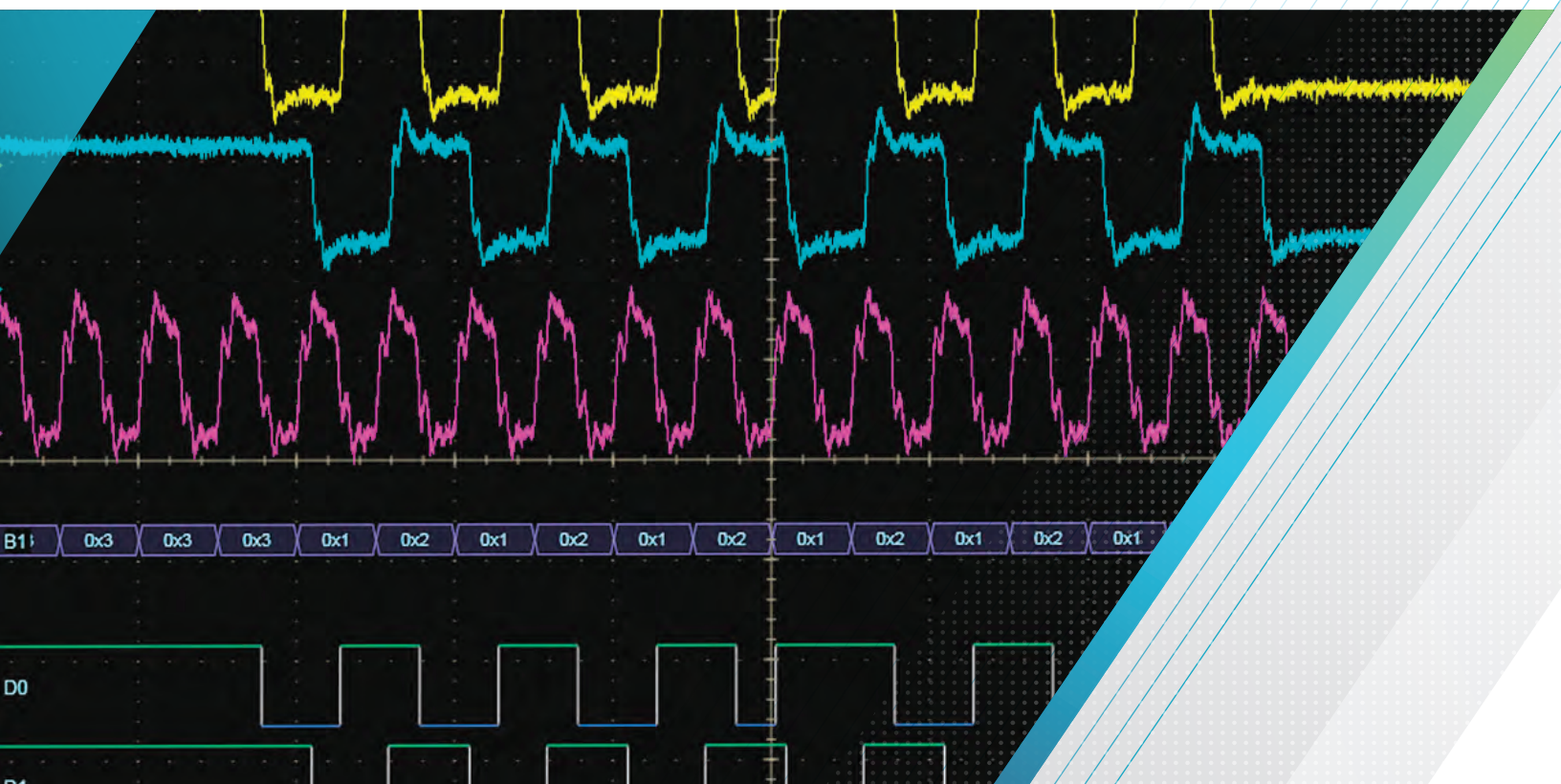


ABC der Oszilloskope

EINFÜHRUNGSHANDBUCH



Inhaltsverzeichnis

Einführung	4
Signalintegrität	5-6
Die Bedeutung der Signalintegrität.....	5
Warum ist Signalintegrität ein Problem?.....	5
Betrachtung des analogen Ursprungs von Signalen.....	6
Das Oszilloskop.....	7-12
Erläuterung von Signalen und Signalmessungen	7
Arten von Signalen.....	8
Sinussignale.....	9
Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale	9
Sägezahn- und Dreiecksignale	9
Sprung- und Impulssignale	9
Periodische und nichtperiodische Signale	9
Synchrone und asynchrone Signale	9
Zusammengesetzte Signale	10
Signalmessungen	11
Frequenz und Periode	11
Spannung	11
Amplitude	11
Phase	11
Signalmessungen mit digitalen Oszilloskopen	12
Arten von Oszilloskopen.....	13 - 18
Digitale Speicheroszilloskope.....	13
Digital-Phosphor-Oszilloskope	15
Mixed-Domain-Oszilloskope	17
Mixed-Signal-Oszilloskope	17
Digital-Sampling-Oszilloskope	18

Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops 19-33	
Vertikalsystem und Bedienelemente.....	20
Position und Volt pro Skalenteil	20
Eingangskopplung	20
Bandbreitenbegrenzung	20
Bandbreitenvergrößerung	21
Horizontalsystem und Bedienelemente	21
Erfassungs-Bedienelemente	21
Erfassungsmodi	21
Übliche horizontale Bedienelemente	21
Erfassungsmodi	22
Starten und Stoppen des Erfassungssystems	22
Abtastung	23
Abtast-Bedienelemente	23
Echtzeit-Abtastverfahren	23
Äquivalentzeit-Abtastmethode	25
Position und Volt pro Skalenteil	27
Zeitbasis-Auswahl	27
Zoom/Verschieben	27
Suchen	27
XY-Betrieb	27
Z-Achse	27
XYZ-Betrieb mit DPO	27
Triggersystem und Bedienelemente	28
Triggerposition	30
Triggerpegel und Flanke	30
Triggerquellen	30
Triggermodi	31
Trigger-Kopplung	31
Trigger-Holdoff	31
Anzeigesystem und Bedienelemente	32
Weitere Bedienelemente des Oszilloskops.....	32
Math and Measurement Operations	32
Digitale Timing- und Zustandserfassungen	32

Das vollständige Messsystem.....	33 - 36	Bedienung des Oszilloskops.....	45 - 46
Tastköpfe	33	Ordnungsgemäße Erdung	44
Passive Tastköpfe	34	Einstellung der Bedienelemente	44
Aktive und Differentialtastköpfe	35	Kalibrieren des Geräts	45
Logiktastköpfe	35	Anschließen der Tastköpfe	45
Spezialtastköpfe	36	Kompensation der Tastköpfe	45
Tastkopfzubehör	36	Oszilloskop-Messverfahren.....	47 - 49
Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien ..	36-43	Spannungsmessungen	47
Bandbreite	36	Zeit- und Frequenzmessungen	48
Anstiegszeit	37	Impulsbreiten- und Anstiegszeitmessungen	48
Abtastrate	38	Phasenverschiebungsmessungen	49
Signalerfassungsrate	39	Andere Messverfahren	49
Aufzeichnungslänge	39	Schriftliche Übungen	50 - 55
Triggerfunktionen.....	40	Teil I	
Effektive Bits	40	A: Vokabelübung	50
Frequenzgang	40	B: Anwendungsübung	51
Vertikalempfindlichkeit	40	Teil II	
Ablenkgeschwindigkeit	40	A: Vokabelübung	52
Verstärkungsgenauigkeit	40	B: Anwendungsübung	53
Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis)	40	Schlüssel zu den Antworten	55
Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler)	40	Glossar	56 - 59
Timing-Auflösung (MSO)	41		
Anschlüsse	41		
Erweiterbarkeit	41		
Einfache Bedienung	43		

Einführung

Die klassische, natürlich vorkommende Wellenform ist die Sinuswelle. Ob Meereswellen, Erdbeben, Überschall-Stoßwellen, Explosionen, Luftschall oder die Eigenschwingung eines bewegten Körpers – alles breitet sich sinusförmig aus. Energie, vibrierende Partikel und andere unsichtbare Kräfte durchdringen unser physisches Universum. Sogar Licht – sowohl Teilchen als auch Welle – hat eine Grundfrequenz, die wir als Farbe wahrnehmen können.

Mit Hilfe von Sensoren können diese Kräfte in elektrische Signale umgewandelt werden, die wir mit einem Oszilloskops beobachten und untersuchen können. Oszilloskope ermöglichen es Wissenschaftlern, Ingenieuren, Technikern, Pädagogen und anderen, zeitlich veränderliche Ereignisse für das menschliche Auge sichtbar zu machen.

Oszilloskope sind unverzichtbare Werkzeuge für jeden, der elektronische Geräte entwickelt, herstellt oder repariert. In der heutigen schnelllebigen Zeit benötigen Ingenieure die besten verfügbaren Geräte, um Messungen möglichst schnell und präzise vornehmen zu können. Die Lösung für die heutigen anspruchsvollen Anforderungen an Messvorgänge liegt im Einsatz von Oszilloskopen.

Der Einsatz eines Oszilloskops ist nicht auf die Welt der Elektronik beschränkt. Mit dem geeigneten Sensor kann ein Oszilloskop die verschiedensten Phänomene messen. Ein Sensor ist ein Gerät, das ein elektrisches Signal als Antwort auf physikalische Anregungen, wie Schall, mechanische Belastung, Druck, Licht oder Wärme, erzeugt. Ein Mikrofon ist ein Sensor, der Schall in ein elektrisches Signal umwandelt. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die Erfassung von physikalischen Daten mit einem Oszilloskop.

Oszilloskope werden von den unterschiedlichsten Berufsgruppen verwendet, vom Physiker bis zum Wartungstechniker. Fahrzeugingenieure verwenden Oszilloskope um analoge Daten von Sensoren mit seriellen Daten aus der Motorsteuerung zu korrelieren. Medizinische Forscher setzen Oszilloskope zum Messen von Gehirnströmen ein. Die Möglichkeiten sind unbegrenzt.

Die in diesem Einführungshandbuch dargestellten Konzepte vermitteln Ihnen ein gutes Basiswissen zum Verständnis und zur Funktionsweise eines Oszilloskops.

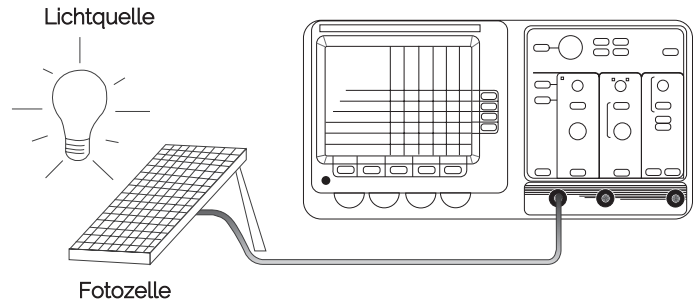


Abbildung 1. Ein Beispiel für physikalische Daten, die von einem Oszilloskop erfasst werden können.

Das Glossar am Ende dieses Einführungshandbuchs enthält Definitionen möglicherweise nicht bekannter Begriffe. Die schriftlichen Vokabular- und Multiple-Choice-Übungen zur Oszilloskoptheorie und den Bedienelementen machen dieses Einführungshandbuch zu einer wertvollen Unterlage für den Unterricht. Mathematische oder elektronische Kenntnisse sind nicht erforderlich.

Nachdem Sie dieses Einführungshandbuch gelesen haben, können Sie:

- Die Funktionsweise von Oszilloskopen beschreiben
- Die Unterschiede zwischen verschiedenen Oszilloskopen beschreiben
- Die verschiedenen Arten elektrischer Signale beschreiben
- Die grundlegenden Oszilloskop-Bedienelemente verstehen
- Einfache Messungen durchführen

Das im Lieferumfang Ihres Oszilloskops enthaltene Handbuch enthält ausführlichere Informationen zur Verwendung des Oszilloskops für Ihre Arbeitsanforderungen. Einige Oszilloskophersteller stellen zudem eine Vielzahl von Anwendungshinweisen bereit, mit denen Sie das Oszilloskop für Ihre anwendungsspezifischen Messungen optimieren können.

Wenn Sie weitere Unterstützung benötigen oder Kommentare und Fragen zu den Informationen in diesem Handbuch haben, wenden Sie sich an Ihren Tektronix-Händler oder besuchen Sie unsere Website unter www.tektronix.com.

Signalintegrität

Die Bedeutung der Signalintegrität

Der Schlüssel zu einem guten Oszilloskopsystem ist seine Fähigkeit, ein elektrisches Signal exakt zu rekonstruieren. Dies wird als Signalintegrität bezeichnet. Ein Oszilloskop entspricht in gewissem Sinne einer Kamera, welche Signalbilder erfasst, die dann betrachtet und interpretiert werden können. Drei Punkte sind für die Signalintegrität besonders wichtig.

- Ist die Aufnahme ein exaktes Abbild des tatsächlichen Geschehens?
- Ist die Aufnahme scharf oder verschwommen?
- Wie viele dieser exakten Aufnahmen können pro Sekunde erfasst werden?

Die verschiedenen Systeme und Leistungsmerkmale eines Oszilloskops zusammen tragen zu seiner Fähigkeit bei, die größtmögliche Signalintegrität zu erreichen. Auch die Tastköpfe haben einen Einfluss auf die Signalintegrität eines Messsystems.

Die Signalintegrität wirkt sich auf viele Bereiche des Elektronikdesigns aus. Bis vor wenigen Jahren stellte sie für Digitaldesigner jedoch kein großes Problem dar. Die konnten davon ausgehen, dass sich ihre Logikdesigns tatsächlich wie die booleschen Schaltungen verhalten, als die sie konzipiert waren. Unbestimmbare, durch Rauschen beeinträchtigte Signale traten nur in Hochgeschwindigkeitsdesigns auf – ein Problem, für das HF-Designer zuständig waren. Die Schaltvorgänge in digitalen Systemen waren langsam, und die Signale stabilisierten sich auf vorhersehbare Weise.

Die Prozessortaktraten sind seither um ein Vielfaches höher geworden. Computeranwendungen, wie 3D-Grafiken, Video und Server-I/O, erfordern hohe Bandbreiten. Viele moderne Telekommunikationsgeräte arbeiten digital und erfordern daher ebenfalls sehr hohe Bandbreiten. Dies gilt auch für das digitale HD-Fernsehen. Die aktuelle Generation von Mikroprozessorgeräten hat Datenraten von bis zu 2,3 Gb/s, ja sogar bis zu 5 Gb/s (Gigabit pro Sekunde), während einige DDR3-Speicher Taktraten von mehr als 2 GHz sowie Datensignale mit einer Anstiegszeit von 35 ps aufweisen.

Zudem hat die Geschwindigkeitssteigerung inzwischen auch die weitverbreiteten integrierten Schaltkreise (ICs) erreicht, die in Fahrzeugen, Verbraucherelektronik und Maschinensteuerungen verwendet werden, um nur einige Anwendungen zu nennen.

Ein Prozessor mit einer Taktrate von 20 MHz kann leicht Signale mit einer Anstiegszeit wie bei einem 800-MHz-Prozessor aufweisen. Designer haben eine Leistungsschwelle überschritten, die bedeutet, dass jetzt nahezu jedes Design ein Hochgeschwindigkeitsdesign ist.

Ohne entsprechende Vorsichtsmaßnahmen können Hochgeschwindigkeitsprobleme bei ansonsten unproblematischen digitalen Designs auftreten. Wenn eine Schaltung intermittierende Störungen aufweist oder bei extremen Spannungs- und Temperaturwerten Fehler auftreten, liegen wahrscheinlich versteckte Probleme mit der Signalintegrität vor. Diese können sich auf die Marktreifezeit, Produktzuverlässigkeit, EMI-Konformität und anderes mehr auswirken. Derartige Hochgeschwindigkeitsprobleme können zudem die Integrität eines seriellen Datenstroms in einem System beeinflussen und eine Methode zur Korrelation bestimmter Muster in den Daten mit den beobachteten Merkmalen von Hochgeschwindigkeitssignalen erfordern.

Warum ist Signalintegrität ein Problem?

