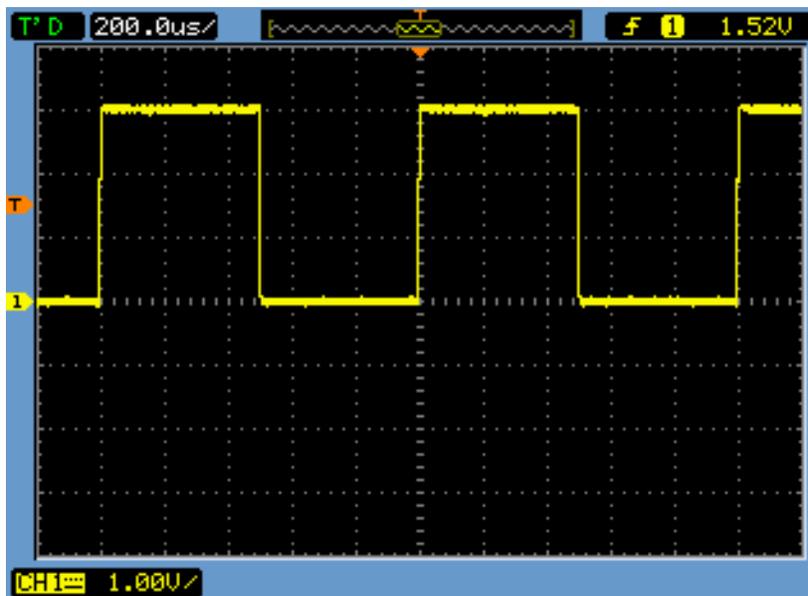


Abbildung 22 Zwei Zyklen einer 1 kHz-Rechteckwelle, die zu Dokumentationszwecken und für späteren Analysen gespeichert werden

- 6 Verbinden Sie Ihr USB-Speichergerät mit dem USB-Anschluss des Oszilloskops am vorderen Bedienfeld.
- 7 Drücken Sie die Taste [**Save/Recall**] **Speichern/Laden** im Bereich „Datei“ des vorderen Bedienfelds.
- 8 Drücken Sie den Softkey **Speicherung**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **PNG** zu markieren und drücken Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um dies als Typ des Speichervorgangs/Dateityp auszuwählen, den Sie speichern oder laden möchten.
- 9 Drücken Sie den Softkey **Extern**, um Daten entweder in einem externen USB-Speichergerät zu speichern oder von diesem zu laden. Bitte beachten: Sie können zwar bestimmte Datentypen im internen Speicher des Oszilloskops speichern, diese begrenzten Speicherorte können jedoch von Ihren KommilitonInnen überschrieben werden.
- 10 Drücken Sie den Softkey **Neue Datei**, um einen neuen Dateinamen zu erstellen. Sie können einen benutzerdefinierten Dateinamen erstellen, wir verwenden jedoch in diesem Beispiel den Standardnamen.
- 11 Drücken Sie den Softkey **Speichern**, um diese Bilddatei zu speichern.

So speichern Sie die Abbildung (das Bild), das auf dem Display Ihres Oszilloskops angezeigt wurde, bevor dieses Menü ausgewählt wurde. Sie können diesen Dateityp zwar nicht erneut mit dem Oszilloskop laden, aber eine .png-Datei auf Ihrem PC öffnen und dieses Bild in verschiedene Programme wie beispielsweise Microsoft Word einfügen. Ihr Dozent bittet Sie vielleicht zur Dokumentation Ihrer verschiedenen praktischen Versuche darum, dies zu tun. Neben dem Speichern von Bildern im Format .png können Sie Bilder auch als 8-bit- oder 24-bit-Bilder im .bmp-Format speichern. Beachten Sie bitte, dass alle in diesem *Übungshandbuch* gezeigten Bildschirmbilder des Oszilloskops zuerst im Format .png gespeichert wurden. Speichern wir nun eine Setupdatei.

- 12 Drücken Sie die Taste [**Menu On/Off**] **Menü An/Aus** auf dem vorderen Bedienfeld.
- 13 Wenn Sie ein DSO1000B Series Oszilloskop verwenden, drücken Sie die Taste [**Save/Recall**] **Speichern/Laden** auf dem vorderen Bedienfeld. Wenn Sie ein DSO1000A Series Oszilloskop verwenden, wird das Menü Speichern/Laden bereits angezeigt.
- 14 Drücken Sie den Softkey **Speicherung**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **Setups** hervorzuheben und drücken Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.
- 15 Drücken Sie den Softkey **Extern**.
- 16 Drücken Sie den Softkey **Neue Datei** und dann **Speichern**.

Mit einer „Setup“-datei können Sie die Einrichtungseinstellungen des Oszilloskops speichern (V/div, sec/div, Trigger-Level etc.), sodass Sie später die gleichen Einrichtungseinstellungen laden können, um mit den Messungen dort fortzufahren, wo Sie am letzten Arbeitstag aufgehört haben. Versuchen wir nun, die gerade gespeicherten Einrichtungseinstellungen erneut zu laden. Doch zunächst müssen die aktuellen Einrichtungseinstellungen des Oszilloskops gelöscht werden.

- 17 Drücken Sie die Taste [**Menu On/Off**] **Menü An/Aus** auf dem vorderen Bedienfeld.
- 18 Drücken Sie die Taste [**Default Setup**] **Standardeinstellung** auf der Frontabdeckung. Dies löscht die aktuellen Einrichtungseinstellungen des Oszilloskops.
- 19 Drücken Sie die Taste [**Save/Recall**] **Speichern/Laden** auf dem vorderen Bedienfeld.
- 20 Drücken Sie den Softkey **Speicherung**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **Setup** hervorzuheben und drücken Sie den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.
- 21 Drücken Sie den Softkey **Extern**.
- 22 Drehen Sie den Drehknopf **Eingabe**, um die soeben gespeicherte Setupdatei zu markieren. Beachten Sie bitte, dass diese Datei die Dateierweiterung .stp hat. Wenn dies die einzige .stp-Datei auf Ihrem USB-Speichergerät ist, wird sie automatisch markiert.
- 23 Drücken Sie den Softkey **Laden**, um diese Einstellung erneut zu laden.

Wenn Ihr Messkopf noch mit dem Anschluss **Messsondenkomp.** verbunden ist, müsste Ihr Oszilloskop nun erneut die korrekte Einstellung mit der 1 kHz Rechteckwelle anzeigen. Beachten Sie bitte, dass Sie auch mit dem Wellenformspeichertyp Einstellungen speichern können. Beim Speichern und neu laden als „Wellenform“ lädt das Oszilloskop die Einrichtungseinstellungen und die Wellenform(en). Wenn Sie dann nach dem Laden von Einstellungen und Wellenformen jedoch die Taste [**Run**] **Start** drücken, werden die geladenen Wellenformen durch aktiv digitalisierte Wellenformen ersetzt. Es gibt eine bessere Möglichkeit, Wellenformen dauerhaft für spätere Analysen zu speichern: die Verwendung von „Referenzsignalen“. Let's try it.

- 24 Drücken Sie die Taste [**Ref**] **Referenz** auf dem vorderen Bedienfeld (neben der Taste Kanal-2 an/aus).
- 25 Drücken Sie den Softkey **Speicherort**, um vom Speicher **Intern** zum Speicher **Extern** zu wechseln.
- 26 Drücken Sie den Softkey **Speichern**.
- 27 Drücken Sie den Softkey **Neue Datei** und dann **Speichern**.

Importieren (laden) wir nun dieses Referenzsignal, das Sie soeben gespeichert haben, für spätere Analysen wieder in das Oszilloskop. Doch zunächst muss die aktuell angezeigte Kanal-1-Wellenform gelöscht werden (gelbe Kurve).

- 28 Drücken Sie die Taste [**Menu On/Off**] **Menü An/Aus** auf dem vorderen Bedienfeld.
- 29 Drücken Sie die Taste [**Display**] **Anzeige** auf der Frontabdeckung.
- 30 Wenn die Auswahl oben **2/2** (Menü 2 von 2) anzeigt, drücken Sie diesen Softkey, um zu **1/2** (Menü 1 von 2) zu wechseln.
- 31 Drücken Sie den Softkey **Löschen**, um die Kanal-1-Wellenform zu löschen.
- 32 Drücken Sie die Taste [**Ref**] **Referenz** auf dem vorderen Bedienfeld.
- 33 Drücken Sie den Softkey **Speicherort**, bis **Extern** angezeigt wird.

- 34 Drücken Sie den Softkey **Import**.
- 35 Drehen Sie den Drehknopf **Eingabe**, um das soeben gespeicherte Referenzsignal zu markieren. Beachten Sie bitte, dass diese Datei die Dateierweiterung `.ref` hat.
- 36 Drücken Sie **Import**.

Nun sollten Sie auf der Anzeige des Oszilloskops eine weiße Wellenform sehen, die ähnlich aussieht wie in [Abbildung 23](#). Sie können diese Wellenform nun für den Vergleich mit aktiv digitalisierten Wellenformen verwenden.

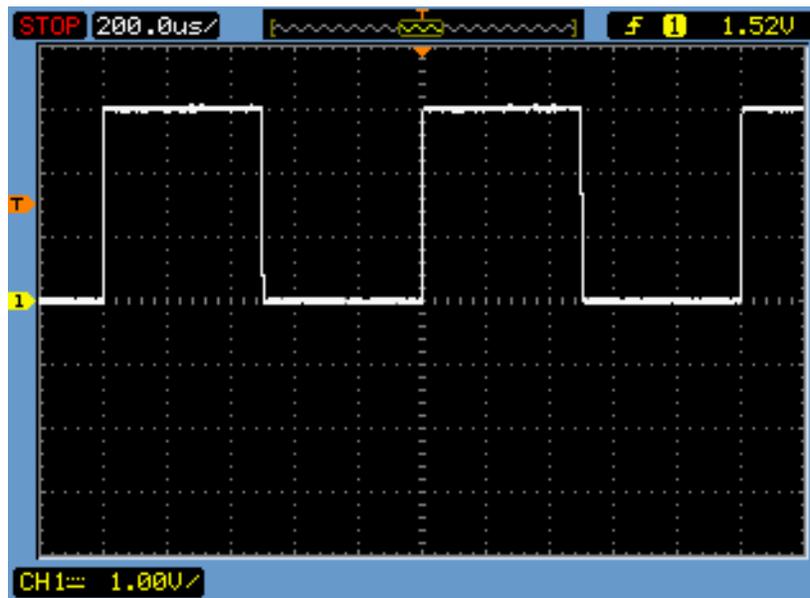


Abbildung 23 Importieren eines gespeicherten Referenzsignals (`.ref`) in den internen Referenzspeicher des Oszilloskops