Betrachten wir einmal einige der spezifischen Ursachen der Signalverschlechterung in modernen digitalen Designs. Warum treten diese Probleme heute so viel häufiger auf als in der Vergangenheit?

Die Antwort lautet Geschwindigkeit. In der „langsamen alten Zeit“ mussten für die Aufrechterhaltung der Integrität digitaler Signale Details wie Taktverteilung, Signalwegdesign, Rauschgrenzwerte, Belastungseffekte, Übertragungseffekte, Buserminierung, Entkopplung und Leistungsverteilung beachtet werden. Alle diese Regeln gelten nach wie vor, aber...

Die Buszykluszeiten sind um das bis zu Tausendfache schneller als vor 20 Jahren! Transaktionen, die früher Mikrosekunden benötigten, werden jetzt in Nanosekunden gemessen. Um diese Verbesserung zu erreichen, mussten auch die Flankengeschwindigkeiten erhöht werden: diese sind um bis zu 100 Mal schneller als vor zwei Jahrzehnten.

Dies ist alles schön und gut. Jedoch haben bestimmte physikalische Gegebenheiten verhindert, dass die Leiterplattentechnologie mit diesen Veränderungen Schritt halten konnte. Die Laufzeit bei Inter-Chip-Bussen hat sich jahrzehntelang kaum geändert. Die Geometrien wurden zwar kleiner, aber es besteht nach wie vor ein Bedarf, Schaltkreisflächen für ICs, Steckverbinder, passive Komponenten und natürlich auch für die Busleiterbahnen selbst vorzusehen. Diese Flächen summieren sich zu Entfernungen, und Entfernungen bedeuten Zeit – der Feind von Geschwindigkeit.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Flankengeschwindigkeit – Anstiegszeit – eines digitalen Signals weit höhere Frequenzanteile übertragen kann als ihre Wiederholrate vermuten lässt. Aus diesem Grund wählen einige Designer absichtlich ICs mit relativ „langsamen“ Anstiegszeiten.

Das Modell des konzentrierten Schaltkreiselementes war seit jeher die Grundlage für die meisten Berechnungen zur Vorhersage des Signalverhaltens in einer Schaltung. Wenn jedoch die Flankengeschwindigkeiten um mehr als das Vier- bis Sechsfache größer sind als die Signalwegverzögerung, verliert das einfache konzentrierte Modell seine Gültigkeit.

Leiterplattenbahnen, die nur 150 mm lang sind, werden zu Übertragungsleitungen, wenn sie mit Signalen angesteuert werden, die Flankengeschwindigkeiten von weniger als vier bis sechs Nanosekunden aufweisen, und zwar unabhängig von der Zyklusrate. Im Endeffekt entstehen auf diese Weise neue Signalwege. Diese nicht greifbaren Verbindungen sind nicht in den Schaltplänen enthalten, bieten Signalen jedoch die Möglichkeit, sich gegenseitig auf unvorhersehbare Weise zu beeinflussen.

Manchmal können sogar die durch die Tastkopf-Messgerät-Kombination eingebrachten Fehler einen signifikanten Beitrag zu dem zu messenden Signal liefern. Allerdings kann durch Anwendung der Formel „Quadratwurzel der Summe der Quadrate“ auf den gemessenen Wert bestimmt werden, ob sich die Prüfschaltung einem Anstiegszeit/Abfallzeit-Fehler nähert. Darüber hinaus verwenden neue Oszilloskope spezielle Filtertechniken, um die Auswirkungen des Messsystems auf das Signal herauszufiltern, und Flankenzeiten und andere Signaleigenschaften darzustellen.

Gleichzeitig funktionieren die beabsichtigten Signalwege nicht wie vorgesehen. Erdungsflächen und stromführende Flächen, wie die weiter oben beschriebenen Signalbahnen, werden induktiv und verhalten sich wie Übertragungsleitungen. Die Entkopplung der Stromversorgung ist wesentlich weniger wirksam. Elektromagnetische Interferenzen (EMI) nehmen zu, wenn höhere Flankengeschwindigkeiten kürzere Wellenlängen im Vergleich zur Buslänge erzeugen. Übersprechen nimmt zu.

Darüber hinaus erfordern hohe Flankengeschwindigkeiten in der Regel höhere Stromstärken für ihre Erzeugung. Höhere Stromstärken tendieren dazu, Ground Bounce zu verursachen, insbesondere bei breiten Bussen, in denen viele Signale gleichzeitig geschaltet werden. Die höhere Stromstärke erhöht zudem die abgestrahlte magnetische Energie und somit auch das Übersprechen.

Betrachtung des analogen Ursprungs von Signalen

Was haben all diese Eigenschaften gemeinsam? Es sind klassische analoge Phänomene. Um Probleme mit der Signalintegrität zu lösen, müssen Digitaldesigner einen Schritt in den Analogbereich machen. Und für diesen Schritt benötigen sie Werkzeuge, die aufzeigen können, wie digitale und analoge Signale zusammenwirken.

Digitale Fehler haben ihre Ursachen häufig in Problemen der analogen Signalintegrität. Um die Ursache eines digitalen Fehlers zu verfolgen, ist häufig der Einsatz eines Oszilloskops erforderlich, das Signaldetails, Flanken und Rauschen darstellen, Transienten erkennen und darstellen sowie die Messung von Timing-Beziehungen wie Setup- und Hold-Zeiten unterstützen kann. Moderne Oszilloskope können die Fehlersuche vereinfachen, indem sie das Triggern auf bestimmte Muster in parallelen oder seriellen Datenströmen ermöglichen und das analoge Signal darstellen, das zeitlich einem bestimmten Ereignis entspricht.

Wenn Sie die einzelnen Systeme in Ihrem Oszilloskop verstehen und wissen, wie diese angewendet werden, können Sie das Oszilloskop auf effiziente Weise für Ihre spezifischen Messaufgaben einsetzen.

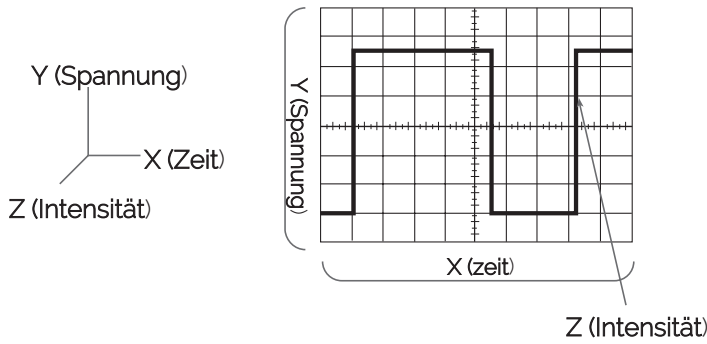


Abbildung 2. X-, Y- und Z-Komponenten eines dargestellten Signals.

Das Oszilloskop

Was ist ein Oszilloskop und wie funktioniert es? Diese grundlegenden Fragen werden in diesem Abschnitt behandelt.

Das Oszilloskop ist im Grunde genommen ein Gerät zur grafischen Darstellung – es stellt ein elektrisches Signal grafisch dar. In den meisten Anwendungen zeigt der Graph, wie sich Signale in Abhängigkeit von der Zeit ändern: Dabei stellt die vertikale Achse (Y-Achse) die Spannung und die horizontale Achse (X-Achse) die Zeit dar. Die Intensität oder Helligkeit der Anzeige wird manchmal als Z-Achse bezeichnet (siehe Abbildung 2). Bei DPO-Oszilloskopen kann die Z-Achse durch helligkeitsmodulierte Bildpunkte dargestellt werden (siehe Abbildung 3).

Dieser einfache Graph kann viele Informationen über ein Signal vermitteln, wie beispielsweise:

- die Zeit- und Spannungswerte eines Signals
- die Frequenz eines Schwingungssignals
- die „dynamischen Komponenten“ eines durch das Signal dargestellten Schaltkreises
- Die Häufigkeit, mit der ein bestimmter Teil des Signals im Verhältnis zu anderen Teilen auftritt
- ob das Signal durch eine fehlerhafte Komponente verzerrt wird
- wie groß die Gleich- und Wechselstromanteile des Signals jeweils sind
- wie groß der Rauschanteil des Signals ist, und ob sich das Rauschen im Laufe der Zeit verändert

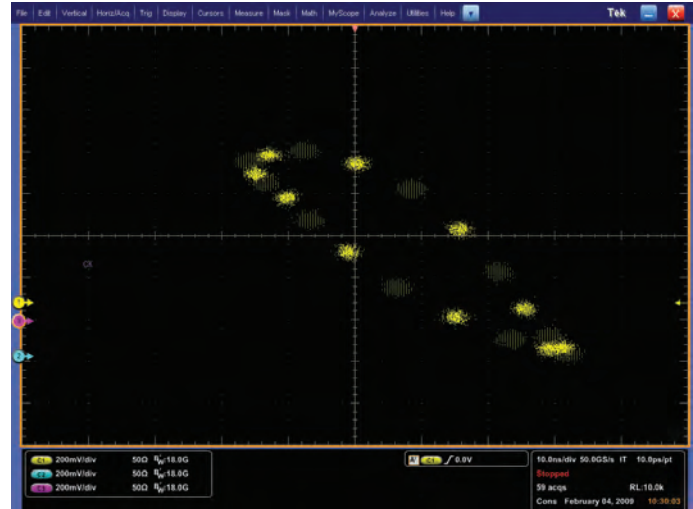


Abbildung 3. Zwei gegeneinander versetzte Taktmuster mit Helligkeitsmodulation der Z-Achse

Erläuterung von Signalen und Signalmessungen

Der allgemeine Begriff für ein Muster, das sich im Laufe der Zeit wiederholt, ist Welle – Schallwellen, Gehirnströme, Meereswellen und Spannungswellen sind alle repetitive Muster. Ein Oszilloskop misst Spannungswellen. Es wurde bereits erwähnt, dass physikalische Phänomene, wie Schwingungen oder Temperatur, oder elektrische Phänomene, wie Strom oder Leistung, von einem Sensor in eine Spannung umgewandelt werden können. Der Zyklus (bzw. die Schwingung) einer Welle ist ihr sich wiederholender Abschnitt. Ein Signal ist die grafische Darstellung einer Welle. Bei einem Spannungssignal wird auf der horizontalen Achse die Zeit und auf der vertikalen Achse die Spannung dargestellt

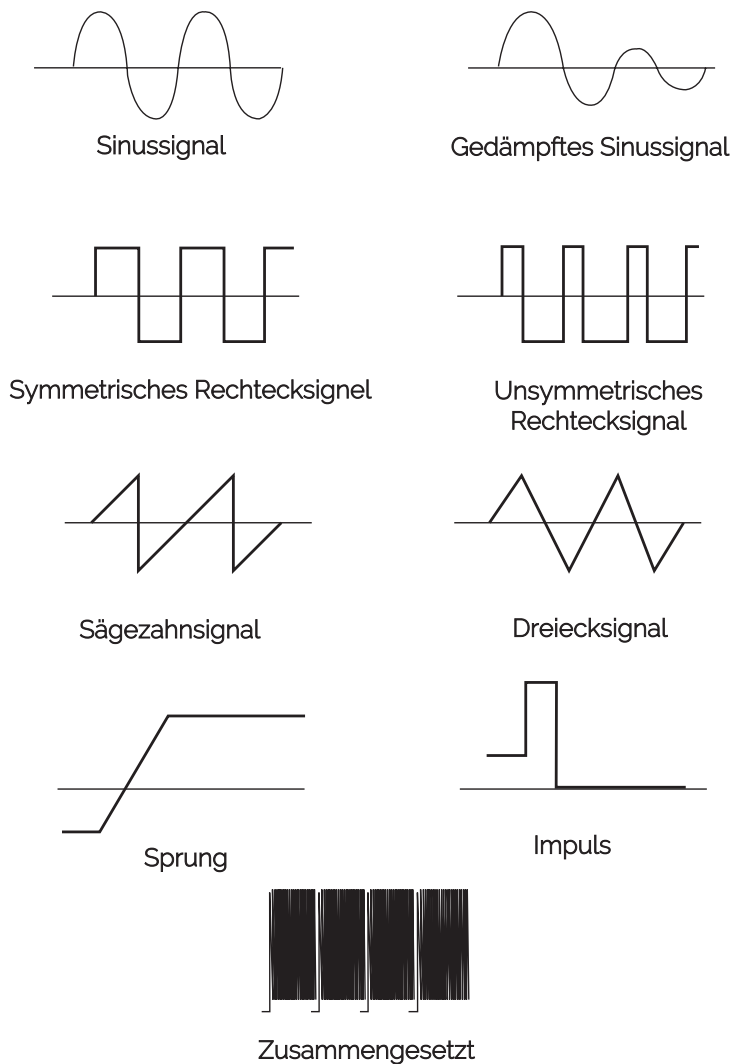


Abbildung 4. Übliche Signale

Die Form eines Signals sagt viel über das Signal aus. Jede Veränderung der Höhe des Signalpegels bedeutet eine Veränderung der Spannung. Eine flache horizontale Linie bedeutet, dass sich über den betreffenden Zeitraum keine Veränderung ergeben hat. Gerade diagonale Linien weisen auf lineare Veränderungen hin, also ein konstantes Ansteigen oder Abfallen der Spannung, scharfe Winkel in einem Signal weisen auf eine plötzliche Änderung hin. Abbildung 4 zeigt übliche Signale, Abbildung 5 zeigt Quellen üblicher Signale.

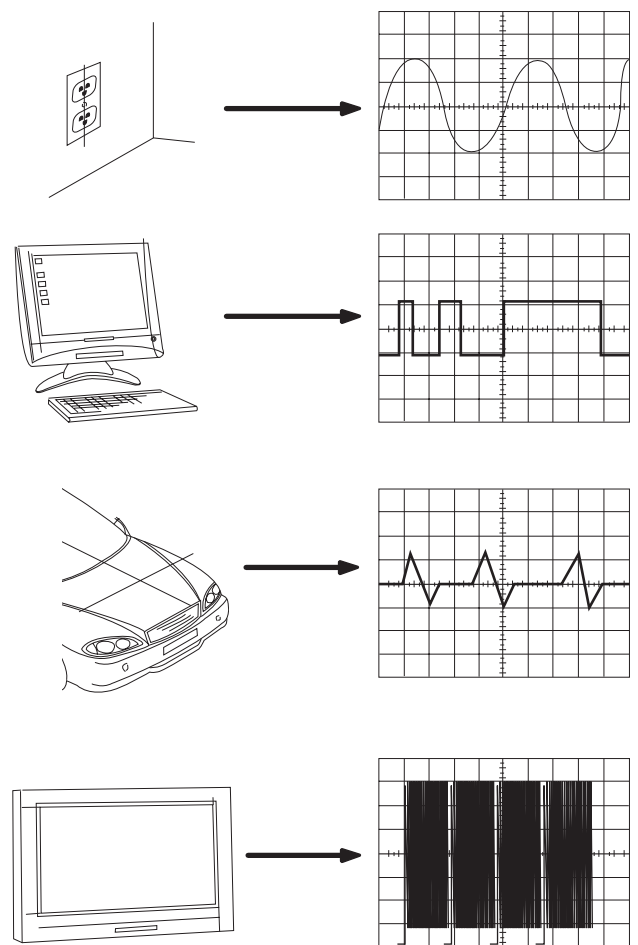


Abbildung 5. Quellen üblicher Signale

Arten von Signalen

Die meisten Signale können in folgende Arten klassifiziert werden:

- Sinussignale
- Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale
- Sägezahn und Dreiecksignale
- Sprung- und Impulssignale
- Periodische und nichtperiodische Signale
- Synchroner und asynchroner Signale
- Zusammengesetzte Signale

Sinussignale

Das Sinussignal ist aus mehreren Gründen die grundlegende Signalform. Es besitzt harmonische mathematische Eigenschaften – tatsächlich handelt sich um die Sinusform, die Sie wahrscheinlich im Mathematikunterricht kennengelernt haben. Die Spannung aus der Wandsteckdose variiert in Form eines Sinussignals. Die von der Oszillatorschaltung eines Signalgenerators erzeugten Signale sind häufig Sinussignale. Die meisten Wechselstromquellen erzeugen Sinussignale. Der Begriff Wechselstrom bezieht sich auf die sich ändernde Stromstärke, die Spannung ändert sich jedoch auch. Der Begriff Gleichstrom bezieht sich auf die gleichbleibende Stromstärke und Spannung, wie z. B. bei einer Batterie.)

Das gedämpfte Sinussignal ist ein Sonderfall, wie er in einem mit der Zeit abklingenden Schwingkreis auftreten kann.

Symmetrische und unsymmetrische Rechtecksignale

Das symmetrische Rechtecksignal ist eine andere übliche Signalform. Im Grunde genommen ist ein symmetrisches Rechtecksignal eine Spannung, die in regelmäßigen Intervallen ein- und ausgeschaltet wird (oder einen hohen und einen niedrigen Pegel hat). Es ist ein Standardsignal zum Prüfen von Verstärkern – bei guten Verstärkern erhöht sich die Amplitude eines symmetrischen Rechtecksignals mit minimaler Verzerrung. Fernseh-, Radio- und Computerschaltungen verwenden häufig symmetrische Rechtecksignale als Timing-Signale.

Das asymmetrische Rechtecksignal unterscheidet sich vom symmetrischen Rechtecksignal nur dadurch, dass beim asymmetrischen Rechtecksignal die hohen und niedrigen Zeitintervalle nicht die gleiche Länge haben. Dies ist besonders wichtig, wenn digitale Schaltungen analysiert werden.

Sägezahn- und Dreieckssignale

Sägezahn- und Dreieckssignale stammen aus Schaltungen, die Spannungen linear steuern, wie z. B. die horizontale Ablenkung eines analogen Oszilloskops oder der Raster-Scan eines Fernsehgeräts. Die Übergänge zwischen Spannungspegeln dieser Signale ändern sich mit einer konstanten Rate. Diese Übergänge werden als Rampen bezeichnet.

Sprung- und Impulssignale

Signale wie Sprung- und Impulssignale, die nur selten oder nichtperiodisch auftreten, werden als Einzelschussignale oder ransiente Signale bezeichnet. Ein Sprung gibt eine plötzliche Spannungsänderung an, ähnlich der Spannungsänderung beim Einschalten eines Netzschalters.

Ein Impuls gibt eine plötzliche Spannungsänderung an, ähnlich der Spannungsänderungen beim Einschalten und nachfolgenden Ausschalten eines Netzschalters. Ein Impuls kann ein Datenbit darstellen, das sich durch eine Computerschaltung bewegt, oder es kann ein Glitch bzw. Fehler in einer Schaltung sein. Eine Gruppe von Impulsen, die sich gemeinsam fortbewegen, bilden eine Impulsfolge. Digitale Komponenten in einem Computer kommunizieren über Impulse miteinander. Diese Impulse können die Form eines seriellen Datenstroms haben, oder es können mehrere Signalfolgen verwendet werden, um einen Wert in einem parallelen Datenbus darzustellen. Impulse treten auch häufig in Röntgen-, Radar- und Kommunikationsgeräten auf.

Periodische und nichtperiodische Signale

Repetitive Signale werden als periodische Signale bezeichnet, während Signale, die sich laufend ändern, als nichtperiodische Signale bezeichnet werden. Ein Standbild entspricht einem periodischen Signal, während ein bewegtes Bild einem nichtperiodischen Signal entspricht.

Synchrone und asynchrone Signale

Wenn zwei Signale miteinander in einem konstanten zeitlichen Zusammenhang stehen, bezeichnet man diese als synchron. Takt-, Daten- und Adresssignale in einem Computer sind Beispiele für synchrone Signale.

Entsprechend werden Signale, zwischen denen kein zeitlicher Zusammenhang besteht, als asynchron bezeichnet. Da es beispielsweise zwischen dem Drücken einer Taste auf der Computertastatur und dem Taktsignal im Computer keinen zeitlichen Zusammenhang gibt, gelten diese als asynchrone Signale.

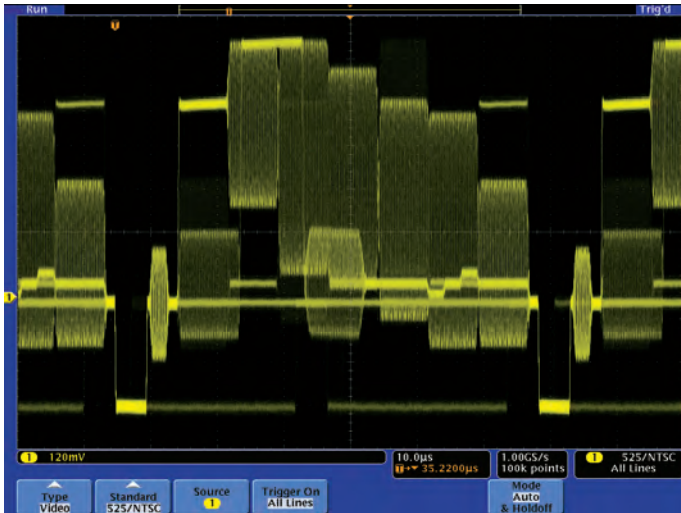


Abbildung 6. Ein NTSC-Verbund-Videosignal ist ein Beispiel für ein zusammengesetztes Signal.

Zusammengesetzte Signale

Einige Signale vereinen die Merkmale von Sinus-, Rechteck-, Sprung- und Impulssignalen und bilden dadurch zusammengesetzte Signale. Die Signalinformationen können in Form von Amplitude, Phase und/oder Frequenzvariationen in die Signale eingebettet sein. Obwohl das Signal in Abbildung 6 ein gewöhnliches Verbund-Videosignal ist, besteht es aus vielen Zyklen von Signalen mit höherer Frequenz, die in eine Hüllkurve mit niedrigerer Frequenz eingebettet sind.

In diesem Beispiel ist es in der Regel am wichtigsten, die relativen Pegel- und Timing-Beziehungen der Sprungsignale zu verstehen. Zur Darstellung dieses Signals benötigen Sie ein Oszilloskop, das die niederfrequente Hüllkurve erfasst und die höherfrequenten Signale helligkeitsmoduliert überlagert, damit Sie die Kombination als Bild sehen können, das sich visuell interpretieren lässt. Digital-Phosphor-Oszilloskope eignen sich am besten zur Darstellung zusammengesetzter Signale, wie z. B. Videosignale (siehe Abbildung 6). Deren Darstellungsart bietet die notwendigen Informationen zur Häufigkeit des Auftretens dieser Signale, oder helligkeitsmodulierte Darstellung, die zum Verständnis des tatsächlichen Signalverhaltens erforderlich sind.

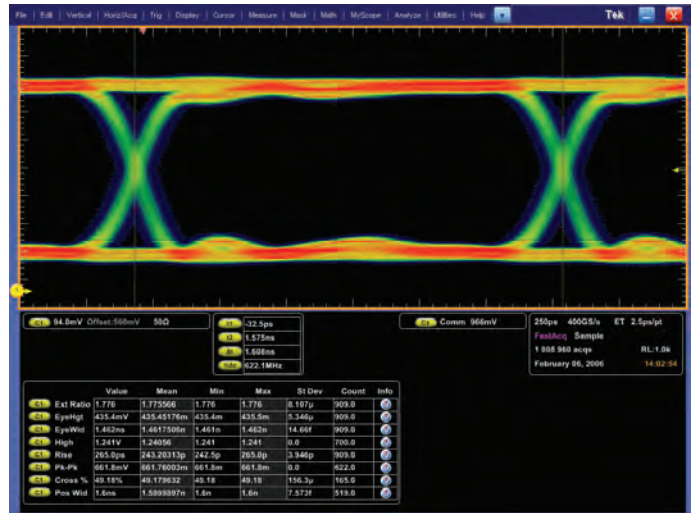


Abbildung 7. Serielles 622-Mbit/s-Augendiagramm.

Einige Oszilloskope ermöglichen eine besondere Darstellung für bestimmte Arten von zusammengesetzten Signalen. Beispielsweise können Telekommunikationsdaten als Augendiagramm oder als Konstellationsdiagramm dargestellt werden.

Digitale Telekommunikationsdatensignale können auf einem Oszilloskop auf eine besondere Weise dargestellt werden, die als Augendiagramm bezeichnet wird. Der Name basiert auf der Ähnlichkeit der Signaldarstellung mit aufeinanderfolgenden Augen (siehe Abbildung 7). Augendiagramme werden erzeugt, wenn digitale Daten aus einem Empfänger abgetastet werden und am vertikalen Eingang anliegen, während die Datenrate zum Triggern der horizontalen Ablenkung verwendet wird. Das Augendiagramm stellt ein Bit- oder Einheitenintervall von Daten mit allen möglichen Flankenübergängen und Überlagerungszuständen in einer umfassenden Ansicht dar.

Ein Konstellationsdiagramm dient zur Darstellung eines Signals, das mit einem digitalen Modulationsverfahren moduliert wurde, wie beispielsweise mittels Quadraturamplitudenmodulation oder Phasenmodulation.

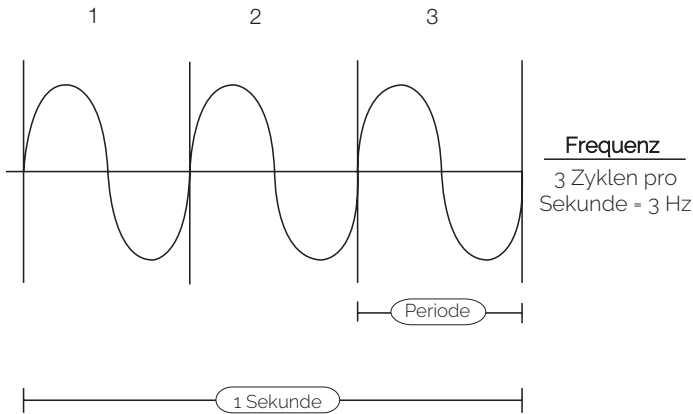


Abbildung 8. Frequenz und Periode eines Sinussignals

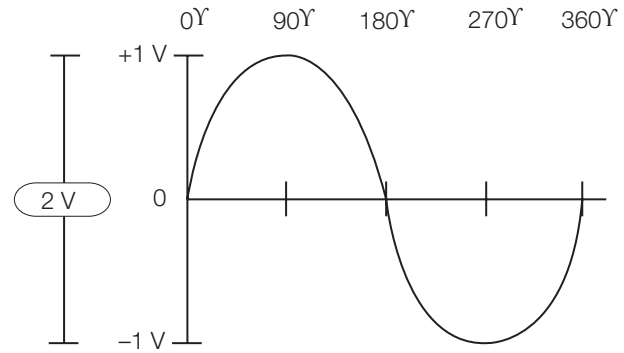


Abbildung 9. Amplitude und Gradeinteilung eines Sinussignals

Signalmessungen

Es gibt viele Begriffe für die verschiedenen Arten von Messungen, die Sie mit Ihrem Oszilloskop durchführen. In diesem Abschnitt werden einige der gebräuchlichsten Messungen und Begriffe beschrieben.

Frequenz und Periode

Ein Signal, das sich wiederholt, besitzt eine Frequenz. Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen und entspricht der Anzahl der Wiederholungen des Signals in einer Sekunde, auch als Zyklen pro Sekunde bezeichnet. Jedes sich wiederholende Signal hat auch eine Periode. Dies ist die Zeit, die das Signal benötigt, um einen Zyklus zu durchlaufen. Periode und Frequenz sind reziprok, d. h. dass eins geteilt durch die Periode die Frequenz ergibt, und eins geteilt durch die Frequenz die Periode ergibt. Beispielsweise hat das Sinussignal in Abbildung 8 eine Frequenz von 3 Hz und eine Periode von $1/3$ Sekunde.

Spannung

Die Spannung ist die Größe des elektrischen Potentials, oder die Signalstärke, zwischen zwei Punkten in einem Schaltkreis. Üblicherweise ist einer dieser Punkte die Masse bzw. Nullspannung, jedoch nicht immer. Die Spannung kann zwischen dem Maximum und Minimum eines Signals gemessen werden, dies wird als Spitze-Spitze-Spannung bezeichnet.

Amplitude

Die Amplitude bezeichnet die Größe der Spannung zwischen zwei Punkten in einem Schaltkreis. Die Amplitude bezieht sich in der Regel auf die maximale Spannung eines von Masse (oder Nullspannung) aus gemessenen Signals. Das in Abbildung 9 dargestellte Signal hat eine Amplitude von 1 V und eine Spitze-Spitze-Spannung von 2 V.

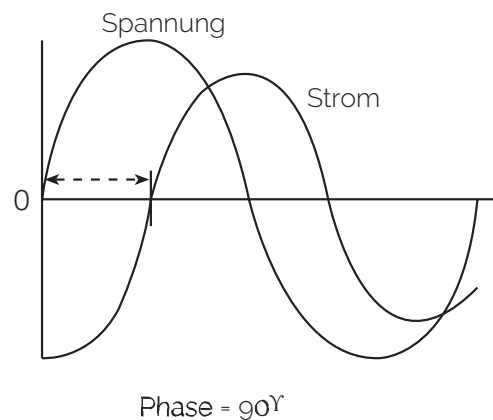


Abbildung 10. Phasenverschiebung

Phase

Die Phase lässt sich am besten anhand eines Sinussignals erklären. Dem Spannungspegel eines Sinussignals liegt eine kreisförmige Bewegung zugrunde. Ein Kreis hat 360° , der Zyklus eines Sinussignals hat ebenso 360° (wie in Abbildung 9 dargestellt). Anhand von Gradangaben kann jeder Phasenwinkel eines Sinussignals genau bezeichnet werden, um anzugeben, welcher Teil der Periode bereits durchlaufen wurde.

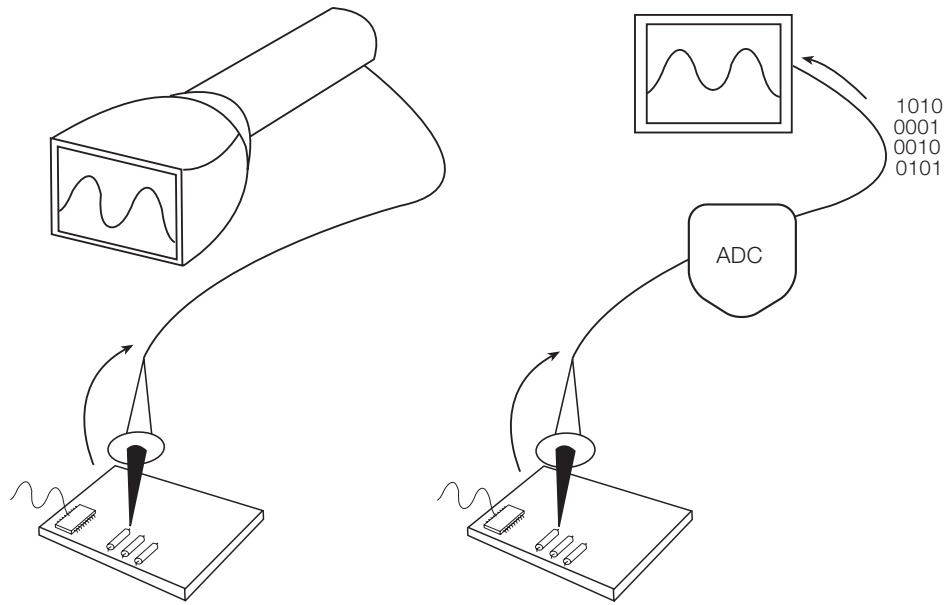
Die Phasenverschiebung bezeichnet die Zeitverschiebung zwischen zwei ansonsten ähnlichen Signalen. Das mit „Stromstärke“ bezeichnete Signal in Abbildung 10 ist um 90° gegenüber dem mit „Spannung“ bezeichneten Signal phasenverschoben, da die Signale die gleichen Punkte in ihren Zyklen um exakt einen Viertelzyklus versetzt erreichen ($360^\circ/4 = 90^\circ$). Phasenverschiebungen treten in der Elektronik häufig auf.