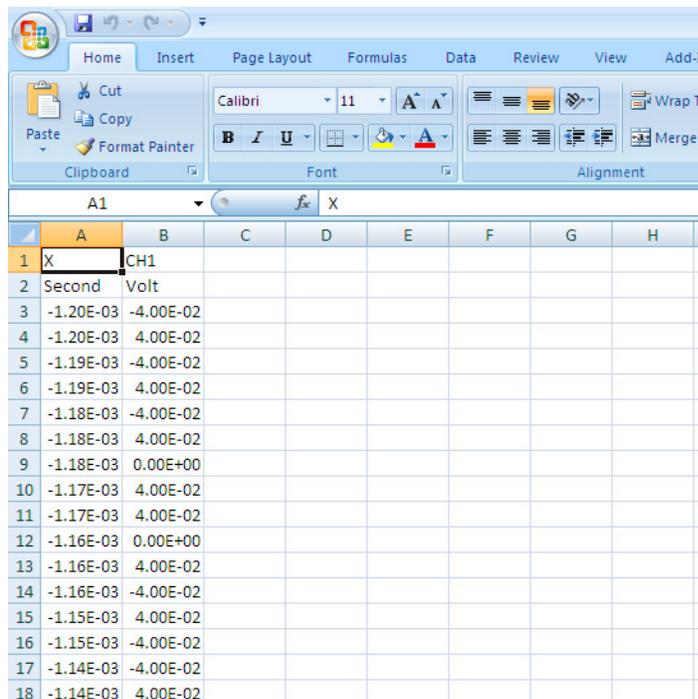
Zusätzlich zum Speichern von Bildern (Format `.png` oder `.bmp`), Einstellungen (`.stp`) und Referenzsignalen (`.ref`) können Sie Wellenformen auch als im Format `.csv` (Comma-Separated Values) speichern. Dies besteht in einem Array von XY-Paaren (Zeit und Spannung), das die einzelnen digitalisierten Punkte in der Wellenform darstellt. Sie können Dateien dieses Typs zwar nicht erneut in das Oszilloskop laden, aber in einem Tabellenkalkulationsprogramm wie Microsoft Excel öffnen. Weiterhin können Sie solche Daten in verschiedene Softwarepakete zur Wellenform-Datenanalyse (z. B. LabView und MatLab) importieren, um umfassendere Wellenformanalysen durchzuführen, die auf dem Oszilloskop evtl. nicht zur Verfügung stehen.

- 37 Drücken Sie die Taste **[Ref] Referenz** auf der Frontabdeckung, um die Anzeige der Referenzwellenform zu deaktivieren (bei DSO1000B Series Oszilloskopen zwei Mal drücken). Bei DSO1000A Series Oszilloskopen einmal drücken.)

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

- 38 Drücken Sie **[Run/Stop] Start/Stopp**, um erneut mit den Erfassungen zu beginnen. (Die Taste **[Run/Stop] Start/Stopp** wechselt zu grün.)
- 39 Drücken Sie die Taste **[Save/Recall] Speichern/Laden** auf dem vorderen Bedienfeld.
- 40 Drücken Sie den Softkey **Speicherung**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **CSV** hervorzuheben und drücken Sie den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.
- 41 Drücken Sie den Softkey **Extern**.
- 42 Drücken Sie den Softkey **Neue Datei**.
- 43 Drücken Sie den Softkey **Speichern**.
- 44 Drücken Sie die Taste **[Menu On/Off] Menü An/Aus** auf dem vorderen Bedienfeld.

Wenn Sie diese Datei auf Ihrem Notebook mit Microsoft Excel öffnen, sollten Sie eine Liste mit Datenpaaren für Zeit und Spannung sehen, die ähnlich aussieht wie in [Abbildung 24](#). Excel ermöglicht zwar nur begrenzte Analysen von Signaldaten, Sie können Sie diese Datei aber auch in Programmen wie LabView oder MatLab öffnen, um umfassendere Analysen durchzuführen.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X	CH1						
2	Second	Volt						
3	-1.20E-03	-4.00E-02						
4	-1.20E-03	4.00E-02						
5	-1.19E-03	-4.00E-02						
6	-1.19E-03	4.00E-02						
7	-1.18E-03	-4.00E-02						
8	-1.18E-03	4.00E-02						
9	-1.18E-03	0.00E+00						
10	-1.17E-03	4.00E-02						
11	-1.17E-03	4.00E-02						
12	-1.16E-03	0.00E+00						
13	-1.16E-03	4.00E-02						
14	-1.16E-03	-4.00E-02						
15	-1.15E-03	4.00E-02						
16	-1.15E-03	-4.00E-02						
17	-1.14E-03	-4.00E-02						
18	-1.14E-03	4.00E-02						

Abbildung 24 Öffnen einer gespeicherten Wellenform im .csv-Format mit Microsoft Excel

Übung Nr. 6: Verwenden von mathematischen Funktionen für Oszilloskop-Wellenformen

Oszilloskope können mathematische Operationen für eine ganze Wellenform oder für Wellenformpaare durchführen. Eine sehr gängige Wellenfunktion, die Sie vielleicht mit dem Oszilloskop durchführen möchten, ist die Subtraktion einer Wellenform von einer anderen. **Abbildung 25** zeigt ein Beispiel eines einfachen Spannungsteilernetzwerk mit zwei Widerständen. Wie gehen Sie aber vor, wenn Sie eine Wellenform nur für R_1 anzeigen möchten? Mit passiven 10:1 Standardmessköpfen wie denen, die Sie heute verwenden, können Sie mit einem Kanal des Oszilloskops V_{in} relativ zur Erdung anzeigen und mit einem anderen Kanal des Oszilloskops V_{out} relativ zur Erdung messen. Sie können aber nicht bei R_1 messen, da jedes Ende von R_1 relativ zur Erdung steht. Eine Option besteht darin, eine spezielle (und teure) Differentialmesssonde zu verwenden. Eine andere Option besteht darin, die „A-B“-Funktion der Wellenform zu verwenden, um eine spezielle math. Kurve zu erstellen, die der Differenz zwischen den Wellenformen von Kanal-1 und Kanal-2 entspricht. Ihr Dozent/Übungsleiter teilt Ihnen demnächst evtl. so einen Versuch zu, bei dem ein externer Funktionsgenerator und passive und/oder aktive Komponenten verwendet werden. Hier verwenden wir jedoch das integrierte Messkopfkalibrierungssignal des Oszilloskops, um zu lernen, wie Funktionskurven mit dem Oszilloskop verwendet werden.

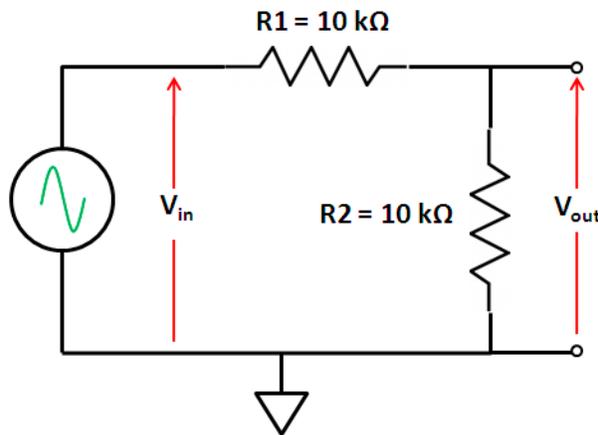


Abbildung 25 Ein Spannungsteilernetzwerk mit 2 Widerständen

- 1 Schließen Sie einen Oszilloskop-Messkopf zwischen dem BNC-Eingang von Kanal 1 und dem Anschluss mit der Bezeichnung „Messsondenkomp.“ an. Verbinden Sie die Erdungsklemme des Messkopfs mit dem Masseanschluss.
- 2 Schließen Sie einen anderen Oszilloskop-Messkopf zwischen dem BNC-Eingang von Kanal 2 und dem Anschluss mit der Bezeichnung „Messsondenkomp.“ an. Verbinden Sie die Erdungsklemme des Messkopfs mit dem Masseanschluss.
- 3 Drücken Sie auf dem vorderen Bedienfeld des Oszilloskops **[Default Setup] Standardeinstellung**.

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

- 4 Drücken Sie die Taste [2] auf dem vorderen Bedienfeld (zwischen den beiden grünen Knöpfen), um Kanal-2 einzuschalten.
- 5 Stellen Sie die horizontale Zeitbasis auf **200.0 $\mu\text{s}/\text{div}$** .
- 6 Drücken Sie den Triggerpegel-Knopf, um den Triggerpegel automatisch auf ca. **50%** einzustellen.
- 7 Vertikale Position von Kanal 2 (kleiner grüner Knopf) anpassen, um die Kanal-2-Wellenform (grüne Kurve) in der unteren Hälfte der Anzeige zu positionieren. Stellen Sie sicher, dass der obere Teil der grünen Wellenform sich knapp unter der Bildmitte befindet.
- 8 Passen Sie die vertikale Position von Kanal-1 (kleinerer gelber Knopf) an, um die Kanal-1-Wellenform so zu positionieren, dass sich der untere Teil der Kanal-1-Wellenform knapp über der Bildmitte befindet.
- 9 Drücken Sie die Taste [**Math**] **Mathematik** auf dem vorderen Bedienfeld (zwischen den Tasten Kanal-1 und Kanal-2 an/aus).
- 10 Wenn die Auswahl oben **2/2** (Menü 2 von 2) anzeigt, drücken Sie diesen Softkey, um zu **1/2** (Menü 1 von 2) zu wechseln.
- 11 Drücken Sie den Softkey **Bediener**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **A-B** hervorzuheben und drücken Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.

Das Oszilloskop-Display wird jetzt wie in [Abbildung 26](#) angezeigt. Wenn Ihre Messköpfe korrekt kompensiert sind, sollte die mathematische Kurve (violette Kurve), die die Differenz zwischen Kanal-1 und Kanal-2 darstellt, eine 0 V „Nulllinien“-Kurve darstellen. Da beide Kanäle des Oszilloskops das gleiche Signal erfassen, sollte das Ergebnis Null betragen.

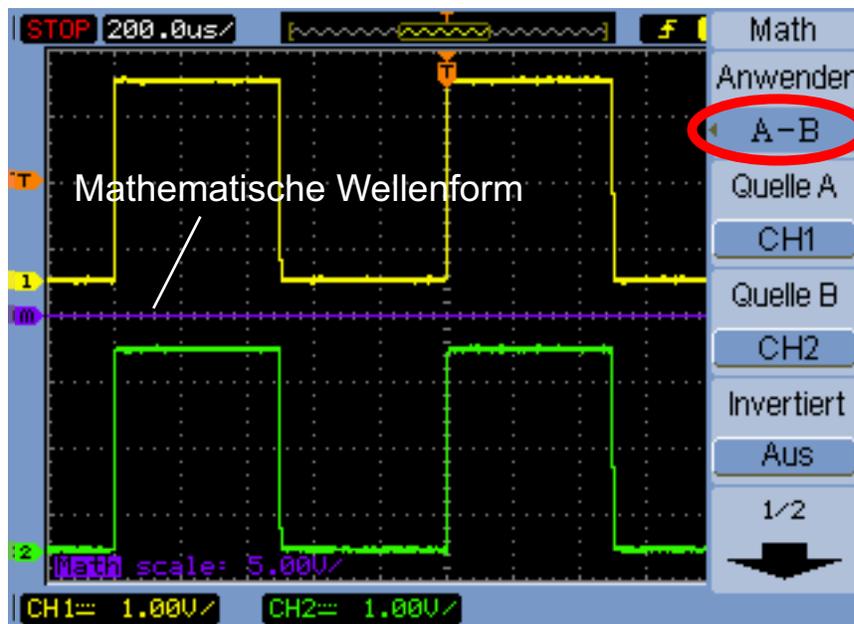


Abbildung 26 Verwenden einer mathematischen Funktion, um Kanal 2 von Kanal 1 zu subtrahieren

Um diese Differenzmessung etwas interessanter zu gestalten, könnten Sie versuchen, die Messkopfkompensation zunächst falsch für einen Messkopf einzustellen (entweder für den Kanal-1-Messkopf oder den Kanal-2-Messkopf). Dies schafft einen Unterschied zwischen den beiden Eingabesignalen. Das Oszilloskop-Display wird jetzt wie in [Abbildung 27](#) angezeigt.

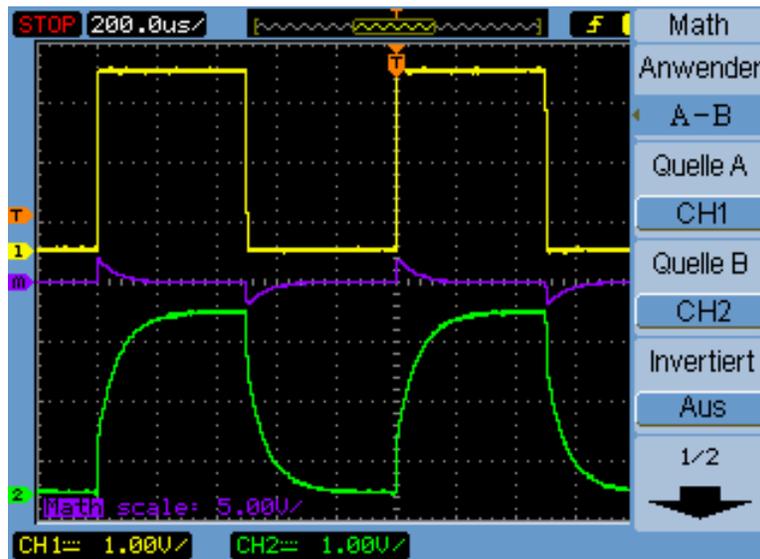


Abbildung 27 Unterschied zwischen den Wellenformen von Kanal-1 und Kanal-2 erstellen

Beachten Sie, dass die Standardskalierung der mathematischen Kurve (**5,00 V/div**) sich von der Skalierung der Kanal-1- und Kanal-2-Wellenformen unterscheidet (**1,00 V/div**). Sie können die Skalierung der mathematischen Kurve sowie Offset/Position im Menü **2/2** (Menü 2 von 2) ändern.

Stellen Sie nun die Messkopfkompensierung korrekt ein, bevor Sie die nächsten Messung durchführen.

Wenden wir nun eine komplexere Funktion nur auf die Kanal-1-Wellenform an. Wir konvertieren die Kanal-1-Wellenform mit einer FFT-(Fast Fourier Transformation) Funktion von einem Zeitbereichssignal zu einem Frequenzbereichssignal.

- 12** Drücken Sie die Taste **[2] EIN/AUS** der Frontabdeckung, bis die Kanal-2-Wellenform (grüne Kurve) abgeschaltet ist.
- 13** Stellen Sie die vertikale Skalierung von Kanal-1 (großer gelber Knopf) auf **500 mV/div** ein.
- 14** Positionieren Sie die Kanal-1-Wellenform erneut in der Mitte der Anzeige (kleinerer gelber Knopf).
- 15** Ändern Sie die Zeitbasis-Einstellung (großer Horizontal-Knopf) zu **1,000 ms/div**.
- 16** Drücken Sie die Taste **[Math] Mathematik** auf der Frontabdeckung.
- 17** Drücken Sie den Softkey **Bediener**. Drehen Sie den Drehknopf **Eingabe**, um **FFT** hervorzuheben und drücken Sie den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.

Die Anzeige auf dem Oszilloskop sollte der Anzeige in [Abbildung 28](#) ähneln. Das Oszilloskop zeigt sowohl ein Zeitbereichssignal (Spannung im Verhältnis zur Zeit) sowie ein Frequenzbereichssignal (Amplitude in dB im Vrms-Einheiten im Verhältnis zur Frequenz) an. Beachten Sie, dass die horizontale Frequenzskalierung bei DSO1000A Series Oszilloskopen unterschiedlich ist.

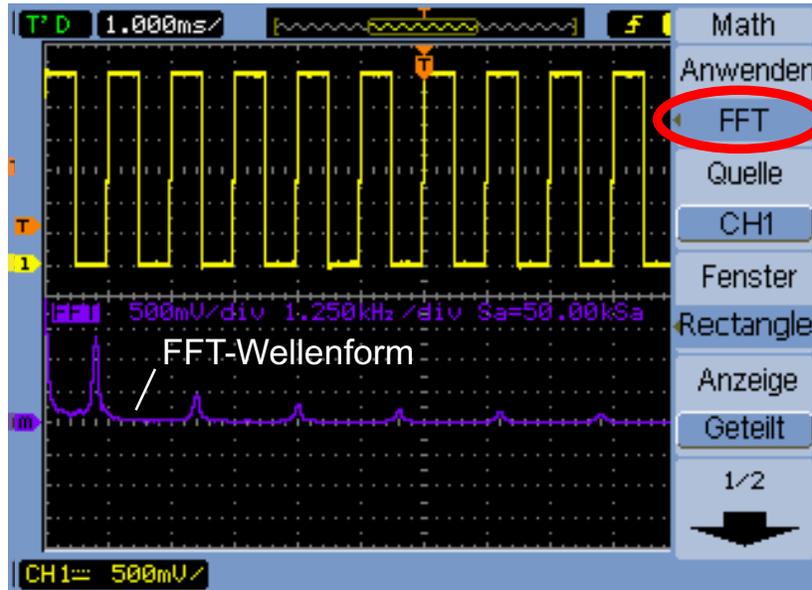


Abbildung 28 Verwenden einer mathematischen Funktion, um Kanal 2 von Kanal 1 zu subtrahieren

Eine mathematische FFT-Funktion zerlegt die Signale in einzelne Sinuswellenfrequenzkomponenten. Wie Sie vielleicht aus einigen Elektrotechnik-Vorlesungen wissen, bestehen alle elektrischen Signale (einschließlich der digitalen Signale) aus mehreren Sinuswellen unterschiedlicher Frequenzen. Das ideale Taktsignal, das über ein Tastverhältnis von 50 % verfügt, sollte aus einer grundlegenden Grundfrequenzkomponente aus Sinuswellen (sich wiederholende Frequenz des Signals) sowie aus einer ungeraden Zahl von Oberschwingungen (3., 5., 7. usw.) bestehen. Bei nicht idealen Rechteckwellen sind die Oberschwingungen noch ungleichmäßiger. Überprüfen Sie jetzt die Frequenzen der grundlegenden und ungeraden Oberschwingungen dieses Eingangssignals.

18 Drücken Sie die Taste [**Cursor**] **Cursors** auf der Frontabdeckung.

19 Drücken Sie den Softkey **Bediener**. Drehen Sie den Drehknopf **Eingabe**, um **FFT** hervorzuheben und drücken Sie den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.

Beachten Sie, dass wir während Übung Nr. 1 Cursor verwendet haben, um Spannungs- und Zeitmessungen mit der „manuellen“ Cursor-Einstellung durchzuführen. Im manuellen Cursor-Modus Manuell können Sie die vertikalen (Y) und horizontalen (X) Cursor-Einstellungen separat steuern. Wenn der Cursor-Modus „Nachverfolgen“ ausgewählt ist, können Sie nur die horizontale Einstellung der Cursor steuern. Das Oszilloskop ordnet die Position der Amplituden-Cursor

dann automatisch dem Punkt der Wellenform unter, an dem die Zeit-Cursor die Wellenform schneiden. Ordnen wir nun die Cursor für die „Nachverfolgung“ und die Durchführung von Messungen der FFT-Wellenform zu.

- 20 Drücken Sie den Softkey **Cursor A**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **Mathematik** hervorzuheben und drücken Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.
- 21 Drücken Sie den Softkey **Cursor B**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **Mathematik** hervorzuheben und drücken Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.
- 22 Drücken Sie den Softkey **CurA**—. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, bis der Nachverfolgungs-Cursor (Fadenkreuz“) oben auf dem höchsten Frequenzpunkt steht (auf der linken Bildschirmseite).
- 23 Drücken Sie den Softkey **CurB**—. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, bis der Nachverfolgungs-Cursor („Fadenkreuz“) oben auf dem zweithöchsten Frequenzpunkt steht.

Das Oszilloskop-Display wird jetzt wie in [Abbildung 29](#) angezeigt.

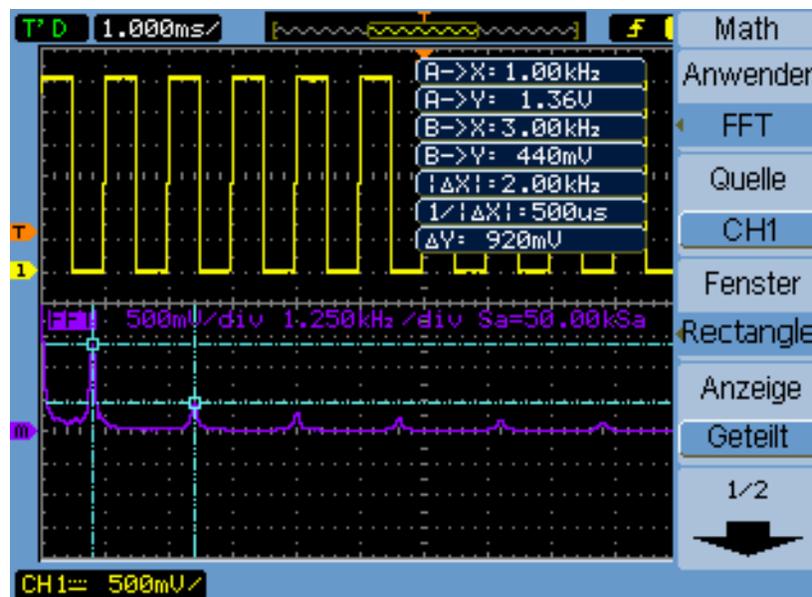


Abbildung 29 Verwenden der Cursor-Verfolgung zur Durchführung von Messungen an einer FFT-Wellenform

- 24 Was ist die Frequenz „A -> X“, die eine grundlegende Komponente darstellt?

F1 = _____

- 25 Was ist die „B ->X“-Frequenz und was sollte die dritte Oberschwingung sein?

F3 = _____

Übung Nr. 7: Der Zoom-Modus des Oszilloskops

Die meisten Oszilloskope haben zwei Zeitbasen. Das bedeutet, dass sie Wellenformen anzeigen können, die auf zwei unterschiedlichen horizontalen Einstellungen basieren (Sek./Division). Bis jetzt haben wir nur die „Haupt-“ Zeitbasis des Oszilloskops verwendet. Die zweite Zeitbasis wird in der Regel als horizontale „Zoom-“ Anzeige bezeichnet. Wenn Ihr Dozent / Übungsleiter seit dem Studium ein älteres analoges Oszilloskop verwendet, wurde diese zweite Zeitbasis oft als „verzögerte“ Zeitbasis bezeichnet. Wenn die Zoom-Anzeige eingeschaltet ist, können Sie Wellenformen nicht nur mit zwei verschiedenen Einstellungen anzeigen, sondern auch „torgesteuerte“ oder ausgewählte Messungen durchführen.