Signalmessungen mit digitalen Oszilloskopen

Beispiele für voll automatisierte Signalmessungen:
Moderne digitale Oszilloskope verfügen über Funktionen, die Signalmessungen erleichtern. Sie haben Tasten am vorderen Bedienfeld und/oder Bildschirmmenüs zum Auswählen von voll automatisierten Messungen. Diese umfassen Amplitude, Periode, Anstiegs-/Abfallzeit und vieles mehr. Zahlreiche digitale Messgeräte bieten zudem Mittelwert- und Effektivwertberechnungen, Tastverhältnis und andere mathematische Operationen. Automatisierte Messungen werden am Bildschirm als alphanumerische Messwertanzeigen dargestellt. In der Regel sind diese Messwerte genauer als die direkte Interpretation des Rasters.

Beispiele für voll automatisierte Signalmessungen:

- | | | |
|------------------------------|--------------------|-----------------------|
| ■ Periode | ■ Tastverhältnis + | ■ Hoch |
| ■ Frequenz | ■ Tastverhältnis - | ■ Niedrig |
| ■ Breite + | ■ Verzögerung | ■ Minimum |
| ■ Breite - | ■ Phase | ■ Maximum |
| ■ Anstiegszeit | ■ Burstbreite | ■ Überschwingen + |
| ■ Abfallzeit | ■ Spitze-Spitze | ■ Überschwingen - |
| ■ Amplitude | ■ Mittelwert | ■ Effektivwert |
| ■ Löschverhältnis | ■ Zyklusmittelwert | ■ Zyklus-Effektivwert |
| ■ Mittlere optische Leistung | ■ Zyklusfläche | ■ Jitter |



Analoge Oszilloskope stellen
Signale direkt dar

Digitale Oszilloskope tasten Signale ab und
konstruieren Darstellungen

Abbildung 11. Analoge Oszilloskope zeichnen Signale auf, während digitale Oszilloskope Signalpunkte abtasten und daraus Signalabbilder erzeugen.

Arten von Oszilloskopen

Elektronische Geräte können in zwei Kategorien eingeteilt werden: analog und digital. Analoge Geräte arbeiten mit kontinuierlich variablen Spannungen, während digitale Geräte mit diskreten Binärzahlen arbeiten, die Spannungsabtastungen darstellen. Ein herkömmlicher Plattenspieler ist ein analoges Gerät, während ein CD-Player ein digitales Gerät ist.

Auch Oszilloskope können auf diese Weise klassifiziert werden – als analoge und digitale Oszilloskope. Im Gegensatz zu einem analogen Oszilloskop verwendet ein digitales Oszilloskop einen Analog-Digital-Wandler (ADC), um die gemessene Spannung in digitale Informationen umzuwandeln. Es erfasst das Signal als eine Folge von Abtastpunkten und speichert diese, bis genügend Abtastpunkte gesammelt wurden, um ein Signal zu beschreiben. Anschließend werden diese Punkte, wie in Abbildung 11 gezeigt, zur Darstellung des Signals auf dem Bildschirm wieder zusammengesetzt.

Digitale Oszilloskope können in Digital-Speicheroszilloskope (DSOs), Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs), Mixed-Signal-Oszilloskope (MSOs) und Digital-Sampling-Oszilloskope unterteilt werden.

Ein grundsätzlicher Vorteil digitaler Oszilloskope liegt in der Fähigkeit, beliebige Frequenzen innerhalb ihres Messbereichs stabil, hell und klar darzustellen. Bei repetitiven Signalen ist die Bandbreite des digitalen

Oszilloskops eine Funktion der analogen Bandbreite der Frontend-Komponenten des Oszilloskops. Dies wird gewöhnlich als -3-dB -Punkt bezeichnet. Bei Einzel- und transienten Ereignissen, wie Impuls- und Treppensignalen, kann die Bandbreite durch die Abtastrate des Oszilloskops begrenzt werden. Ausführlichere Informationen hierzu finden Sie im Abschnitt „Abtastrate“ unter „Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien“.

Digitale Speicheroszilloskope

Ein herkömmliches digitales Oszilloskop ist unter der Bezeichnung Digital-Speicheroszilloskop (DSO) bekannt. Sein Bildschirm ist in der Regel ein Rasterbildschirm anstelle des Leuchtphosphor-Bildschirms älterer analoger Oszilloskope.

Digitale-Speicheroszilloskope (DSOs) ermöglichen das Erfassen und Darstellen von Ereignissen, die nur einmal auftreten und als Transienten bezeichnet werden. Da die Signalinformationen in digitaler Form als eine Folge von Binärwerten vorliegen, können sie analysiert, archiviert, gedruckt und auf andere Weise verarbeitet werden, und zwar im Oszilloskop selbst oder auf einem externen Computer. Das Signal muss nicht dauernd anliegen, es kann auch dann noch dargestellt werden, wenn das Signal verschwunden ist. Im Gegensatz zu analogen Oszilloskopen bieten Digital-Speicheroszilloskope permanente Signalspeicherung und umfassende Signalverarbeitung. In der Regel verfügen DSOs jedoch über keine Helligkeitsmodulation in Echtzeit und können daher variierende Intensitätspegel im realen Signal nicht darstellen.

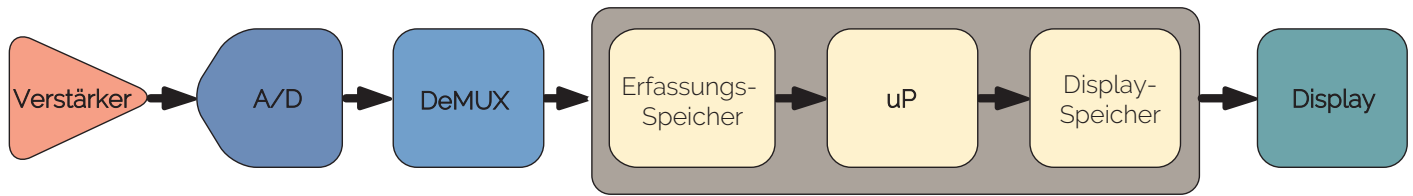


Abbildung 12. Die serielle Verarbeitungsarchitektur eines Digital-Speicheroszilloskops (DSO).

Einige der Teilsysteme, aus denen ein DSO besteht, sind denen eines analogen Oszilloskops ähnlich. Ein DSO umfasst jedoch zusätzliche Datenverarbeitungsteilsysteme, die zum Sammeln und Darstellen der Daten des ganzen Signals verwendet werden. Ein DSO nutzt eine serielle Verarbeitungsarchitektur, um ein Signal zu erfassen und auf dem Bildschirm darzustellen (siehe Abbildung 12). Eine Beschreibung der seriellen Verarbeitungsarchitektur finden Sie nachstehend.

Serielle Verarbeitungsarchitektur

Bei einem DSO ist wie bei einem analogen Oszilloskop die erste (Eingangs)-Stufe ein Vertikalverstärker. Über vertikale Bedienelemente können Sie die Amplitude und den Positionsbereich in dieser Stufe einstellen. Als Nächstes tastet der Analog-Digital-Wandler (ADW) im Horizontalsystem das Signal zu diskreten Zeitpunkten ab und wandelt die Spannung des Signals an diesen Punkten in digitale Werte um, die als Abtastpunkte bezeichnet werden. Dieser Vorgang wird als Digitalisierung eines Signals bezeichnet.

Die Abtast-Taktrate des Horizontalsystems bestimmt, wie oft der AD-Wandler eine Abtastung durchführt. Diese Rate wird als Abtastrate bezeichnet und wird in Abtastungen pro Sekunde (S/s) angegeben. Die Abtastpunkte aus dem AD-Wandler werden im Erfassungsspeicher als Signalpunkte gespeichert. Mehrere Abtastpunkte können einen Signalpunkt ergeben. Zusammen ergeben die Signalpunkte eine Signalaufzeichnung. Die Anzahl der Signalpunkte, die für die Erstellung einer Signalaufzeichnung verwendet werden, wird als Aufzeichnungslänge bezeichnet. Das Triggersystem bestimmt den Anfangs- und Endpunkt der Aufzeichnung.

Der Signalweg des DSO umfasst einen Mikroprozessor, durch den das gemessene Signal an den Bildschirm weitergeleitet wird. Dieser Mikroprozessor verarbeitet das Signal, koordiniert Bildschirmaktivitäten, steuert die Bedienelemente des vorderen Bedienfelds und führt noch weitere Aufgaben durch. Das Signal passiert dann den Display-Speicher und wird auf dem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt.

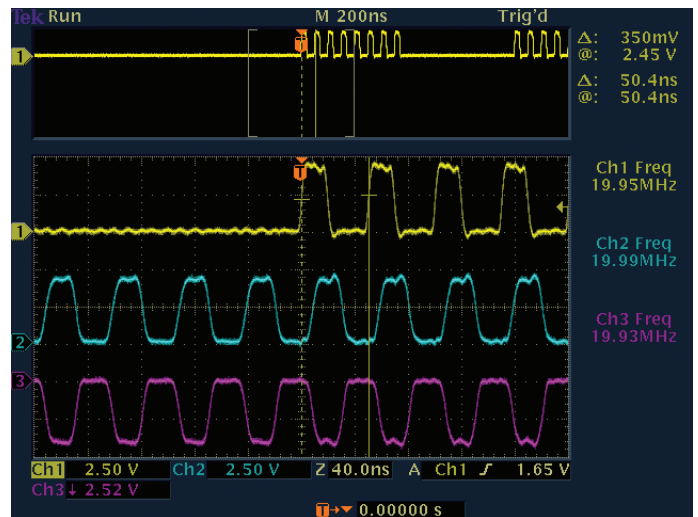


Abbildung 13. Das Digital-Speicheroszilloskop bietet Einzelschuss-Erfassungen mit hoher Geschwindigkeit auf mehreren Kanälen gleichzeitig. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass flüchtige Glitches und transiente Ereignisse erfasst werden können.

Je nach Funktionsumfang des Oszilloskops kann eine weitere Verarbeitung der Abtastpunkte erfolgen, welche die Darstellung verbessert. Auch Vortrigger können verfügbar sein, die es ermöglichen, Ereignisse vor dem Triggerpunkt zu erkennen. Die meisten modernen digitalen Oszilloskope bieten auch eine Auswahl automatischer, parametrischer Messungen, die den Messvorgang vereinfachen.

Wie in Abbildung 13 dargestellt, bietet ein DSO hohe Leistungsfähigkeit in einem Einzelerfassungs-Messgerät mit mehreren Kanälen. DSOs eignen sich ideal für Anwendungen mit niedriger Wiederholungsrate oder Einzelerfassungen mit hoher Geschwindigkeit auf mehreren Kanälen gleichzeitig. In der Praxis des digitalen Designs untersuchen Ingenieure in der Regel vier oder mehr Signale gleichzeitig. Das DSO ist dabei ein unabdingbares Hilfsmittel.

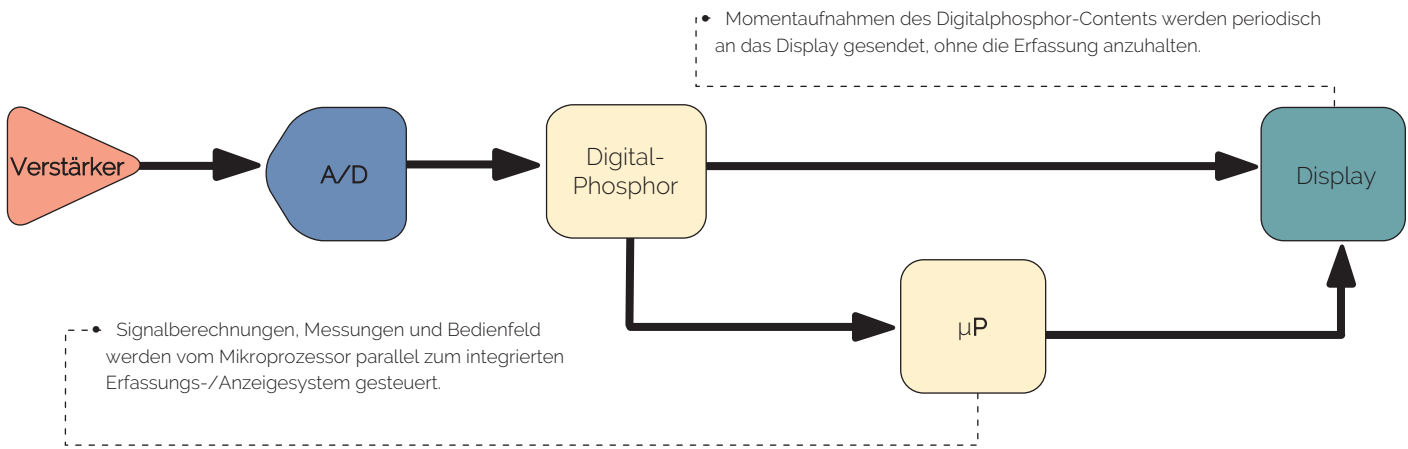


Abbildung 14. Die parallele Verarbeitungsarchitektur eines Digital-Phosphor-Oszilloskops (DPO)

Digital-Phosphor-Oszilloskope

Beim Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO) handelt es sich um eine neue Art der Oszilloskop-Architektur. Diese Architektur ermöglicht dem DPO einzigartige Erfassungs- und Darstellungsfähigkeiten, mit denen ein Signal exakt rekonstruiert werden kann.

Während ein DSO eine serielle Verarbeitungsarchitektur zum Erfassen, Darstellen und Analysieren von Signalen nutzt, wendet ein DPO für diese Funktionen eine parallele Verarbeitungsarchitektur an (siehe Abbildung 14). Die DPO-Architektur verwendet spezielle ASIC-Hardware zur Erfassung der Signalbilder und liefert hohe Signalerfassungsraten, die zu einer besseren Darstellung des Signals führen. Diese Technologie erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass in digitalen Systemen auftretende transiente Ereignisse, wie Runt-Impulse, Glitches und Flankenfehler, erkannt werden und bietet erweiterte Analysemöglichkeiten. Eine Beschreibung der seriellen Verarbeitungsarchitektur finden Sie nachstehend.

Parallele Verarbeitungsarchitektur

Bei einem DPO ist wie bei einem analogen Oszilloskop die erste (Eingangs)-Stufe ein Vertikalverstärker, die zweite Stufe ist wie bei einem DSO ein Analog-Digital-Wandler (ADC). Das DPO unterscheidet sich jedoch hinter der Analog-Digital-Wandlung erheblich von seinen Vorgängern.

Bei allen Oszilloskopen – analog, DSO oder DPO – tritt immer eine Totzeit auf, in der das Messgerät die zuletzt erfassten Daten verarbeitet, das System zurücksetzt und auf das nächste Triggerereignis wartet. Während dieser Zeit kann das Oszilloskop keine Signalaktivität wahrnehmen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein seltenes Ereignis oder ein Ereignis mit niedriger Wiederholungsrate erkannt wird, nimmt mit zunehmender Totzeit ab.

Es ist zu beachten, dass es unmöglich ist, die Wahrscheinlichkeit einer Erfassung zu bestimmen, indem nur die Bildschirmaktualisierungsrate berücksichtigt wird. Wenn nur die Aktualisierungsrate berücksichtigt wird, wird leicht der Fehler gemacht, anzunehmen, dass das Oszilloskop alle wichtigen Informationen über das Signal erfasst, auch wenn dies tatsächlich nicht der Fall ist.

Digital-Speicheroszilloskope verarbeiten erfasste Signale seriell. Bei diesem Vorgang stellt die Geschwindigkeit des Mikroprozessors den leistungskritischen Faktor dar, da durch sie die Signalerfassungsrate begrenzt wird. Das DPO rasterisiert das digitalisierte Signal in eine Digital-Phosphor-Datenbank. Jede 1/30 Sekunde – etwa so schnell, wie für das menschliche Auge wahrnehmbar – wird eine Momentaufnahme des Signalbilds, das in der Datenbank gespeichert ist, direkt an das Anzeigesystem ausgegeben. Diese direkte Rasterisierung der Signaldaten und der direkte Kopiervorgang aus der Datenbank in den Display-Speicher eliminieren den Datenverarbeitungsengpass, der bei anderen Architekturen auftritt. Das Ergebnis ist eine verbesserte Echtzeit-Aktualisierung des Displays. Signaldetails, intermittierende Ereignisse und dynamische Signalcharakteristiken werden in Echtzeit erfasst. Der Mikroprozessor des DPO arbeitet parallel zu diesem integrierten Erfassungssystem zur Anzeigeverwaltung, Messautomatisierung und Messgerätsteuerung, sodass die Erfassungsgeschwindigkeit des Oszilloskops nicht beeinträchtigt wird.