- 1 Schließen Sie einen Oszilloskop-Messkopf zwischen dem BNC-Eingang von Kanal 1 und dem Anschluss mit der Bezeichnung „**Messsondenkomp.**“ an. Verbinden Sie die Erdungsklemme des Messkopfs mit dem Masseanschluss.
- 2 Drücken Sie die Taste [**Default Setup**] **Standardeinstellung** auf der Frontabdeckung.
- 3 Stellen Sie die Zeitbasis des Oszilloskops (großer Horizontal-Knopf) auf **200,0 $\mu\text{s}/\text{div}$** .
- 4 Drücken Sie den Trigger-Knopf, um den Triggerpegel auf ca. **50 %** einzustellen.
- 5 Stellen Sie die vertikale Skalierung von Kanal-1 mit dem größeren gelben Knopf auf **500 mV/div** ein.
- 6 Verschieben Sie die Wellenform mit dem kleineren gelben Knopf in die Bildmitte.
- 7 Drücken Sie die Taste [**Meas**] **Mess.** auf der Frontabdeckung. Bei DSO1000A Series Oszilloskopen heißt diese Taste der Frontabdeckung [**Measure**] **Mess.**
- 8 Drücken Sie den Softkey **Time**. Drehen Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um **Anstiegszeit** hervorzuheben und drücken Sie dann den Drehknopf **Eingabe**, um diese Option auszuwählen.

Das Oszilloskop-Display wird jetzt wie in [Abbildung 30](#) angezeigt. Beachten Sie, dass die Anstiegszeit, die im unteren Bereich des Bildschirms angezeigt wird, wahrscheinlich einen Wert wie „<40 us“ anzeigt. Bei DSO1000A Series Oszilloskopen zeigt es vielleicht auch „20 us“ an). Bei dieser Zeitbasis-Einstellung (200,0 $\mu\text{s}/\text{div}$) verfügt das Oszilloskop nicht über genügend horizontale Auflösung, um mit dieser schnellen Anstiegsflanke eine präzise Messung durchzuführen. Wenn Sie die Details dieser schnellen Anstiegsflanke nicht sehen können, kann es das Oszilloskop wahrscheinlich auch nicht. Schalten wir nun den horizontalen Zoom-Modus des Oszilloskops ein, um eine präzisere „torgesteuerte“ Messung für diese spezielle Flanke vorzunehmen.

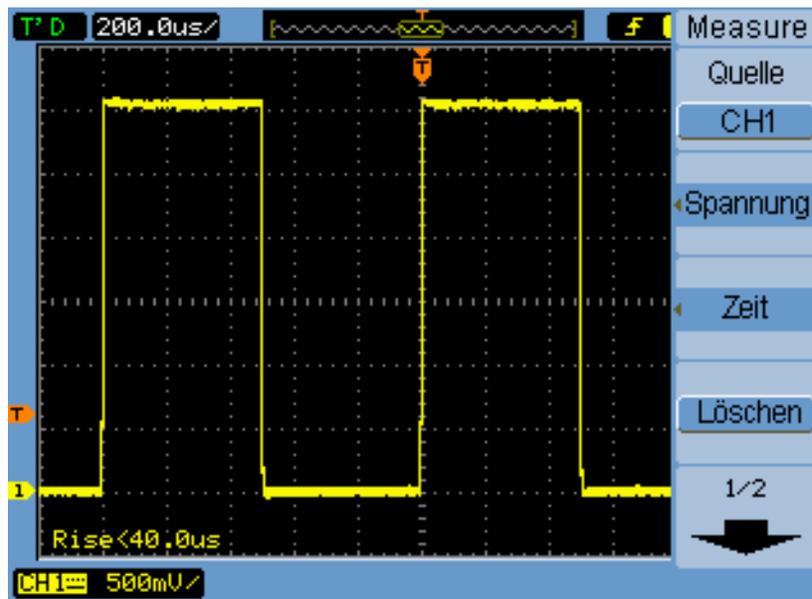


Abbildung 30 Messung einer Anstiegszeit mit schlechter Auflösung (ungenauere Anstiegszeit)

- 9 Drücken Sie den großen Horizontal-Knopf, um den Zoom-Modus des Oszilloskops einzuschalten.
- 10 Drehen Sie den großen Horizontal-Knopf, um die Zoom-Zeitbasis auf **5,000 $\mu\text{s}/\text{div}$** zu stellen (in weißen Zeichen unten im Display angezeigt).

Das Display Ihres Oszilloskops sollte nun aussehen wie in [Abbildung 31](#), und das Oszilloskop sollte deutlich präzisere Zeitmessungen dieser schnellen Anstiegsflanke durchführen können. Wenn der Zoom-Modus des Oszilloskops eingeschaltet ist, werden das „große Bild“ und das „kleine Bild“ auf dem gleichen Oszilloskop-Display angezeigt. Es können auch präzisere Zeitmessungen durchgeführt werden, während das „große Bild“ angezeigt wird. Der Zoom-Display-Modus ermöglicht Ihnen weiterhin, auszuwählen, für welche Flanke oder welchen Puls Messungen vorgenommen werden sollen.

2 Übungen zum Kennenlernen des Oszilloskops

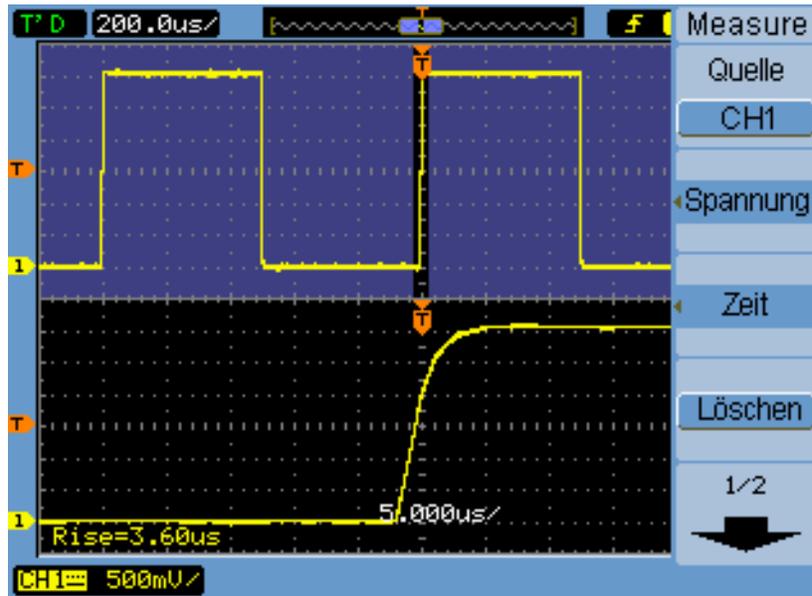
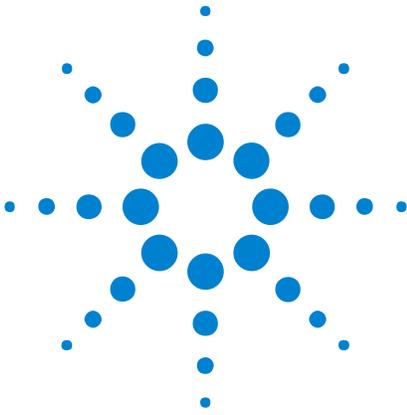


Abbildung 31 Präzise „torgesteuerte“ Anstiegszeitmessung mit dem Zoom-Modus des Oszilloskops



3 Zusammenfassung

Weiterführende Literatur zu Agilent 52

Wenn Sie alle Übungen in diesem Übungshandbuch und Tutorial bearbeitet haben, sollten Sie sehr gute Kenntnisse über Oszilloskope besitzen und wissen, wie Sie sie effektiv einsetzen können. Dies wird Ihnen nicht nur dabei helfen, Ihre Experimente effizienter und mit einem besseren Verständnis für theoretische Konzepte der Elektrotechnik und Physik durchzuführen. Nach dem Studienabschluss und der Arbeit mit Oszilloskopen zum Prüfen und Testen von Entwürfen in der Praxis sind Sie in der Lage, Fehler dabei schneller feststellen zu können und Ihre Produkte somit in kürzerer Zeit auf den Markt zu bringen. Wenn Sie mehr über Oszilloskope und Oszilloskopmessungen wissen möchten, bietet Agilent eine umfangreiche Auswahl an Anwendungshinweisen zu diesem Thema, die auf der nächsten Seite aufgeführt werden.



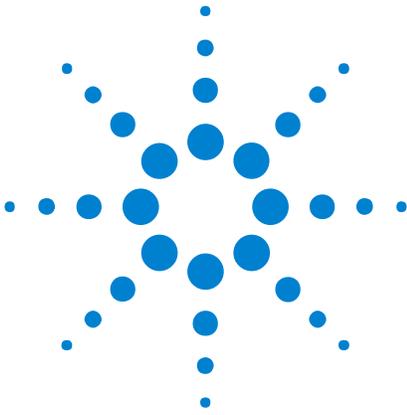
Weiterführende Literatur zu Agilent

Table 1 Weiterführende Agilent-Literatur

Publikationstitel	Publikationsart	Publikationsnummer
Evaluating Oscilloscope Fundamentals	Anwendungshinweis	5989-8064EN
Evaluating Oscilloscope Bandwidths for your Applications	Anwendungshinweis	5989-5733EN
Versuch zur Tastkopflast von Oszilloskopen	Anwendungshinweis	5990-9175EN
Evaluating Oscilloscope Sample Rates vs. Sampling Fidelity	Anwendungshinweis	5989-5732EN
Evaluating Oscilloscopes for Best Waveform Update Rates	Anwendungshinweis	5989-7885EN
Evaluating Oscilloscope Vertical Noise Characteristics	Anwendungshinweis	5989-3020EN
Evaluating Oscilloscopes for Best Display Quality	Anwendungshinweis	5989-2003EN
Evaluating Oscilloscopes to Debug Mixed-signal Designs	Anwendungshinweis	5989-3702EN

Zum Herunterladen dieser Dokumente müssen Sie die Publikationsnummer in die URL einfügen:

<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/xxxx-xxxxEN.pdf>



A Oszilloskop-Blockdiagramm und Betriebstheorie

DSO-Blockdiagramm [54](#)

A/D-Block [54](#)

Abschwächer-Block [55](#)

DC-Offset-Block [55](#)

Verstärker-Block [55](#)

Triggerkomparator und Triggerlogikblöcke [56](#)

Zeitbasis- und Erfassungsspeicher-Blocks [57](#)

Anzeige-DSP-Block [58](#)