Ein DPO emuliert die besten Darstellungsattribute eines analogen Oszilloskops und stellt das Signal in drei Dimensionen dar: Zeit, Amplitude und Amplitudenverteilung in Abhängigkeit von der Zeit – und dies alles in Echtzeit.

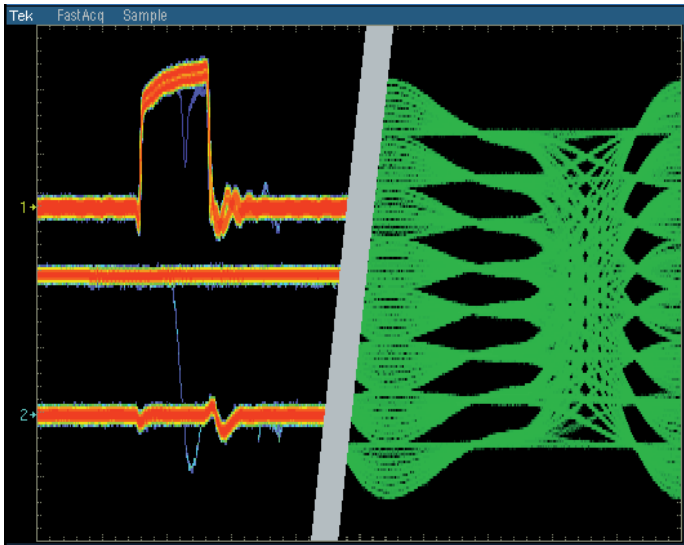


Abbildung 15. Einige DPOs können Millionen von Signalen in wenigen Sekunden erfassen. Dies erhöht signifikant die Wahrscheinlichkeit, dass intermittierende und flüchtige Ereignisse erfasst werden und dynamisches Signalverhalten erkannt wird.

Im Gegensatz zu einem analogen Oszilloskop, das sich auf eine chemische Phosphorschicht stützt, verwendet ein DPO rein elektronischen Digital-Phosphor, der im Grunde eine kontinuierlich aktualisierte Datenbank ist. Diese Datenbank enthält für jedes einzelne Pixel im Oszilloskop-Display eine separate Datenzelle. Jedes Mal, wenn ein Signal erfasst wird – d. h. bei jeder Triggerung des Oszilloskops – wird es in die Zellen der Digital-Phosphor-Datenbank aufgenommen. Jede Zelle, die eine Bildschirmposition darstellt und von dem Signal „berührt“ wird, wird durch Intensitätsinformationen verstärkt, während dies bei anderen Zellen nicht der Fall ist. Auf diese Weise sammeln sich Intensitätsinformationen in den Zellen an, die das Signal am häufigsten passiert.

Wenn die Digital-Phosphor-Datenbank an das Oszilloskop-Display ausgegeben wird, zeigt das Display farblich abgestufte Signalbereiche an, und zwar proportional zu der Häufigkeit, mit der das Signal an jedem Punkt auftritt – ähnlich wie die Helligkeitsmodulierte Darstellung eines analogen Oszilloskops. Das DPO ermöglicht es außerdem, die Informationen über variierende Auftretenshäufigkeit in kontrastierenden Farben auf dem Bildschirm darzustellen – dies ist bei einem analogen Oszilloskop nicht möglich. Mit einem DPO ist der Unterschied zwischen einem Signal, das nahezu bei jedem Trigger auftritt, und einem Signal, das etwa nur alle 100 Triggerungen auftritt, leicht zu erkennen.

Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs) vereinen die Vorteile der Analog- und Digital-Oszilloskop-Technologie. Sie eignen sich gleichermaßen zur Darstellung von hohen und niedrigen Frequenzen, repetitiven Signalen sowie von Transienten und Signalvariationen in Echtzeit. Nur ein DPO stellt die Z-Achse (Intensitäts-Achse) in Echtzeit dar, die bei herkömmlichen DSOs fehlt.

Ein DPO ist ideal geeignet für alle Anwender, die ein optimales Allzweck- und Fehlersuchgerät für eine breite Palette von Anwendungen benötigen (siehe Abbildung 15). Ein DPO bietet optimale Leistung in den Bereichen erweiterte Analyse, Kommunikationsmaskenprüfung, digitale Fehlersuche bei intermittierenden Signalen und Timing-Anwendungen.



Abbildung 16. Zeitkorrelierte Darstellung der Mikroprozessor-SPI-Steuereleitungen (MOSI und MISO) eines Zigbee-Funkgeräts, mit Messungen des Drainstroms und der -spannung für die Funkgeräteschaltung und das Spektrum beim Einschalten.

Mixed-Domain-Oszilloskope

Ein Mixed-Domain-Oszilloskop (MDO) kombiniert ein MSO oder DPO mit den Fähigkeiten eines HF-Spektrumanalysators und ermöglicht auf diese Weise zeitkorrelierte Darstellungen von Signalen aus dem Digital-, Analog- und HF-Bereich. Mit dem MDO können zeitkorrelierte Darstellungen von Protokoll-, State Logic-, Analog- und HF-Signalen innerhalb eines eingebetteten Systems angezeigt werden. Dies reduziert auf drastische Weise nicht nur die Zeit für die Ursachensuche, sondern auch die Messunsicherheit bei bereichsübergreifenden Ereignissen

Mikroprozessorbefehl und einem HF-Ereignis innerhalb eines eingebetteten Systems vereinfacht die Testkonfiguration und ermöglicht komplexe Messungen im Labor. Bei integrierten Funkgeräten, wie das in Abbildung 16 darstellte Zigbee-Design, ist es möglich, bei Aktivierung des HF-Ereignisses zu triggern und die Befehlszeilenlatenz der dekodierten SPI-Steuereleitungen des Mikroprozessors, den Drainstrom und die Drainspannung beim Einschalten sowie alle resultierenden spektralen Ereignisse anzuzeigen. In nur einer Anzeige verfügen Sie nun über eine zeitkorrelierte Darstellung aller Bereiche des Funkgeräts: Protokoll (digital), analog und HF.

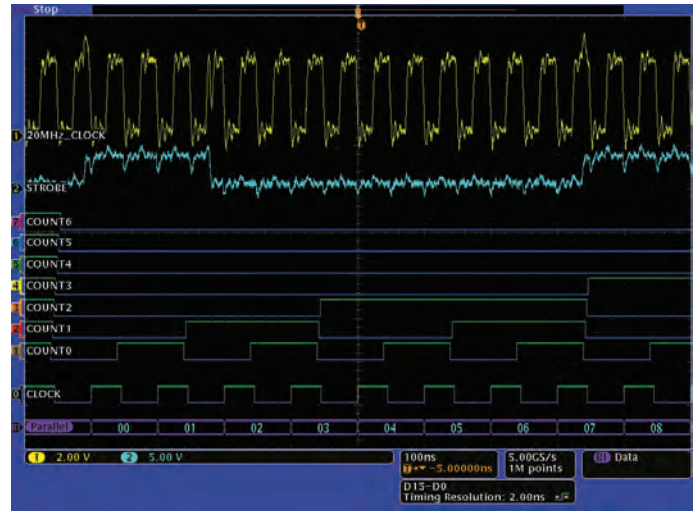


Abbildung 17. Das MSO verfügt über 16 integrierte digitale Kanäle für die Darstellung und Analyse von zeitkorrelierten analogen und digitalen Signalen.

Mixed-Signal-Oszilloskope

Das Mixed-Signal-Oszilloskop (MSO) kombiniert die Funktionen eines DPO mit den grundlegenden Funktionen eines 16-Kanal-Logikanalysators, einschließlich paralleler/serieller Busprotokoll-Dekodierung und -Triggerung. Die digitalen Kanäle des MSO zeigen ein digitales Signal als logischen High- oder Low-Pegel an, genau wie ein digitaler Schaltkreis das Signal erkennt. Dies bedeutet, dass diese analogen Merkmale das MSO nicht beeinflussen, solange keine logischen Übergänge durch Klingeln, Überschwingen oder Ground Bounce verursacht werden. Wie ein Logikanalysator ermittelt auch das MSO mithilfe einer Schwellenwertspannung, ob der Signalpegel logisch hoch oder logisch niedrig ist.

Mit seiner leistungsfähigen Digital-Triggerung, der hochauflösenden Erfassung und seinen Analysewerkzeugen eignet sich das MSO ideal für die schnelle Fehlersuche in digitalen Schaltungen. Die Ursache vieler Probleme in digitalen Schaltungen lässt sich schneller ermitteln, indem sowohl die analoge als auch die digitale Darstellung des Signals analysiert wird (siehe Abbildung 17). Daher eignet sich ein MSO ideal für die Überprüfung und Fehlersuche bei digitalen Schaltungen.

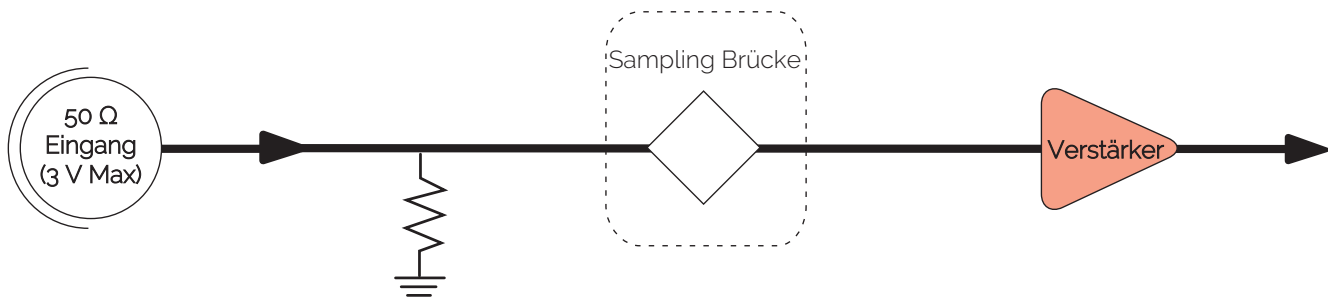


Abbildung 17. Die parallele Verarbeitungsarchitektur eines Digital-Phosphor-Oszilloskops (DPO).

Digital-Sampling-Oszilloskope

Im Gegensatz zu den Architekturen der Digital-Speicheroszilloskope und Digital-Phosphor-Oszilloskope wird bei der Architektur des Digital-Sampling-Oszilloskops die Position von Dämpfer/Verstärker und Sampling-Brücke vertauscht (siehe Abbildung 18). Das Eingangssignal wird abgetastet, bevor eine Dämpfung oder Verstärkung erfolgt. Nach der Sampling-Brücke kann dann ein Verstärker mit niedriger Bandbreite eingesetzt werden, da das Signal bereits durch das Sampling-Gate auf eine niedrigere Frequenz konvertiert wurde und sich dadurch ein Messgerät mit einer viel höheren Bandbreite ergibt.

Der Nachteil dieser hohen Bandbreite ist jedoch ein eingeschränkter Dynamikbereich des Sampling-Oszilloskops. Da vor dem Sampling-Gate kein Dämpfer/Verstärker vorhanden ist, kann der Eingang nicht skaliert werden. Die Sampling-Brücke muss in der Lage sein, den vollständigen Dynamikbereich des Eingangs jederzeit bewältigen zu können. Der Dynamikbereich der meisten Sampling-Oszilloskope ist daher auf etwa 1 Volt Spitze-Spitze begrenzt. Digital-Speicher- und Digital-Phosphor-Oszilloskope können dagegen 50 bis 100 Volt aufnehmen.

Außerdem können vor der Sampling-Brücke keine Schutzdioden eingesetzt werden, da dies die Bandbreite beschränken würde. Dies vermindert die sichere Eingangsspannung eines Sampling-Oszilloskops auf etwa 3 V, gegenüber 500 V bei anderen Oszilloskop-Arten.

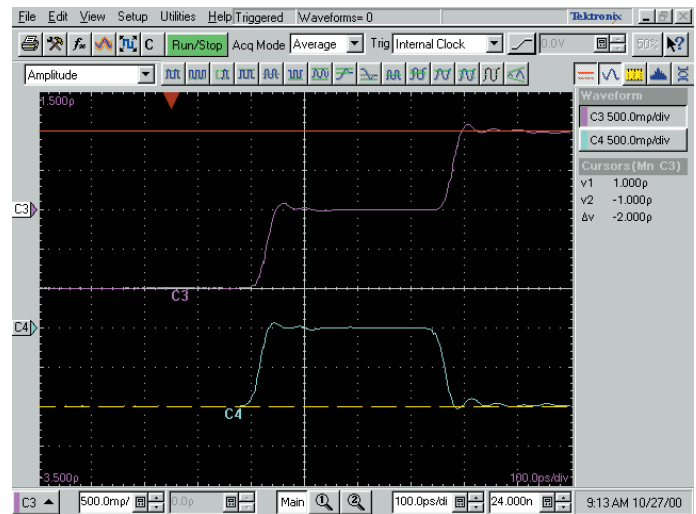


Abbildung 19. Zeitbereichsreflektometrische (Time Domain Reflectometry, TDR) Darstellung bei einem digitalen Sampling-Oszilloskop.

Wenn hochfrequente Signale gemessen werden, ist das DSO oder DPO möglicherweise nicht in der Lage, während eines Ablenkvorgangs genug Abtastpunkte zu erfassen. Ein Digital-Sampling-Oszilloskop ist ein ideales Gerät für die genaue Erfassung von Signalen, deren Frequenzanteile wesentlich höher sind als die Abtastrate des Oszilloskops (siehe Abbildung 19). Dieses Oszilloskop kann um bis das Zehnfache schnellere Signale messen als jedes andere Oszilloskop. Es kann für repetitive Signale zehnmal höhere Bandbreiten- und Hochgeschwindigkeits-Timingwerte als andere Oszilloskope erreichen. Sequenzielle Äquivalentzeit-Sampling-Oszilloskope sind mit Bandbreiten von bis zu 80 GHz erhältlich.

Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops

Dieser Abschnitt enthält eine kurze Beschreibung der grundlegenden Systeme und Bedienelemente von analogen und digitalen Oszilloskopen. Einige Bedienelemente unterscheiden sich bei analogen und digitalen Oszilloskopen. Außerdem verfügt Ihr Oszilloskop möglicherweise über zusätzliche Bedienelemente, die hier nicht erläutert werden.

Ein Oszilloskop umfasst grundsätzlich vier verschiedene Systeme – das Vertikalsystem, das Horizontalsystem, das Trigger-System und das Anzeigesystem. Wenn Sie die Funktion dieser Systeme verstehen, können Sie das Oszilloskop auf effiziente Weise für Ihre speziellen Messanforderungen einsetzen. Denken Sie daran, dass jedes System dazu beiträgt, dass das Oszilloskop ein Signal exakt rekonstruieren kann.

Das vordere Bedienfeld eines Oszilloskops ist in drei Hauptabschnitte unterteilt, die als „Vertikal“, „Horizontal“ und „Trigger“ gekennzeichnet sind. Je nach Modell und Typ kann Ihr Oszilloskop zudem über weitere Abschnitte verfügen. Suchen Sie beim Lesen die in Abbildung 20 dargestellten Abschnitte und die Abschnitte auf Ihrem Oszilloskop.

Bei der Verwendung eines Oszilloskops müssen drei grundlegende Einstellungen vorgenommen werden, um ein Eingangssignal aufzunehmen:

- Vertikal: Die Dämpfung oder Verstärkung des Signals. Stellen Sie mit dem Bedienelement Volt/Teil die Amplitude des Signals auf den gewünschten Messbereich ein. Stellen Sie mit dem Bedienelement Volt/Teil die Amplitude des Signals auf den gewünschten Messbereich ein.
 - Horizontal: Die Zeitbasis. Stellen Sie mit dem Bedienelement Sek/Teil die Zeit pro Skalenteil ein. Die Skalenteile sind horizontal auf dem Bildschirm angeordnet.
 - Trigger: Die Triggerung des Oszilloskops. Mit der Triggerkopplung können Sie ein sich wiederholendes Signal stabilisieren oder auf ein einzelnes Ereignis triggern.
- Abschluss
 - 1 MOhm
 - 50 Ohm
 - Kopplung
 - DC
 - AC
 - GND
 - Bandbreite
 - Begrenzung
 - Vergrößerung
 - Position
 - Offset
 - Invertieren – Ein/Aus
 - Skala
 - Feste Schritte
 - Variabel



Abbildung 20. Bedienelemente auf dem vorderen Bedienfeld eines Oszilloskops.