DSO-Blockdiagramm

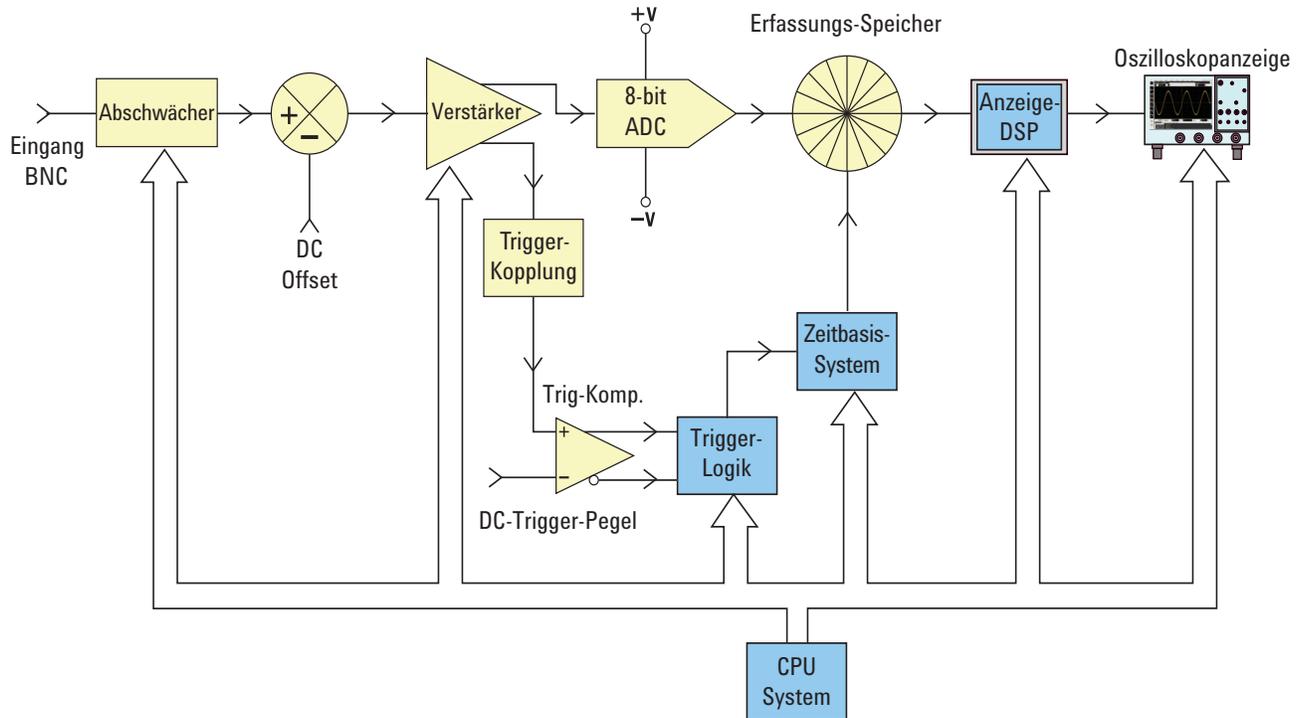


Abbildung 32 DSO-Blockdiagramm

In [Abbildung 32](#) wird das Blockdiagramm eines Erfassungskanals für ein typisches Digitalspeicher-Oszilloskop (DSO) dargestellt. Die gelben Blöcke stellen die eindeutigen Systemkomponenten für einen Erfassungskanal wie Kanal 1 oder Kanal 2 dar. Die blauen Blöcke sind die allgemeinen Systemkomponenten für alle Erfassungskanäle, z. B. die allgemeine Zeitbasis und das CPU-System des Oszilloskops.

A/D-Block

In der Mitte des Blockdiagramms befindet sich der Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler). Der A/D-Block ist die zentrale Komponente aller DSOs. Dieser Block wandelt analoge Eingangssignale in digitale Wörter um. Die meisten der heute verwendeten DSOs nutzen 8-Bit-A/D-Wandler mit 256 eindeutigen digitalen Ausgangspegeln/-codes. Diese digitalen Binärcodes werden im Erfassungsspeicher des Oszilloskops gespeichert, der später näher erläutert wird. Wenn der analoge Eingangspegel für den A/D-Wandler gleich oder weniger als $-V$ ist, gibt der A/D-Wandler 00000000 (0 Dezimal) aus. Wenn der analoge Eingangspegel für den A/D-Wandler gleich oder größer als $+V$ ist, gibt der

A/D-Wandler 11111111 (255 Dezimal) aus. Wenn der analoge Eingangspegel für den A/D-Wandler gleich 0,0 V ist, gibt der A/D-Wandler 10000000 (128 Dezimal) aus.

Damit höchste Auflösungen und genaue Messungen erzielt werden können, muss der Eingangspegel des A/D-Wandlers innerhalb des dynamischen Bereichs ($\pm V$) skaliert werden. Obwohl der A/D-Wandler über einen begrenzten und festen, dynamischen Eingangsbereich anhand der Referenzspannungen ($\pm V$) des A/D-Wandlers verfügt, müssen die Oszilloskope einen breiten dynamischen Signalbereich, einschließlich hoher und schwacher Eingangssignale, erfassen können. Das Skalieren der analogen Eingangssignale des A/D-Wandlers, damit diese im dynamischen Bereich des A/D-Wandlers liegen, ist eine kombinierte Funktion der Abschwächer-, DC-Offset- und Verstärker-Blöcke, die nachstehend beschrieben werden.

Abschwächer-Block

Der Abschwächer-Block ist im Grunde genommen ein Spannungsteilernetzwerk, um das Eingangssignal so zu skalieren, dass es innerhalb des dynamischen Bereichs des Oszilloskops mit einem variablen, analogen Verstärkungsfaktor und A/D-Wandler liegt. Wenn ein hohes Eingangssignal, z. B. 40 Vpp, eingegeben wird, muss der Eingangspegel reduziert (abgeschwächt) werden. Wenn ein schwaches Eingangssignal, z. B. 10 mVpp, eingegeben wird, wird das Eingangssignal ohne Abschwächung (1:1) durch den Verstärker geleitet. Wenn die V/Div-Einstellung des Oszilloskops geändert wird, ist gegebenenfalls ein Klickgeräusch zu hören. Das Klicken wird von den mechanischen Relais verursacht, die den verschiedenen Spannungsteilernetzwerken zugeschaltet werden. Beachten Sie, dass der Abschwächer-Block auch das Schalten der vom Benutzer wählbaren Eingangsimpedanz (1 M Ω oder 50 Ω) sowie die AC- oder DC-Eingangskopplung umfasst.

DC-Offset-Block

Bei der Eingabe eines Signals mit dem DC-Offset, z. B. ein digitales Signal, das zwischen 0 V und 5 V schwankt, muss dem Signal für die zentrierte Anzeige dieses Signals auf dem Oszilloskop-Display ein internes DC-Offset der entgegengesetzten Polarität hinzugefügt werden, damit das Eingangssignal im dynamischen Bereich des A/D-Wandlers liegt. Alternativ dazu kann mit der AC-Kopplung die DC-Komponente des Eingangssignals entfernt werden.

Verstärker-Block

Der letzte analoge Verarbeitungsschritt, um das Eingangssignal so zu skalieren, dass das Eingangssignal innerhalb des dynamischen Bereichs des A/D-Wandlers liegt, ist der variable, analoge Oszilloskop-Verstärkungsfaktor. Beim Einge-

ben eines schwachen Eingangssignals wird die V/Div-Einstellung in der Regel relativ niedrig festgelegt. Mit einer niedrigen V/Div-Einstellung leitet der Abschwächer-Block dieses Signal durch den Verstärker, ohne dass eine Abschwächung auftritt (Verstärkung = 1). Anschließend verstärkt der Verstärker die Signalamplitude (Verstärkung >1), um vom vollen dynamischen Bereich des A/D-Wandlers zu profitieren. Beim Eingeben eines hohen Eingangssignals wird die V/Div-Einstellung in der Regel relativ hoch festgelegt. Mit einer hohen V/Div-Einstellung schwächt der Abschwächer-Block das Eingangssignal (Verstärkung < 1) ab, damit das Signal im dynamischen Bereich des Verstärkers liegt. Das Signal wird dann vom Verstärker weiter abgeschwächt (Verstärkung <1), damit es auch im dynamischen Bereich des A/D-Wandlers liegt.

Beachten Sie, dass bei der Auswahl einer bestimmten V/Div-Einstellung das Oszilloskop die erforderliche Abschwächung im Abschwächer-Block sowie die erforderliche Verstärkung (oder ggf. eine weitere Abschwächung) im Verstärker-Block automatisch bestimmt. Sie können den Abschwächer-, DC-Offset- und Verstärker-Block als einen einzelnen Block für die Verarbeitung analoger Eingangssignale betrachten. Dieser verarbeitet Signale, die Eingangssignale innerhalb des dynamischen Bereichs des A/D-Blocks sind, anhand der V/Div- und Offset-Einstellung eines bestimmten Oszilloskopkanals linear.

Triggerkomparator und Triggerlogikblöcke

Der Triggerkomparator und die Triggerlogikblöcke dienen dazu, einen eindeutigen Zeitpunkt des Eingangssignals (oder eine Kombination mehrerer Eingangssignale) festzulegen, zu dem eine Synchronisierung von Datenzugängen erfolgt. Nach Abschluss der Übung 2 (Grundlagen des Triggerns mit dem Oszilloskop) haben Sie eine bessere Vorstellung davon, was Triggern bedeutet.

Angenommen, das Eingangssignal ist eine Sinuswelle und es soll die Anstiegsflanke der Sinuswelle bei einem Pegel von 50 % erfasst werden. In diesem Fall ist der nicht invertierte Ausgang des Triggerkomparators eine Rechteckwelle mit einem 50%igen Tastverhältnis. Wenn der Triggerpegel auf einen Pegel von über 50 % festgelegt wird, beträgt der nicht invertierte Ausgang des Triggerkomparators weniger als 50 %. Wenn der Triggerpegel hingegen auf einen Pegel von unter 50 % festgelegt wird, beträgt der nicht invertierte Ausgang des Triggerkomparators mehr als 50 %. So wird beim Triggern bei einer Überschneidung der positiven Flanke mit einem Kanal der nicht invertierte Ausgang des Triggerkomparators an den Zeitbasisblock dank des Triggerlogikblocks weitergeleitet. Wenn ausgewählt wurde, dass bei einer Überschneidung der negativen Flanke bei einem Kanal getriggert werden soll, dann leitet der Triggerlogikblock den invertierten Ausgang des Triggerkomparators an den Zeitbasisblock weiter. Der Zeitbasisblock verwendet anschließend die Anstiegsflanke des Triggersignals als eindeutigen Synchronisationszeitpunkt. Beachten Sie außerdem, dass das Triggern auf vielen verschiedenen Variablen, z. B. auf der Zeitqualifikation, sowie auf einer Kombination aus Eingangssignalen von mehreren Eingangskanälen basieren kann.

Zeitbasis- und Erfassungsspeicher-Blocks

Der Zeitbasis-Block steuert den Zeitpunkt, an dem die A/D-Abtastwerterfassung relativ zum Triggerereignis gestartet und gestoppt wird. Darüber hinaus steuert der Zeitbasis-Block die Abtastrate des A/D-Wandlers anhand der verfügbaren Tiefe des Oszilloskop-Erfassungsspeichers und der Zeitbasis-Einstellung. Angenommen, das Oszilloskop wurde so eingerichtet, dass das Triggern genau in der Bildschirmmitte (Standardeinstellung) mit einer Zeitbasis-Einstellung von 1 ms/Div stattfindet. Der Einfachheit halber wird weiterhin angenommen, dass die Tiefe des Oszilloskop-Erfassungsspeichers nur 1.000 Punkte beträgt. Unter diesen Voraussetzungen erfasst das Oszilloskop 500 Punkte vor dem Triggerereignis und danach noch einmal 500 Punkte nach dem Triggerereignis. Bei dieser Zeitbasis-Einstellung erfasst das Oszilloskop 1.000 Punkte in einer Zeitspanne von 10 ms (1 ms/Div x 10 Divisionen). Obwohl die maximal angegebene Abtastrate des Oszilloskops 2 GSa/s betragen kann, reduziert der Zeitbasis-Block mit dieser Zeitbasis-Einstellung die kontinuierliche Abtastrate des Oszilloskops auf 100 k Abtastwerte/Sekunde (Abtastrate = Speicher/Zeitspanne = 1.000 Abtastwerte/10 ms = 100 kSa/s).

Wenn die Taste „Start“ gedrückt wird, speichert der Zeitbasis-Block die digitalisierten Daten mit der entsprechenden Abtastrate (100 kSa/s) kontinuierlich in den „zirkulären“ Erfassungsspeicher des Oszilloskops. Während der Zeitbasis-Block die Adressierung des zirkulären Erfassungsspeicherpuffers nach jedem Abtastwert schrittweise erhöht, wird außerdem die Anzahl der Abtastwerte bis zu 500 (bei einer Speichertiefe von 1.000 und bei einer Triggerung in der Bildschirmmitte) gezählt. Nachdem der Zeitbasis-Block festgestellt hat, dass mindestens 500 Abtastwerte gespeichert wurden (d. h. dass mindestens die Hälfte des Erfassungsspeichers voll ist), ermöglicht der Zeitbasis-Block die Triggerung und sucht nach der ersten Anstiegsflanke des Ausgangs-Trigger-Komparators (in einem einfachen Flankentriggerungsmodus). Während nach dem Triggerereignis gesucht wird, werden weitere Abtastwerte im zirkulären Erfassungsspeicherpuffer des Oszilloskops gespeichert. Wenn das Triggerereignis nur sporadisch auftritt, können die gespeicherten Abtastwerte überschrieben werden, während auf das Triggerereignis gewartet wird. Diese Vorgehensweise ist in Ordnung. Sobald das Triggerereignis festgestellt wurde, beginnt der Zeitbasis-Block wieder bis 500 zu zählen. Wenn weitere 500 Abtastwerte gespeichert wurden, deaktiviert (stoppt) der Zeitbasis-Block die Abtastwerterfassung. Dies bedeutet, dass die letzten 500 gespeicherten Abtastwerte aufeinanderfolgende Punkte auf der Wellenform darstellen, die **nach** dem Triggerereignis aufgetreten sind, wohingegen die vorherigen 500 Punkte aufeinanderfolgende Punkte auf der Wellenform sind, die **vor** dem Triggerereignis aufgetreten sind. Zu diesem Zeitpunkt wird der Betrieb an den Anzeige-DSP-Block übergeben.

In diesem Beispiel wurde die Triggerung in der Bildschirmmitte verwendet. Bei der Steuerung der horizontalen Verzögerung/Position können Sie den Triggerpunkt an einem beliebigen Punkt positionieren. Wenn beispielsweise die Verzögerung so angepasst wird, dass der Triggerpunkt am Punkt 75 % auf der

horizontalen Achse (in Bezug auf die linke Bildschirmseite) liegt, setzt der Zeitbasis-Block den Zähler so fest, dass (bei einer Speichertiefe von 1.000 Punkten) zunächst 750 Punkte gespeichert werden, bevor die Triggerung beginnt. Anschließend werden weitere 250 Punkte nach Erkennen des Triggerereignisses erfasst.

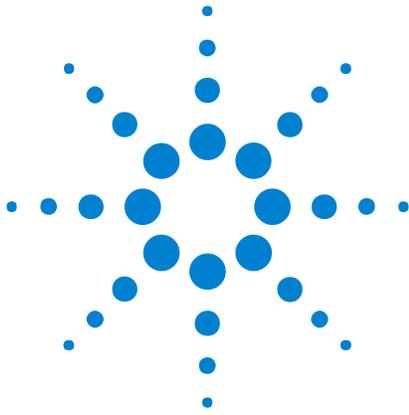
Anzeige-DSP-Block

Sobald die Erfassung abgeschlossen ist, gibt der Anzeige-DSP-Block die gespeicherten Daten aus dem Erfassungsspeicher-Block nach dem LIFO-Prinzip (Last-In First-Out; zuletzt herein, zuerst hinaus) aus. Der Anzeige-DSP-Block kann nicht nur eine digitale Signalverarbeitung der gespeicherten Daten schnell durchführen (z. B. Ausführen des digitalen Rekonstruktionsfilters $\text{Sin}(x)/x$), sondern auch die gespeicherten bzw. verarbeiteten Daten mit dem „Pipeline-Prinzip“ in den Pixel-Anzeigespeicher des Oszilloskops verarbeiten. Nach dem die Dateien aus dem „Erfassungsspeicher“ ausgegeben wurden, signalisiert der DSP-Block dem Zeitbasis-Block, dass die nächste Erfassung beginnen kann.

Beachten Sie, dass ältere DSO-Versionen keinen expliziten Anzeige-DSP-Block haben. Diese Funktion wurde zuvor vom CPU-System des Oszilloskops durchgeführt. Dies war jedoch weniger effizient und erzielte langsamere Wellenformaktualisierungsraten. Dank der benutzerdefinierten Anzeige-DSP-Verarbeitung können die DSOs heute Wellenformen mit 1.000.000 Wellenformen/Sekunde aktualisieren.

TIPP

Weitere Informationen zu den Grundlagen von Oszilloskopen können Sie im Agilent Anwendungshinweis mit dem Titel *Evaluating Oscilloscope Fundamentals* nachlesen. Diese Publikation wird im Abschnitt „[Weiterführende Literatur zu Agilent](#)“ dieses Dokuments mit Anweisungen für den Download aufgelistet.



B Tutorial zur Oszilloskop-Bandbreite

Definition der Oszilloskop-Bandbreite	59
Erforderliche Bandbreite für analoge Anwendungen	61
Erforderliche Bandbreite für digitale Anwendungen	61
Vergleiche zu Digitaltaktmessungen	64

Für Oszilloskope gibt es verschiedene Spezifikationen, mit denen die Genauigkeit für die Erfassung und Messung von Signalen festgelegt wird. Die wichtigste Spezifikation eines Oszilloskops ist die Bandbreite. Die Oszilloskope, die Sie bei Ihren Übungen in Elektrotechnikkursen verwenden, verfügen über eine ausreichende Bandbreite für die meisten Experimente, wenn nicht sogar für alle durchzuführenden Experimente. Wenn Sie Ihr Elektrotechnik-Studium abgeschlossen haben und in die Elektronikbranche einsteigen, können Sie sehr wahrscheinlich entweder ein Oszilloskop aus mehreren Ihrem Unternehmen zur Verfügung stehenden Messinstrumenten auswählen, um Ihre Entwürfe zu testen, oder Sie erhalten eventuell den Auftrag, verschiedene Oszilloskope vor dem Kauf zu bewerten. Dieses Tutorial zur Oszilloskop-Bandbreite bietet Ihnen wertvolle Hilfestellungen für die Auswahl eines Oszilloskops mit der entsprechenden Bandbreite für Ihre digitalen und analogen Anwendungen. Definieren wir zuerst die Oszilloskop-Bandbreite.

Definition der Oszilloskop-Bandbreite

Sämtliche Oszilloskope zeigen einen Tiefpass-Frequenzgang, der bei höheren Frequenzen wie in [Abbildung 33](#) dargestellt abfällt. Die meisten Oszilloskope mit Bandbreitenspezifikationen von 1 GHz und darunter, weisen normalerweise einen Gaußschen Frequenzgang auf. Der Gaußsche Frequenzgang von Oszilloskopen nähert sich einem einpoligen Tiefpassfilter an. Darüber haben Sie eventuell bereits etwas in Ihren Kursen zu elektrischen Schaltungen erfahren und dies eventuell als Bode-Diagramm grafisch dargestellt.



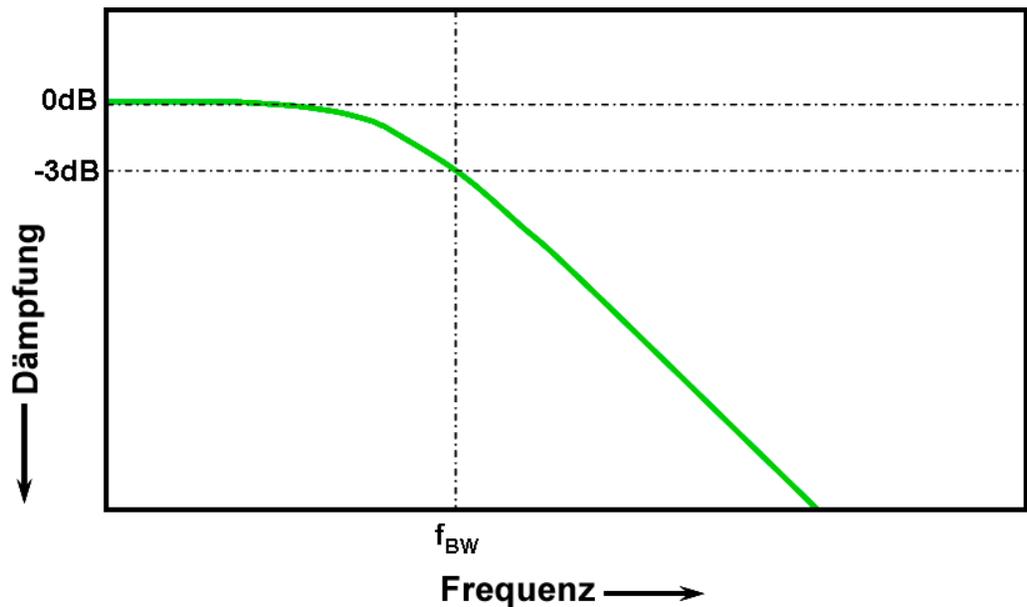


Abbildung 33 „Gaußscher Frequenzgang“ des Oszilloskops

Die niedrigste Frequenz, bei der das Eingangssignal um 3 dB gedämpft wird, wird als Oszilloskop-Bandbreite (f_{BW}) bezeichnet. Die Signaldämpfung bei einer Frequenz von -3 dB wird in einen Amplitudenfehler von ca. -30% umgewandelt. Wenn eine Spannung von 1 Vpp, ein Sinussignal von 100 MHz, an einem Oszilloskop mit 100 MHz Bandbreite anliegt, beträgt die mit diesem Oszilloskop gemessene Spitze-Spitze-Spannung ca. 700 mVpp (-3 dB = $20 \text{ Log} [0,707/1,0]$). Signale, die hohe Frequenzen im Bereich der Oszilloskop-Bandbreite aufweisen, können nicht genau gemessen werden.

Eng verbunden mit der Bandbreitenspezifikation des Oszilloskops ist die Anstiegszeitspezifikation. Oszilloskope mit einem Gaußschen Frequenzgang haben eine ungefähre Anstiegszeit von $0,35/f_{BW}$, basierend auf einem 10%- bis 90%-Kriterium. Beachten Sie jedoch, dass die Anstiegszeit eines Oszilloskops nicht der höchsten Flankengeschwindigkeit entspricht, die das Oszilloskop genau messen kann. Es ist die höchste Flankengeschwindigkeit, die das Oszilloskop eventuell produzieren kann, wenn das Eingangssignal eine theoretisch unbegrenzt schnelle Anstiegszeit (0 ps) aufweist. Obwohl diese theoretische Spezifikation in der Praxis nicht getestet werden kann – da Pulsgeneratoren keine unbegrenzt schnelle Anstiegszeit besitzen, können Sie die Anstiegszeit des Oszilloskops testen, indem Sie einen Eingangsimpuls mit Flankengeschwindigkeiten anlegen, die fünf- bis zehnmals schneller als die festgelegte Anstiegszeit des Oszilloskops sind.