Übliche vertikale Bedienelemente sind:

- Abschluss
 - 1 MOhm
 - 50 Ohm
- Kopplung
 - DC
 - AC
 - GND
- Bandbreite
 - Begrenzung
 - Vergrößerung
- Position
- Offset
- Invertieren – Ein/Aus
- Skala
 - Feste Schritte
 - Variabel

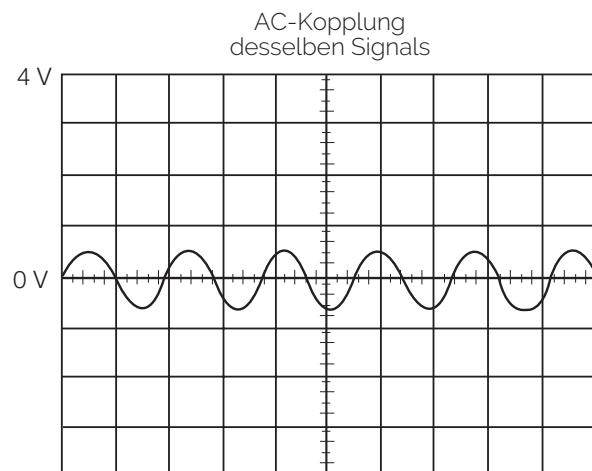
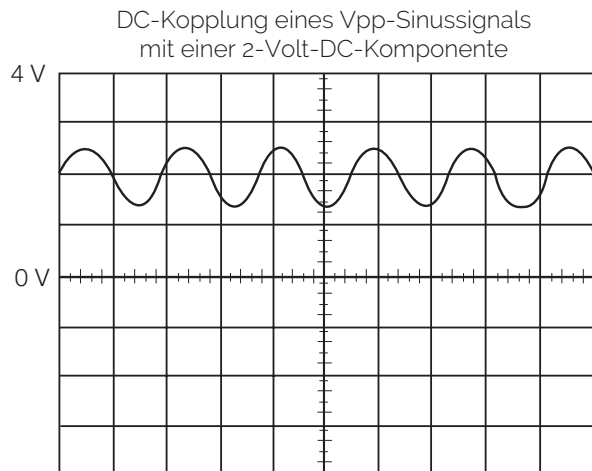


Abbildung 21. AC- und DC-Eingangskopplung.

Vertikalsystem und Bedienelemente

Mit den Vertikal-Bedienelementen können Sie das Signal vertikal positionieren und skalieren sowie die Eingangskopplung und weitere Signaleinstellungen vornehmen.

Position und Volt pro Skalenteil

Mit dem Bedienelement für die vertikale Positionierung können Sie das Signal nach oben oder nach unten genau an die gewünschte Stelle auf dem Bildschirm verschieben.

Die Einstellung „Volt-pro-Skalenteil“ (gewöhnlich als Volt/Div angegeben) ist ein Skalierungsfaktor, der die Größe des Signals auf dem Bildschirm ändert. Wenn die Einstellung für Volt/Div 5 Volt beträgt, stellt jeder der acht vertikalen Skalenteile 5 Volt dar, und der gesamte Bildschirm kann von unten nach oben 40 Volt darstellen, wenn ein Raster mit acht Skalenteilen vorliegt. Wenn die Einstellung 0,5 Volt/Div beträgt, kann der Bildschirm von unten nach oben 4 Volt darstellen usw. Die auf dem Bildschirm darstellbare maximale Spannung ist die Einstellung Volt/Div multipliziert mit der Anzahl der vertikalen Skalenteile. Es ist zu beachten, dass der verwendete Tastkopf, 1X oder 10X, ebenfalls den Skalierungsfaktor beeinflusst. Sie müssen die Volt/Teil-Skala durch den Dämpfungsfaktor des Tastkopfs teilen, wenn das Oszilloskop dies für sie nicht übernimmt.

Häufig verfügt die Volt/Div-Skala über ein Bedienelement für variable Verstärkung oder Feineinstellung der Verstärkung zur Skalierung eines dargestellten Signals auf eine bestimmte Anzahl von Skalenteilen. Verwenden Sie dieses Bedienelement zur Unterstützung bei Messungen der Anstiegszeit.

Eingangskopplung

Kopplung bezieht sich auf die Methode, mit der ein elektrisches Signal von einer Schaltung mit einer anderen verbunden wird. In diesem Fall ist die Eingangskopplung die Verbindung zwischen Prüfling und Oszilloskop. Die Kopplung kann auf DC, AC oder Masse eingestellt werden. Bei der DC-Kopplung wird das ganze Eingangssignal dargestellt. Bei der AC-Kopplung wird der DC-Anteil des Signals unterdrückt, und das Signal wird um null Volt zentriert dargestellt. Abbildung 21 veranschaulicht diesen Unterschied. Die Einstellung AC-Kopplung ist von Vorteil, wenn das gesamte Signal (Wechselstrom und Gleichstrom) zu groß für die Einstellung Volt/Teil ist.

Die Masse-Einstellung trennt das Eingangssignal vom Vertikal-System. Dadurch lässt sich erkennen, wo auf dem Bildschirm Null Volt liegt. Bei geerdeter Eingangskopplung und automatischem Triggermodus wird auf dem Bildschirm eine horizontale Linie dargestellt, die Null Volt repräsentiert. Wenn von DC auf Masse und wieder zurück geschaltet wird, kann der Spannungspegel bezogen auf Masse einfach gemessen werden.

Bandbreitenbegrenzung

Die meisten Oszilloskope besitzen eine Schaltung, welche die Bandbreite des Oszilloskops begrenzt. Durch die Begrenzung der Bandbreite wird das Rauschen reduziert, das manchmal auf dem dargestellten Signal auftritt. Das Ergebnis ist dann eine schärfere Signaldarstellung. Zu beachten ist, dass die Bandbreitenbegrenzung zwar das Rauschen eliminiert, jedoch dabei auch hochfrequente Signalanteile reduziert oder eliminiert werden können.

Bandbreitenvergrößerung

Einige Oszilloskope sind mit einem arbiträren DSP-Entzerrungsfilter ausgestattet, mit dem der Oszilloskop-Frequenzgang verbessert werden kann. Dieses Filter vergrößert die Bandbreite, glättet den Oszilloskop-Kanal-Frequenzgang, verbessert die Phasenlinearität und ermöglicht einen besseren Abgleich zwischen den Kanälen. Es verringert zudem die Anstiegszeit und verbessert die Sprungantwort im Zeitbereich.

Horizontalsystem und Bedienelemente

Das Horizontalsystem eines Oszilloskops ist eng mit der Eingangssignalerfassung verbunden – hier werden die Abtastrate und die Aufzeichnungslänge eingestellt. Die Horizontal-Bedienelemente dienen zur Positionierung und Skalierung des Signals entlang der horizontalen Achse.

Erfassungs-Bedienelemente

Digitale Oszilloskope verfügen über Einstellungen, mit denen festgelegt werden kann, wie das Erfassungssystem ein Signal verarbeitet. Sehen Sie sich die Erfassungsoptionen auf Ihrem digitalen Oszilloskop an, während Sie diese Beschreibung lesen. Abbildung 22 zeigt das Beispiel eines Erfassungsmenüs.

Erfassungsmodi

Über die Erfassungsmodi wird die Erzeugung von Signalpunkten anhand von Abtastpunkten gesteuert. Abtastpunkte sind die digitalen Werte, die der Analog-Digital-Wandler (ADC) direkt liefert. Das Abtastintervall bezieht sich auf die Zeitdauer zwischen den Abtastpunkten. Signalpunkte sind die digitalen Werte, die im Speicher gespeichert sind und dargestellt werden, um das Signal anzuzeigen. Die Zeitdifferenz zwischen den Signalpunkten wird als Signalintervall bezeichnet.

- Übliche horizontale Bedienelemente sind:**
- Zeitbasis
 - XY
 - Skala
 - Strahlentrennung
 - Aufzeichnungslänge
 - Auflösung
 - Abtastrate
 - Triggerposition
 - Zoom/Verschieben
 - Suchen

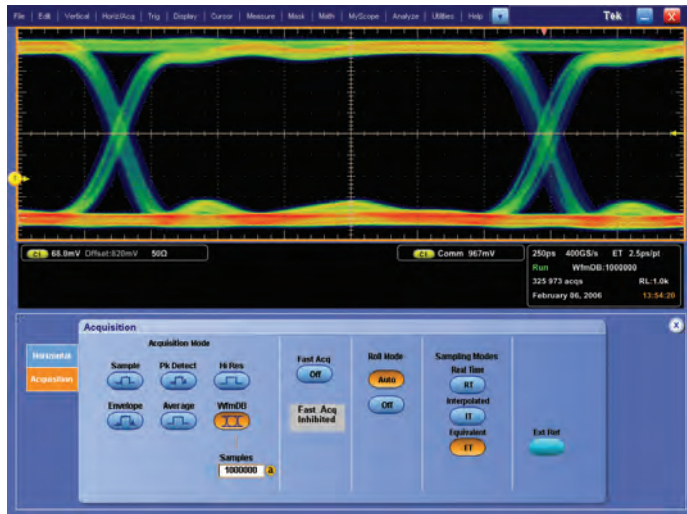


Abbildung 22. Beispiel für ein Erfassungsmenü.

Das Abtastintervall und das Signalintervall können übereinstimmen, müssen aber nicht gleich sein. Diese Tatsache führt zu mehreren verschiedenen Erfassungsmodi, bei denen ein Signal aus mehreren sequenziell erfassten Abtastpunkten besteht.

Außerdem können Signalpunkte aus einer Zusammenstellung von Abtastpunkten, die aus mehreren Erfassungen stammen, erzeugt werden, was zu einem weiteren Satz von Erfassungsmodi führt. Nachstehend folgt eine Beschreibung der am häufigsten verwendeten Erfassungsmodi.

Vom DSO dargestellter
Abtastpunkt



Abbildung 23. Die Abtastrate ändert sich mit den Zeitbasis-Einstellungen – je langsamer die Zeitbasis-Einstellung, desto langsamer die Abtastrate. Einige digitale Oszilloskope bieten einen Spitzenwerverfassungsmodus zum Erfassen schneller Transienten bei niedrigen Ablenkgeschwindigkeiten.

Erfassungsmodi

- **Abtastmodus:** Dies ist der einfachste Erfassungsmodus. Das Oszilloskop erzeugt einen Signalpunkt, indem in jedem Signalintervall ein Abtastpunkt gespeichert wird.
- **Spitzenwerverfassungsmodus:** Das Oszilloskop speichert die Minima und Maxima der in zwei Signalintervallen erfassten Abtastpunkte und verwendet diese Punkte als die beiden einander zugeordneten Signalpunkte. Bei digitalen Oszilloskopen mit Spitzenwerverfassungsmodus wird der AD-Wandler mit einer schnellen Abtastrate ausgeführt, sogar bei sehr niedrigen Zeitbasis-Einstellungen (langsame Zeitbasis-Einstellungen bedeuten lange Signalintervalle). Daher können schnelle Signaländerungen erfasst werden, die im Abtastmodus zwischen den Signalpunkten auftreten würden (siehe Abbildung 23). Der Spitzenwerverfassungsmodus ist besonders dann von Vorteil, wenn schmale Impulse in zeitlich großen Abständen dargestellt werden sollen (siehe Abbildung 24).
- **Hi-Res-Modus:** Wie die Spitzenwerverfassung ist auch der Hi-Res-Modus eine Methode, weitere Daten zu erhalten, wenn der AD-Wandler schneller abtasten kann, als dies durch die Zeitbasis-Einstellungen erforderlich ist. In diesem Fall wird aus mehreren Abtastungen innerhalb eines Signalintervalls der Mittelwert gebildet, um einen Signalpunkt zu erzeugen. Das Ergebnis ist vermindertes Rauschen und eine verbesserte Auflösung bei Signalen mit niedriger Geschwindigkeit. Der Hi-Res-Modus hat gegenüber dem Mittelwert den Vorteil, dass er sogar bei Einzelschuss-Erfassungen verwendet werden kann.
- **Hüllkurvenmodus** Der Hüllkurvenmodus ist dem Spitzenwerverfassungsmodus ähnlich. Im Hüllkurvenmodus werden jedoch die Minima und Maxima der Signalpunkte aus mehreren Erfassungen zu einem Signal zusammengesetzt, das die Min/Max-Akkumulation im Laufe der Zeit zeigt. Der Spitzenwerverfassungsmodus dient in der Regel zum Erfassen der Aufzeichnungen, die zur Darstellung des Hüllkurvensignals kombiniert werden.

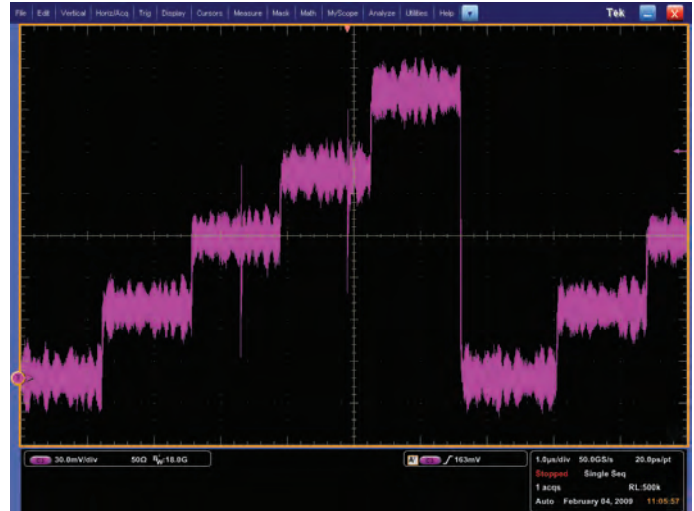


Abbildung 24. Mit dem Spitzenwerverfassungsmodus kann das Oszilloskop extrem kurze transiente Anomalien erfassen.

- **Mittelwertmodus** Im Mittelwertmodus speichert das Oszilloskop einen Abtastpunkt pro Signalintervall, genau wie im Abtastmodus. Die Signalpunkte aus aufeinanderfolgenden Erfassungen werden jedoch anschließend gemittelt, um das endgültige Signal zu erzeugen, das dargestellt wird. Der Mittelwertmodus verringert Rauschen ohne Bandbreitenverlust, setzt jedoch ein sich wiederholendes Signal voraus.
- **Signaldatenbankmodus:** Im Signaldatenbankmodus stellt das Oszilloskop eine Signaldatenbank zusammen, die ein dreidimensionales Array aus Amplitude, Zeit und Anzahl darstellt.

Starten und Stoppen des Erfassungssystems

Einer der größten Vorteile von digitalen Oszilloskopen ist ihre Fähigkeit, Signale zur späteren Darstellung zu speichern. Dazu sind auf dem Bedienfeld gewöhnlich eine oder mehrere Tasten vorgesehen, mit denen das Erfassungssystem gestartet und angehalten werden kann, damit Sie die Signale ohne Zeitdruck analysieren können. Außerdem kann es wünschenswert sein, den Erfassungsvorgang des Oszilloskops nach Abschluss einer Erfassung oder nach Umwandlung einer Aufzeichnungsmenge in ein Hüllkurvensignal oder gemittelt Signal automatisch anzuhalten. Diese Funktion wird in der Regel als Einzelablenkung oder Einzelsequenz bezeichnet. Die Bedienelemente dafür befinden sich entweder bei den anderen Erfassungs-Bedienelementen oder bei den Trigger-Bedienelementen.

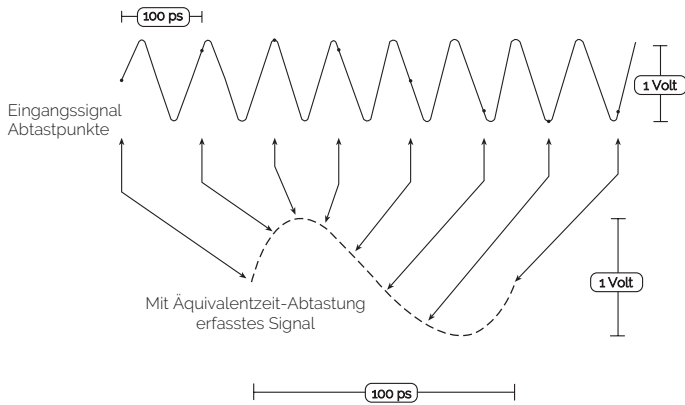


Abbildung 25. Grundlegende Abtastung. Die Abtastpunkte werden durch Interpolation verbunden und ergeben so ein durchgehendes Signal.

Abtastung

Bei der Abtastung wird ein Teil eines Eingangssignals in eine Reihe von diskreten elektrischen Werten umgewandelt, damit diese gespeichert, verarbeitet und/oder dargestellt werden können. Die Größe der einzelnen Abtastpunkte ist gleich der Amplitude des Eingangssignals, und zwar zu dem Zeitpunkt, an dem das Signal abgetastet wurde.

Die Abtastung entspricht der Anfertigung von Momentaufnahmen. Jede Momentaufnahme entspricht dabei einem bestimmten Zeitpunkt im Signal. Diese Momentaufnahmen können anschließend in der entsprechenden zeitlichen Reihenfolge angeordnet werden, um das Eingangssignal zu rekonstruieren.

Bei einem digitalen Oszilloskop wird ein Array von Abtastpunkten in einer Anzeige mit der gemessenen Amplitude auf der vertikalen Achse und der Zeit auf der horizontalen Achse rekonstruiert (siehe Abbildung 25).

Das Eingangssignal in Abbildung 25 wird als eine Reihe von Punkten auf dem Bildschirm dargestellt. Bei weit auseinander liegenden Punkten, die nur schwer als Signal interpretiert werden können, können die Punkte mit einem als Interpolation bezeichneten Verfahren verbunden werden. Bei der Interpolation werden die Punkte durch Linien oder Vektoren miteinander verbunden. Es steht eine Reihe von Interpolationsmethoden zur Verfügung, die zur Erzeugung einer genauen Darstellung eines kontinuierlichen Eingangssignals verwendet werden können.

Abtast-Bedienelemente

Bei einigen digitalen Oszilloskopen kann die Abtastmethode ausgewählt werden – entweder Echtzeitabtastung oder Äquivalenzzeitabtastung. Die Erfassungs-Bedienelemente dieser Oszilloskope ermöglichen die Auswahl einer Abtastmethode zur Erfassung von Signalen. Es ist zu beachten, dass diese Auswahlmöglichkeit bei niedrigen Zeitbasis-Einstellungen keinen Unterschied macht und nur dann eine Auswirkung hat, wenn der AD-Wandler nicht schnell genug abtasten kann, um den Datensatz in einem Durchgang mit Signalpunkten zu füllen. Jede Abtastmethode hat bestimmte Vorteile, die von der Art der durchgeführten Messungen abhängen.

Moderne Oszilloskope besitzen in der Regel Bedienelemente, die die Wahl zwischen drei horizontalen Zeitbasis-Betriebsarten ermöglichen. Wenn Sie einfach Signaluntersuchungen durchführen und mit einem schnellen Signal interagieren möchten, verwenden Sie den automatischen oder interaktiven Standardmodus, der die schnellste Bildschirmaktualisierungsrate bietet. Wenn Sie eine präzise Messung und die höchste Echtzeit-Abtastrate, welche die größte Messgenauigkeit liefert, benötigen, wählen Sie den Betriebsmodus mit konstanter Abtastrate. Er ermöglicht die höchste Abtastrate und bietet die beste Echtzeit-Auflösung. Der letzte Modus ist der manuelle Modus, der die direkte und unabhängige Einstellung der Abtastrate und Aufzeichnungslänge ermöglicht.

Echtzeit-Abtastverfahren

Die Echtzeit-Abtastung eignet sich ideal für Signale, deren Frequenzbereich kleiner ist als die Hälfte der maximalen Abtastrate des Oszilloskops. In diesem Fall kann das Oszilloskop in nur einer „Ablenkung“ des Signals ausreichend viele Punkte erfassen, um ein exaktes Signalbild zu erzeugen (siehe Abbildung 26). Echtzeit-Abtastung ist die einzige Möglichkeit zum Erfassen von schnellen, einmaligen, transienten Signalen mit einem digitalen Oszilloskop.

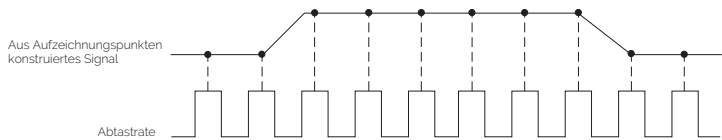


Abbildung 26. Echtzeit-Abtastverfahren.

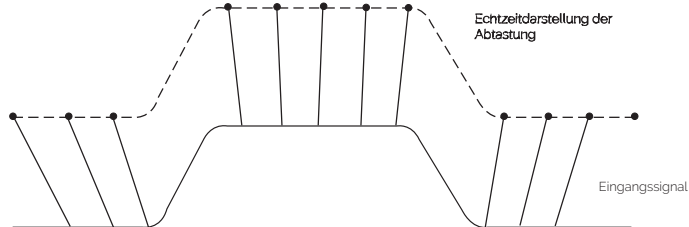


Abbildung 27. Damit dieser 10-ns-Impuls in Echtzeit erfasst werden kann, muss die Abtastrate hoch genug sein, um die Flanken genau zu definieren.

Die Echtzeit-Abtastung stellt die größte Herausforderung für digitale Oszilloskope dar, da zum exakten Digitalisieren hochfrequenter transients Ereignisse eine sehr hohe Abtastrate erforderlich ist (siehe Abbildung 27). Diese Ereignisse treten nur einmal auf und müssen im Zeitraum ihres Auftretens erfasst werden.

Wenn die Abtastrate nicht hoch genug ist, können die hochfrequenten Anteile in eine niedrigere Frequenz „gefaltet“ werden und dadurch in der Darstellung Aliasing verursachen (siehe Abbildung 28). Zudem wird Echtzeit-Abtastung durch den Hochgeschwindigkeitsspeicher, der zum Speichern des Signals nach der Digitalisierung erforderlich ist, noch weiter verkompliziert. Weitere Informationen über die erforderliche Abtastrate und Aufzeichnungslänge zur exakten Charakterisierung hochfrequenter Anteile finden Sie in den Abschnitten über die Abtastrate und Aufzeichnungslänge unter „Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien“.

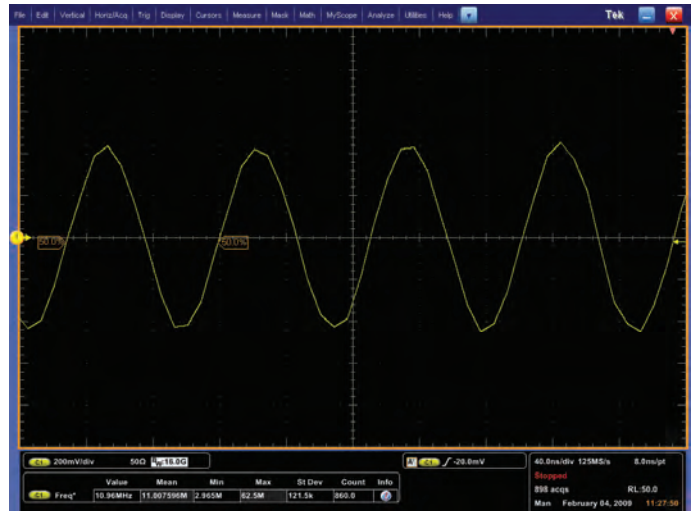


Abbildung 28. Die Unterabtastung eines 100-MHz-Sinussignals verursacht Aliasing-Effekte.

Echtzeit-Abtastung mit Interpolation:

Dabei erfassen digitale Oszilloskope diskrete Abtastungen des Signals, die angezeigt werden können. Es kann jedoch schwierig sein, das durch Punkte dargestellte Signal erkennbar zu machen, insbesondere da nur einige wenige Punkte die hochfrequenten Anteile des Signals darstellen können. Zur Unterstützung der Visualisierung von Signalen verfügen digitale Oszilloskope in der Regel über interpolationsgestützte Darstellungsmodi.

Einfach ausgedrückt werden bei der Interpolation Punkte miteinander verbunden, sodass ein Signal, das nur wenige Male pro Zyklus abgetastet wird, exakt dargestellt werden kann. Bei der Echtzeitabtastung mit Interpolation sammelt das Oszilloskop einige Abtastpunkte des Signals in einem Durchgang im Echtzeitmodus und füllt die Zwischenräume mithilfe von Interpolation auf. Die Interpolation ist ein Verarbeitungsverfahren zur Annäherung an das ursprüngliche Signal auf Basis von einigen wenigen Punkten.

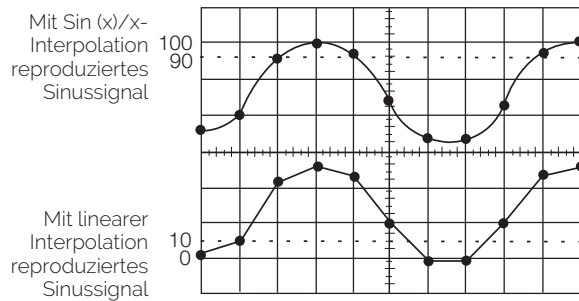


Abbildung 29. Lineare und Sin(x)/x-Interpolation.

Bei der linearen Interpolation werden die Abtastpunkte durch gerade Linien verbunden. Diese Interpolationsmethode ist auf die Rekonstruktion von Signalen mit geraden Flanken beschränkt (siehe Abbildung 29) und besser für Rechtecksignale geeignet.

Bei der vielseitigeren Sin(x)/x-Interpolation werden die Abtastpunkte wie in Abbildung 29 gezeigt durch Kurven verbunden. Die Sin(x)/x-Interpolation ist ein mathematisches Verfahren, bei dem Punkte berechnet werden, welche die Zeit zwischen den tatsächlichen Abtastpunkten auffüllen. Diese Interpolationsart eignet sich für geschwungene und unregelmäßige Signalformen, die in der Praxis wesentlich häufiger auftreten als reine Rechtecksignale und -impulse. Daher ist die Sin(x)/x-Interpolation die bevorzugte Methode für Anwendungen, bei denen die Abtastrate drei- bis fünfmal größer ist als die Systembandbreite.

Äquivalentzeit-Abtastmethode

Wenn hochfrequente Signale gemessen werden, ist das Oszilloskop möglicherweise nicht in der Lage, während eines Ablenkvorgangs genug Abtastpunkte zu erfassen. Die Äquivalentzeit-Abtastung ermöglicht die exakte Erfassung von Signalen, deren Frequenz größer ist als die Hälfte der Abtastrate des Oszilloskops (siehe Abbildung 30). Äquivalentzeit-Digitalisierer (Sampler) nutzen die Tatsache, dass die meisten natürlich auftretenden oder von Menschen erzeugten Ereignisse repetitiv sind.

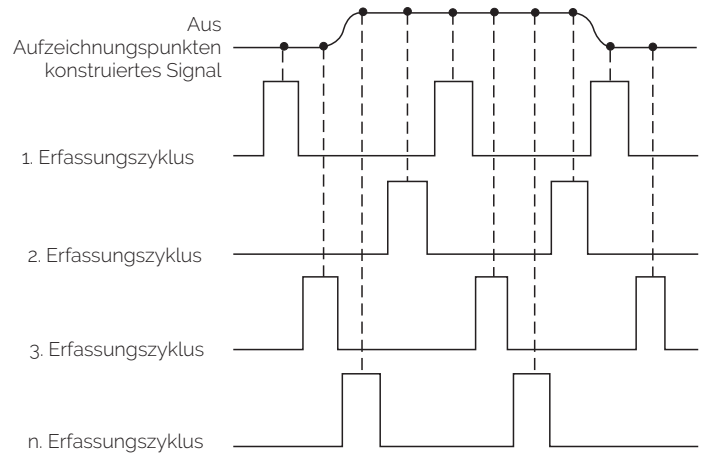


Abbildung 30. Einige Oszilloskope verwenden Äquivalentzeit-Abtastung zum Erfassen und Darstellen sehr schneller, repetitiver Signale.

Bei der Äquivalentzeit-Abtastung wird ein Bild eines repetitiven Signals erstellt, indem bei jeder Wiederholung ein kleiner Informationsanteil erfasst wird. Das Signal wird langsam aufgebaut wie eine Lichterkette, bei der ein Licht nach dem anderen aufleuchtet. Dies ermöglicht dem Oszilloskop die genaue Erfassung von Signalen, deren Frequenzanteile wesentlich schneller sind als die Abtastrate des Oszilloskops.

Es gibt zwei Arten von Äquivalentzeit-Abtastmethoden: zufällig und sequenziell. Die zufällige Äquivalentzeit-Abtastung ermöglicht die Darstellung des Eingangssignals vor dem Trigger-Punkt, und zwar ohne Verwendung einer Verzögerungsleitung. Die zufällige Äquivalentzeit-Abtastung ermöglicht die Darstellung des Eingangssignals vor dem Trigger-Punkt, und zwar ohne Verwendung einer Verzögerungsleitung. Die sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung bietet eine wesentlich höhere zeitliche Auflösung und Genauigkeit. Beide Methoden setzen ein repetitives Eingangssignal voraus.

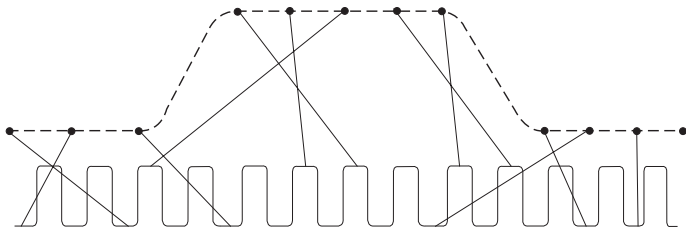


Abbildung 31. Bei der zufälligen Äquivalentzeit-Abtastung wird die Abtasttakt asynchron zum Eingangssignal und Trigger ausgeführt.

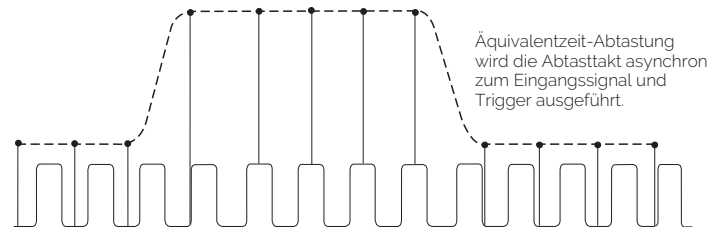


Abbildung 32. Bei der sequenziellen Äquivalentzeit-Abtastung wird eine einzelne Abtastung für jeden erkannten Trigger nach einer Zeitverzögerung durchgeführt, die nach jedem Zyklus erhöht wird.

Zufällige Äquivalentzeit-Abtastung

Zufalls-Äquivalentzeit-Digitalisierer (Sampler) verwenden einen internen Takt, der gegenüber dem Eingangssignal und dem Signal-Trigger asynchron ausgeführt wird (Abbildung 31). Abtastungen werden kontinuierlich unabhängig von der Trigger-Position durchgeführt und auf Basis der Zeitdifferenz zwischen der Abtastung und dem Trigger dargestellt. Obwohl die Abtastungen zeitlich sequenziell durchgeführt werden, erfolgen sie in Bezug auf den Trigger rein zufällig – daher die Bezeichnung zufällige Äquivalentzeit-Abtastung. Abtastpunkte erscheinen nach dem Zufallsprinzip entlang des Signals, wenn dieses auf dem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt wird.