Erforderliche Bandbreite für analoge Anwendungen

Vor Jahren empfahlen die meisten Anbieter von Oszilloskopen, dass die Oszilloskop-Bandbreite mindestens dreimal größer sein sollte als die maximale Frequenz des Eingangssignals. Diese Faustregel ist Ihrem Professor wahrscheinlich noch bekannt. Obwohl dieser Multiplikationsfaktor von „3x“ nicht auf digitale Anwendungen anwendbar wäre, die auf Taktraten oder Flankengeschwindigkeiten basieren, gilt er weiterhin für analoge Anwendungen wie z.B. eine modulierte Hochfrequenz. Um nachvollziehen zu können, wie dieser 3-zu-1-Multiplikationsfaktor entsteht, lassen Sie uns einen tatsächlichen Frequenzgang von 1 GHz Oszilloskop-Bandbreite betrachten.

Abbildung 34 zeigt einen gemessenen Test des Frequenzgangs (1 MHz auf 2 GHz) bei einem Agilent-Oszilloskop mit 1 GHz Bandbreite. Wie Sie sehen können, wird die gemessene Größe (Wellenform auf Oszilloskop-Display) bei genau 1 GHz um weniger als 3 dB ($V_o/V_i > 0,7$) leicht gedämpft. Zur Durchführung exakter Messungen bei analogen Signalen müssen Sie das Oszilloskop im Frequenzbandbereich benutzen, in dem die Frequenz mit minimaler Dämpfung relativ gering ist. Bei ca. einem Drittel der Oszilloskop-Bandbreite von 1 GHz weist dieses Oszilloskop eine sehr geringe Dämpfung (-0,2 dB) auf.

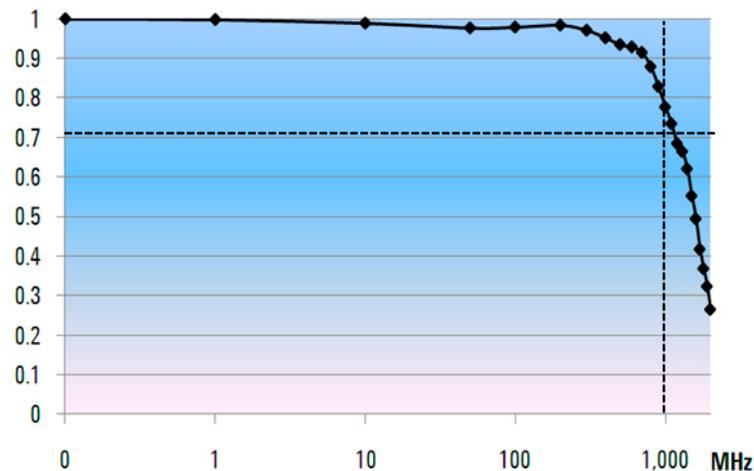


Abbildung 34 Tatsächlicher Frequenzgang eines Agilent-Oszilloskops mit einer Bandbreite von 1 GHz

Erforderliche Bandbreite für digitale Anwendungen

Die Mehrheit der Absolventen des Elektrotechnikstudiengangs arbeitet bei ihrem Einstieg in die Elektronikbranche schwerpunktmäßig im Bereich der digitalen Anwendungen für Entwürfe. Heutzutage sind digitale Taktraten und serielle Datenverbindungen im Multi-Gigabit/Sekundenbereich sehr häufig.

Faustregel

Als Faustregel sollte die Bandbreite Ihres Oszilloskops mindestens um das Fünffache größer sein als die höchste digitale Taktrate im zu testenden System. Wenn Ihr Oszilloskop dieses Kriterium erfüllt, können mit minimaler Signaldämpfung Signale bis zur fünften Oberwelle erfasst werden. Diese Komponente des Signals ist sehr wichtig bei der Bestimmung der Gesamtform Ihrer digitalen Signale.

$$f_{BW} \geq 5 \times f_{clk}$$

Wenn Sie jedoch präzise Messungen an Hochgeschwindigkeitsflanken vornehmen müssen, berücksichtigt diese einfache Formel nicht die tatsächlichen, in schnell ansteigenden und abfallenden Flanken enthaltenen Höchstgeschwindigkeitskomponenten.

Schritt 1: Bestimmen der höchsten tatsächlichen Flankengeschwindigkeiten

Eine genauere Methode zur Bestimmung der Oszilloskop-Bandbreite besteht in der Festlegung der maximalen Frequenz, die Ihre digitalen Signale aufweisen, was jedoch nicht der maximalen Taktrate entspricht. Die maximale Frequenz basiert auf den höchsten Flankengeschwindigkeiten in Ihren Entwürfen. Zuerst müssen Sie folglich die Anstiegs- und Abfallzeiten Ihrer schnellsten Signale bestimmen. Diese Informationen können Sie in der Regel aus veröffentlichten Spezifikationen zu in Ihren Entwürfen verwendeten Geräten entnehmen.

Schritt 2: Berechnen von f_{Knie}

Sie können dann mit einer einfachen Formel die maximale „geeignete“ Frequenzkomponente berechnen. Dr. Howard W. Johnson hat zu diesem Thema ein Buch mit folgendem Titel geschrieben „*High-speed Digital Design - A Handbook of Black Magic.*“¹ Er bezeichnet diese Frequenzkomponente als „Knie“-Frequenz (f_{Knie}). Alle schnellen Flanken besitzen ein unendliches Spektrum an Frequenzkomponenten. Es gibt jedoch eine Inflektion (oder Knie) im Frequenzspektrum der schnellen Flanken, wo die Frequenzanteile, die höher als f_{Knie} , zur Bestimmung der Signalform bedeutungslos sind.

$$f_{Knie} = 0,5/RT \text{ (10\% 90\%)}$$

$$f_{Knie} = 0,4/RT \text{ (20\% 80\%)}$$

Bei Signalen mit Werten für die Anstiegszeit, die auf 10% bis 90% der Schwellenwerte basieren, entspricht f_{Knie} dem Wert, der sich bei der Division von 0,5 mit der Anstiegszeit des Signals ergibt. Bei Signalen mit Werten für die Anstiegszeit, die auf 20% bis 80% der Schwellenwerte basieren, was bei heutigen Gerätespezifikationen üblich ist, entspricht f_{Knie} dem Wert, der sich bei der Division von 0,4 mit der Anstiegszeit des Signals ergibt. Verwechseln Sie diese Anstiegszeiten nicht mit der für das Oszilloskop festgelegten Anstiegszeit. Wir reden über die tatsächliche Flankengeschwindigkeit von Signalen.

Schritt 3: Berechnen der Oszilloskop-Bandbreite

Als dritter Schritt folgt die Bestimmung der Oszilloskop-Bandbreite, die für die Messung des Signals erforderlich ist, in Abhängigkeit von Ihrem gewünschten Genauigkeitsgrad bei Messungen der Anstiegs- und Abfallzeiten. [Tabelle 2](#) zeigt Multiplikationsfaktoren für verschiedene Genauigkeitsgrade bei Oszilloskopen mit einem Gaußschen Frequenzgang.

Tabelle 2 Multiplikationsfaktoren für die Berechnung der erforderlichen Oszilloskop-Bandbreite, basierend auf dem gewünschten Genauigkeitsgrad

Erforderliche Genauigkeit	Erforderliche Bandbreite
20%	$f_{BW} = 1,0 \times f_{Knie}$
10%	$f_{BW} = 1,3 \times f_{Knie}$
3%	$f_{BW} = 1,9 \times f_{Knie}$

Beispiel

Lassen Sie uns dieses Beispiel durchgehen:

Bestimmen Sie die erforderliche Mindestbandbreite eines Oszilloskops mit einem ungefähren Gaußschen Frequenzgang für die Messung einer Anstiegszeit von 1 ns (10 – 90%).

Wenn das Signal eine ungefähre Anstiegs- bzw. Abfallzeit von 1 ns (basierend auf einem 10% zu 90%-Kriterium) aufweist, läge der maximale Frequenzanteil (f_{Knie}) im Signal dementsprechend bei ca. 500 MHz.

$$f_{Knie} = 0,5 / 1 \text{ ns} = 500 \text{ MHz}$$

Wenn bei der Messung der Parameter für Anstiegs- und Abfallzeit Zeitfehler von bis zu 20% toleriert werden können, ist ein Oszilloskop mit 500 MHz Bandbreite für Ihre digitalen Messungen empfehlenswert. Wenn jedoch eine Zeitgenauigkeit im Bereich von 3% notwendig ist, wäre ein Oszilloskop mit 1 GHz Bandbreite die bessere Wahl.

**20% Zeitgenauigkeit:
Oszilloskop-Bandbreite = 1,0 x 500 MHz = 500 MHz**

**3% Zeitgenauigkeit:
Oszilloskop-Bandbreite = 1,9 x 500 MHz = 950 MHz**

Führen wir jetzt einige Messungen zum digitalen Taktsignal mit ähnlichen Eigenschaften wie in diesem Beispiel unter Verwendung verschiedener Oszilloskop-Bandbreiten durch.

Vergleiche zu Digitaltaktmessungen

Abbildung 35 zeigt die Wellenformen bei der Messung eines digitalen 100 MHz-Taktsignals mit höchsten Flankengeschwindigkeiten bei der Verwendung eines Oszilloskops mit 100 MHz Bandbreite. Wie Sie sehen können, lässt dieses Oszilloskop primär die Grundfrequenz von 100 MHz dieses Taktsignals durch, demzufolge wird unser Taktsignal annähernd als Sinuswelle dargestellt. Ein 100 MHz-Oszilloskop kann für viele MCU-basierte 8-Bit-Entwürfe mit Taktraten im Bereich von 10 MHz bis 20 MHz eine geeignete Lösung darstellen, jedoch reicht eine Bandbreite von 100 MHz für dieses digitale Taktsignal von 100 MHz eindeutig nicht aus.

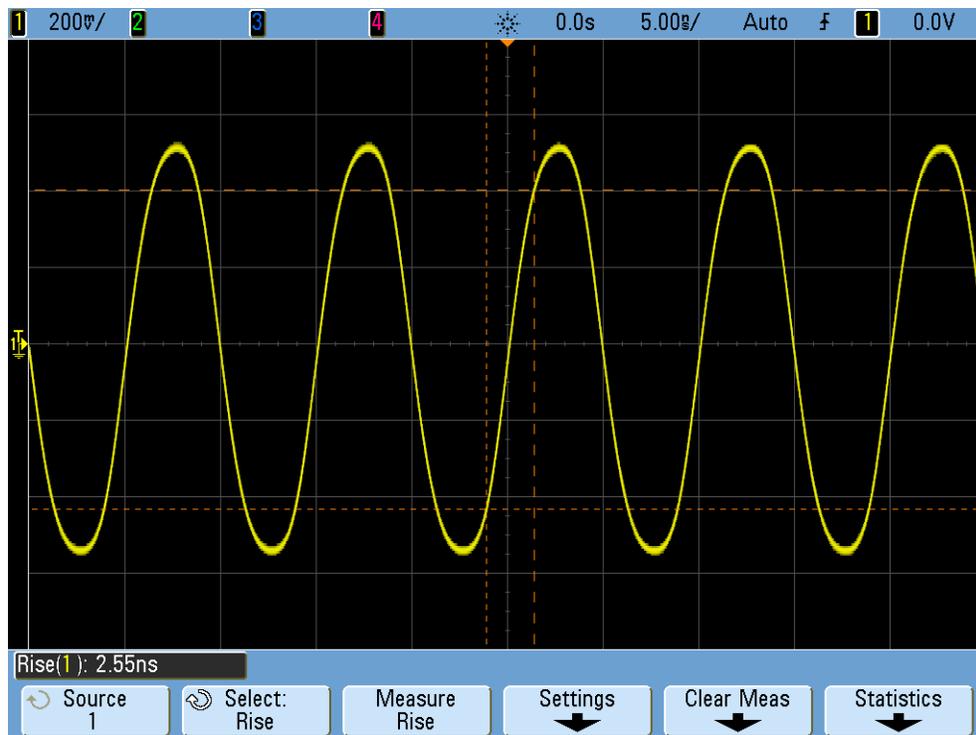


Abbildung 35 Digitales Taktsignal von 100 MHz, erfasst auf einem Oszilloskop mit 100 MHz Bandbreite

Bei der Verwendung eines Oszilloskops mit einer Bandbreite von 500 MHz zeigt [Abbildung 36](#), dass mit diesem Oszilloskop Signale bis zur fünften Oberwelle erfasst werden können, dies entspricht also unserer ersten Faustregel. Messen wir jedoch die Anstiegszeit, beobachten wir, dass das Oszilloskop ca. 750 ps misst. In diesem Fall führt das Oszilloskop keine sehr genaue Messung

der Anstiegszeit dieses Signals durch. Das Oszilloskop misst tatsächlich einen Wert, der näher bei der eigenen Anstiegszeit liegt (700ps) – nicht der Anstiegszeit des Eingangssignals, die näher bei einem Wert von 500 ps liegt. Wenn die Zeitmessungen aussagekräftig sein sollen, benötigen wir ein Oszilloskop mit einer höheren Bandbreite für diese digitale Messung.

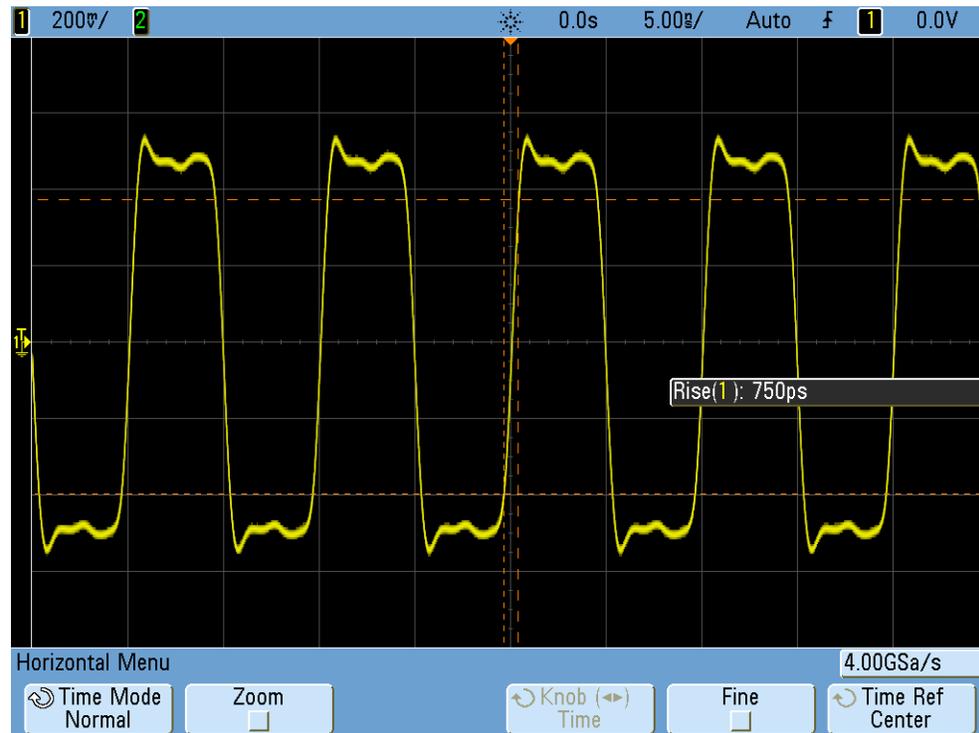


Abbildung 36 Digitales Taktsignal von 100 MHz, erfasst auf einem Oszilloskop mit 500 MHz Bandbreite

Verwenden wir ein Oszilloskop mit einer Bandbreite von 1 GHz für die Erfassung dieses digitalen 100 MHz-Taktsignals, führt dies zu einem viel genaueren Messergebnis als in [Abbildung 37](#). Wir können schnellere Anstiegs- und Abfallzeiten messen, wir beobachten eine geringere Überschwingweite und können sogar geringfügige Reflexionen erkennen, die das Oszilloskop mit einer geringeren Bandbreite maskiert.

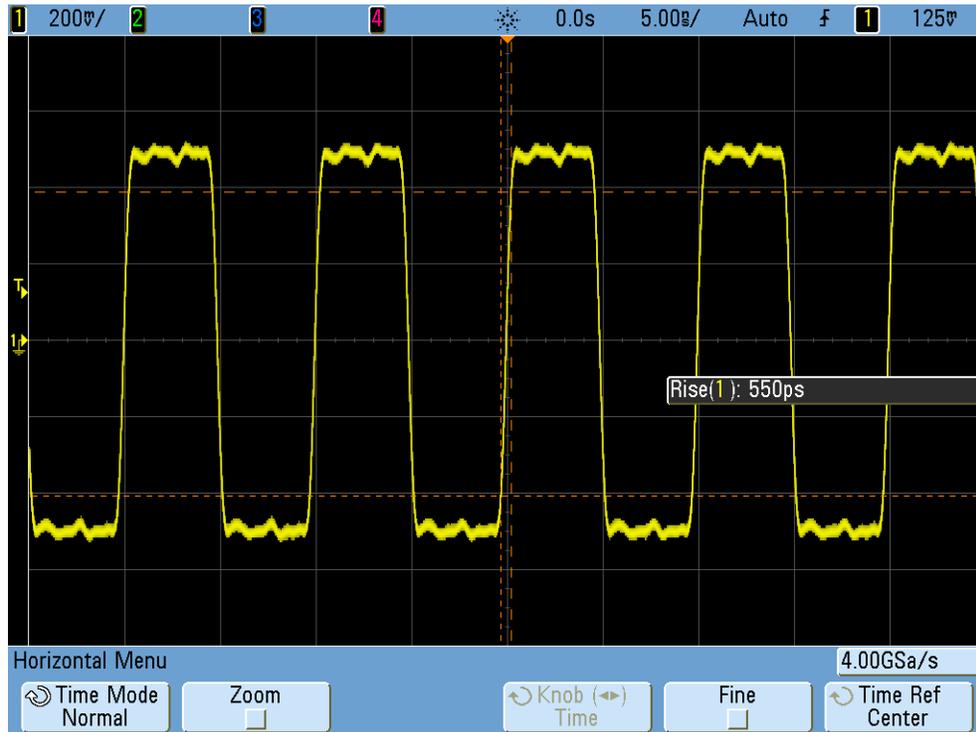


Abbildung 37 Digitales Taktsignal von 100 MHz, erfasst auf einem Oszilloskop mit 1 MHz Bandbreite

Der Schwerpunkt dieses Tutorials zur Oszilloskop-Bandbreite liegt bei Oszilloskopen, die einen Gaußschen Frequenzgang zeigen. Dies ist typisch für Oszilloskope mit Bandbreitenspezifikationen von 1 GHz und darunter. Viele Oszilloskope mit einer höheren Bandbreite zeigen einen Frequenzgang mit einer schärferen Roll-Off-Charakteristik. Mit dieser Art von Frequenzgang werden bandinterne Frequenzen (Frequenzen unter dem Wert von -3 dB) weniger gedämpft, während bandexterne Frequenzen (Frequenzen über einem Wert von -3 dB) stärker unterdrückt werden. Diese Art von Frequenzgang, die sich einem idealen „Ziegelwand“-Filter annähert, wird manchmal auch „maximal flacher“ Frequenzgang genannt. Die Formeln für die Berechnung der erforderlichen Oszilloskop-Bandbreite bei Oszilloskopen mit höherer Bandbreite (> 1 GHz) unterscheiden sich von denen in diesem Tutorial angegebenen. Wenn Sie mehr über die Oszilloskop-Bandbreite wissen möchten, können Sie den Agilent Anwendungshinweis mit dem Titel „*Evaluating Oscilloscope Bandwidths for your Application*“ herunterladen. Diese Publikation ist im Abschnitt „Weiterführende Literatur“ dieses Dokuments mit Anweisungen für den Download aufgelistet.

¹ High-Speed Digital Design, A Handbook of Black Magic, Howard Johnson, Martin Graham, 1993, Prentice Hall PTD, Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey 07458

Index

A

Ablenkungsmodus, 27
Aktiver Differenzial-Tastkopf, 9
Analoge Oszilloskope, 7
Ausgewählte Messungen, 48
AUTO-Meldung, 26

C

Comma Separated Values, 41
Cursor, 19

D

Dämpfungsfaktor, Tastkopf, 10
Der Modus Trigger-Ablenkung, 28
Die Anschlüsse „Messsondenkomp.“, 16
Digitalspeicher-Oszilloskop, 7
Divisionszählung, 22
DSO, 7
dynamischer Bereich, 10

E

Einführung, 3
Eingabe-Steuerungsknopf, 13
Eingetragene Marken, 2
Einstellung, Messkopfkomensation, 34
Erdungsreferenz, 19

F

Feineinstellung, 17
Frequenz, 19

H

Haupt-Zeitbasis, 48
Hinweis für Elektrotechnik-/Physikdozenten, 4
hinweise, 2
Horizontal-Bedienelemente, 11

I

Inhärent-/Parasitärkapazität, 32

K

Kompensation der Messköpfe, 33
Kompensation, Messkopf, 33

Kompensationskapazität, 35

L

Lastkapazität, 37
Literatur, weiterführend zu Agilent, 52

M

Mathematische Kurve, 43
Messkopfbelastung, 36
Messkopfdämpfungsfaktoren, 17

O

Oszilloskop, 7
Oszilloskop-Tastköpfe, 8

P

Parasitärkapazitäten, 32
Passive
10:1-Spannungsteiler-Tastköpfe, 8
Periode, 19
Pulsbreite, 19

R

Referenzsignale, 40

S

Schaltplan eines
passiven 10:1 Tastkopfs, 9
Softkeys, 12
Spannungsteilernetzwerk, 43
Spitze-Spitze-Spannungsniveau, 19

T

Tastkopfdämpfungsfaktor, 10
Tastköpfe, Oszilloskop, 8
Torgesteuerte Messungen, 48
Trigger-Modus, 27
Triggern, 24
Triggerpegel-Steuerelement/-Drehknopf, 12

V

Vernier, 17

Vertikale Einstellungen, 11
Verzögerte Zeitbasis, 48

W

Wartemeldung, 28
Werkseinstellungen, 17

Z

Zoom-Anzeige, 48