Die Fähigkeit zum Erfassen und Darstellen von Abtastungen vor dem Trigger-Punkte ist der entscheidende Vorteil dieser Abtastmethode, bei der externe Vortriggersignale oder Verzögerungsleitungen entfallen. Je nach der Abtastrate und dem Zeitfenster der Anzeige kann auch bei der zufälligen Abtastung mehr als eine Abtastung pro getriggertem Ereignis erfasst werden. Bei schnelleren Ablenkgeschwindigkeiten wird das Erfassungsfenster jedoch immer schmaler, bis der Digitalisierer nicht mehr bei jedem Trigger abtasten kann. Häufig werden gerade bei diesen schnelleren Ablenkgeschwindigkeiten sehr genaue Timing-Messungen durchgeführt, und hier ist die außergewöhnliche Zeitauflösung der sequenziellen Äquivalentzeit-Abtastung von größtem Vorteil. Die Bandbreitenbegrenzung für die zufällige Äquivalentzeit-Abtastung ist kleiner als für die sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung.

Sequenzielle Äquivalentzeit-Abtastung

Bei der sequenziellen Äquivalentzeit-Abtastung wird eine Abtastung pro Trigger durchgeführt, und zwar unabhängig von der Zeit/Div-Einstellung oder der Ablenkgeschwindigkeit (siehe Abbildung 32). Wenn ein Trigger erkannt wird, wird nach einer sehr kurzen, aber genau definierten Verzögerung eine Abtastung durchgeführt. Wenn der nächste Trigger auftritt, wird zu dieser Verzögerung ein kleines Zeitinkrement – Δt – addiert, und der Digitalisierer führt eine weitere Abtastung durch. Dieser Vorgang wird viele Male wiederholt, wobei „ Δt “ zu jeder vorangehenden Erfassung addiert wird, bis das Zeitfenster gefüllt ist. Abtastpunkte erscheinen nach dem Zufallsprinzip entlang des Signals, wenn dieses auf dem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt wird.

Technisch gesehen ist es einfacher, ein sehr kurzes, sehr präzises „ Δt “ zu erzeugen, als die vertikale und horizontale Position einer Abtastung relativ zum Trigger-Punkt zu messen, wie dies bei zufälligen Abtastungen erforderlich ist. Diese präzise gemessene Verzögerung ermöglicht die hervorragende Zeitauflösung der sequenziellen Abtastung. Da bei der sequenziellen Abtastung die Abtastung nach Ermitteln des Trigger-Pegels durchgeführt wird, kann der Trigger-Punkt nicht ohne analoge Verzögerungsleitung dargestellt werden. Dies kann wiederum die Bandbreite des Messgeräts verringern. Wenn ein externer Vortrigger bereitgestellt werden kann, wird die Bandbreite nicht beeinträchtigt.

Position und Sekunden pro Skalenteil

Mit dem Bedienelement für die horizontale Position kann das Signal nach links und rechts genau an die gewünschte Stelle auf dem Bildschirm verschoben werden. Die Sekunden-pro-Div-Einstellung (Sek/Skalenteil) dient zum Auswählen der Rate, mit der das Signal über den Bildschirm geführt wird (dies wird auch als Zeitbasis-Einstellung oder Ablenkgeschwindigkeit bezeichnet). Diese Einstellung ist ein Skalierungsfaktor. Wenn der Einstellwert 1 ms beträgt, stellt jeder horizontale Skalenteil 1 ms dar und die gesamte Bildschirmbreite 10 ms bzw. zehn Skalenteile. Durch Ändern der Sek/Div-Einstellung können längere und kürzere Zeitintervalle des Eingangssignals angezeigt werden.

Wie die vertikale Volt/Teil-Skala kann auch die horizontale Sek/ Teil-Skala eine variable Timing-Einstellung haben, sodass die horizontale Zeitskala zwischen den diskreten Einstellungen festgelegt werden kann

Zeitbasis-Optionen

Das Oszilloskop verfügt über eine Zeitbasis, die in der Regel als Hauptzeitbasis bezeichnet wird. Viele Oszilloskope verfügen auch über eine so genannte verzögerte Zeitbasis – eine Zeitbasis mit einer Ablenkung, die relativ zu einer vorbestimmten Zeit während der Hauptzeitbasis-Ablenkung starten kann (oder deren Start getriggert werden kann). Mit einer verzögerten Zeitbasis-Ablenkung können Ereignisse klarer dargestellt werden; außerdem können Ereignisse sichtbar gemacht werden, die mit der Hauptzeitbasis-Ablenkung allein nicht dargestellt werden können.

Die verzögerte Zeitbasis erfordert die Einstellung einer Zeitverzögerung und die mögliche Verwendung von verzögerten Trigger-Modi und anderen Einstellungen, die in diesem Einführungshandbuch nicht beschrieben werden. Informationen zur Verwendung dieser Funktionen finden Sie in dem mit Ihrem Oszilloskop gelieferten Handbuch.

Zoom/Verschieben

Das Oszilloskop kann über spezielle horizontale Vergrößerungseinstellungen verfügen, mit denen ein vergrößerter Abschnitt des Signals am Bildschirm angezeigt werden kann. Einige Oszilloskope verfügen zusätzlich zur Zoomfunktion auch über eine Verschiebefunktion. Zum Einstellen des Zoomfaktors oder der Zoomskala sowie für die Verschiebung des Zoomfelds über dem Signal werden Drehknöpfe verwendet.

Suchen

Einige Oszilloskope bieten Such- und Markierungsfunktionen, die bei langen Erfassungen eine schnelle Navigation für die Suche nach benutzerdefinierten Ereignissen ermöglichen.

XY-Betrieb

Die meisten Oszilloskope verfügen über einen XY-Modus, mit dem auf der horizontalen Achse anstelle der Zeitbasis ein Eingangssignal dargestellt werden kann. Dieser Betriebsmodus eröffnet eine völlig neue Ära für Messverfahren im Bereich der Phasenverschiebung. Dies wird im Abschnitt „Oszilloskop-Messverfahren“ in diesem Einführungshandbuch erläutert.

Z Achse

Ein Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO) stellt eine hohe Anzahl von Abtastwerten auf dem Bildschirm dar und besitzt die Fähigkeit, Intensitätsinformationen zu erfassen. Mit der Intensitätsachse (Z-Achse) kann das DPO eine dreidimensionale Echtzeitdarstellung liefern, die der eines analogen Oszilloskops ähnlich ist. Wenn Sie die Signaldarstellung auf einem DPO betrachten, können Sie hellere Bereiche erkennen – das sind die Bereiche, in denen ein Signal am häufigsten auftritt. Diese Darstellung erleichtert die Unterscheidung zwischen der grundlegenden Signalform und einer Transienten, die nur selten auftritt – das grundlegende Signal erscheint wesentlich heller. Eine Anwendung der Z-Achse ist die Einspeisung speziell getakteter Signale in den separaten Z-Eingang, um in bekannten Intervallen hervorgehobene Markierungspunkte des Signals zu erzeugen.

XYZ-Betrieb mit DPO

Einige DPOs können den Z-Eingang verwenden, um eine XY-Anzeige mit Helligkeitsmodulation zu erzeugen. In diesem Fall tastet das DPO den Momentandatenwert am Z-Eingang ab und verwendet diesen Wert zur Qualifizierung eines bestimmten Signalteils. Nachdem qualifizierte Abtastungen vorliegen, können diese gesammelt und zum Aufbau einer helligkeitsmodulierten XYZ-Darstellung verwendet werden. Der XYZ-Modus eignet sich besonders zur Darstellung der Richtcharakteristiken, die häufig bei der Prüfung von drahtlosen Kommunikationsgeräten verwendet werden, wie z. B. ein Konstellationsdiagramm. Eine andere Methode zur Darstellung von XYZ-Daten ist die XYZ-Datensatzanzeige. In diesem Modus werden die Daten aus dem Erfassungsspeicher verwendet und nicht die DPO-Datenbank.

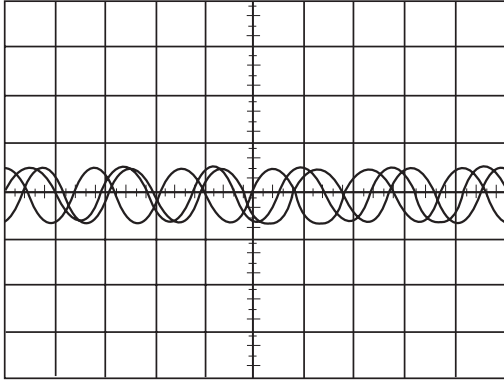


Abbildung 33. Ungetriggerte Darstellung

Triggersystem und Bedienelemente

horizontale Ablenkung am richtigen Signalpunkt. Dies ist für eine klare Signalcharakterisierung entscheidend. Mithilfe von Trigger-Bedienelementen können repetitive Signale stabilisiert und Einzelschussignale erfasst werden. Der Trigger lässt repetitive Signale auf der Oszilloskopanzeige statisch erscheinen, indem derselbe Teil des Eingangssignals wiederholt dargestellt wird. Die Darstellung auf dem Bildschirm wäre völlig unübersichtlich, wenn jede Ablenkung an einer anderen Stelle des Signals beginnen würde (siehe Abbildung 33).

Die bei analogen und digitalen Oszilloskopen verfügbare Flankentriggerung ist die grundlegende und häufigste Trigger-Art. Zusätzlich zur Schwellenwert-Triggerung, die sowohl bei analogen als auch bei digitalen Oszilloskopen verfügbar ist, bieten viele digitale Oszilloskope auch zahlreiche spezialisierte Trigger-Einstellungen, die bei analogen Messgeräten nicht vorhanden sind. Diese Trigger reagieren auf bestimmte Zustände des Eingangssignals. Dadurch lässt sich beispielsweise ein unzulässig schmaler Impuls leicht erkennen. Ein solcher Zustand könnte mit einem Spannungsschwellenwert-Trigger allein nicht erkannt werden.

Mithilfe von erweiterten Trigger-Bedienelementen können bestimmte zu untersuchende Ereignisse isoliert werden, um die Abtastrate und Aufzeichnungslänge des Oszilloskops zu optimieren. Die erweiterten Triggerfunktionen einiger Oszilloskope ermöglichen eine hochselektive Steuerung. Sie können auf Impulse triggern, die durch die Amplitude definiert werden (wie z. B. Runt-Impulse), die durch die Zeit qualifiziert werden (Impulsbreite, Glitch, Anstiegsrate, Setup- and-hold-Zeit und Timeout), und die durch einen logischen Zustand bzw. ein logisches Muster beschrieben werden (Logik-Trigger).

Zu den erweiterten Triggerfunktionen gehören:

- **Pattern Lock-Triggerung:** Die Pattern Lock-Triggerung fügt der seriellen Bitmuster-Triggerung für NRZ-kodierte Daten eine neue Dimension hinzu, indem sie dem Oszilloskop ermöglicht, synchronisierte Erfassungen eines langen seriellen Prüfmusters mit extrem hoher Genauigkeit der Zeitbasis durchzuführen. Mithilfe von Pattern Lock-Triggerung kann zufälliger Jitter aus langen seriellen Datenmustern entfernt werden. Die Effekte und Mittelwertbildung kann mit Maskentests angewendet werden.
- **Serielle Bitmustertriggerung:** Die serielle Bitmuster-triggerung kann für die Fehlersuche bei seriellen Architekturen verwendet werden. Dabei wird ein Trigger auf das serielle Muster eines seriellen NRZ-Datenstroms mit integrierter Taktrückgewinnung angewendet, und die Ereignisse auf der physikalischen Schicht und der Verbindungsschicht werden korreliert. Das Messgerät kann das Taktsignal zurückgewinnen, Übergänge und ermöglicht es, die gewünschten kodierten Wörter für den seriellen Bitmustertrigger zur Erfassung festzulegen.
- **A- und B-Triggerung:** Einige Triggersysteme bieten mehrere Triggerarten nur für ein einzelnes Ereignis (A-Ereignis), wobei die Auswahl eines verzögerten Triggers (B-Ereignis auf Flanken-Triggerung beschränkt ist. Sie bieten deshalb häufig keine Möglichkeit zum Zurücksetzen der Triggersequenz, wenn das B-Ereignis nicht auftritt. Moderne Oszilloskope können das ganze Spektrum erweiterter Triggerarten für A- und B-Trigger sowie die logische Qualifizierung zur Steuerung des Zeitpunkts zur Beobachtung dieser Ereignisse bieten. Sie ermöglichen außerdem zeitversetzte Triggerung, damit die Triggersequenz nach einem festgelegten Zeitpunkt, Zustand oder Übergang erneut beginnt. So können sogar Ereignisse in hochkomplexen Signalen erfasst werden.
- **Such- und Markierungstriggerung:** Hardware-Trigger können nur einen Ereignistyp gleichzeitig beachten, die Suchfunktion kann jedoch nach mehreren Ereignistypen gleichzeitig suchen. Ein Beispiel ist die Suche nach Setup-Zeit- und Hold-Zeit-Verletzungen auf mehreren Kanälen. Die Suchfunktion kann einzelne Markierungen zur Kennzeichnung der Ereignisse setzen, welche die Suchkriterien erfüllen.
- **Triggerkorrektur:** Da das Trigger- und das Datenerfassungssystem verschiedene Pfade gemeinsam nutzen, tritt zwischen der Triggerposition und den erfassten Daten eine inhärente zeitliche Verzögerung ein. Dies kann zu Versatz und Trigger-Jitter führen. Mit einem Triggerkorrektursystem passt das Messgerät die Triggerposition an und gleicht die Verzögerungsdifferenz zwischen Triggerweg und Datenerfassungsweg aus. Dadurch kann praktisch jeglicher Trigger-Jitter am Triggerpunkt eliminiert werden. In diesem Modus kann der Triggerpunkt als Messreferenz verwendet werden.

Anstiegsraten-Triggerung. Hochfrequente Signale mit Anstiegsraten, die schneller sind als erwartet oder benötigt, können störende Energie abstrahlen. Die Anstiegsraten-Triggerung übertrifft die herkömmliche Flankentriggerung, indem das Zeitelement hinzugefügt wird und das selektive Triggern auf schnelle oder langsame Flanken ermöglicht wird.

Glitch-Triggerung. Glitch-Triggerung ermöglicht das Triggern auf digitale Impulse, wenn diese kürzer oder länger sind als ein benutzerdefiniertes Zeitlimit. Diese Triggersteuerung ermöglicht die Untersuchung der Ursachen seltener Glitches und deren Auswirkungen auf andere Signale.

Impulsweiten-Triggerung. Mit der Impulsweiten-Triggerung kann ein Signal zeitlich unbegrenzt überwacht werden; dabei kann auf den ersten Impuls getriggert werden, dessen Dauer (Impulsbreite) außerhalb der zulässigen Grenzwerte liegt.

Time-out Triggerung. Die Time-out-Triggerung ermöglicht das Triggern auf einem Ereignis, ohne auf das Ende des Impulses zu warten. Die Triggerung erfolgt nach Ablauf einer angegebenen Zeitdauer.

Runt-Impuls-Triggerung. Runt-Triggerung ermöglicht das Erfassen und Untersuchen von Impulsen, die eine logische Schwelle überschreiten, jedoch nicht beide.

Logik-Triggerung. Logik-Triggerung ermöglicht das Triggern auf einer beliebigen logischen Kombination verfügbarer Eingangskanäle – dies ist besonders beim Funktionstest digitaler Schaltungen von Vorteil.

Setup-and-hold-Triggerung. Nur die Setup-and-hold-Triggerung ermöglicht die deterministische Erfassung einer einmaligen Verletzung der Setup-and-hold-Zeit, die bei anderen Triggermodi nahezu immer übersehen werden. Dieser Triggermodus erleichtert das Erfassen spezifischer Signalqualitäten und Timing-Details, wenn ein synchrones Datensignal den Setup-and-hold-Spezifikationen nicht entspricht.

Kommunikations-Triggerung. Bei einigen Oszilloskopmodellen sind diese Triggerarten optional verfügbar. Sie dienen zum Erfassen einer großen Vielfalt von AMI (Alternate-Mark Inversion)-, CMI (Code-Mark Inversion)- und NRZ (Non-Return to Zero)-Kommunikationssignalen.

Abbildung 34. Gängige Triggerarten

- **Bitmustertriggerung auf bestimmte Standardsignale (I2C, CAN, LIN usw.)** – Einige Oszilloskope ermöglichen das Triggern auf bestimmten Signaltypen für serielle Standard-Datensignale wie CAN, LIN, I2C, SPI und andere. Die Dekodierung dieser Signaltypen ist auf vielen heutigen Oszilloskopen ebenfalls verfügbar.
- **Parallelbus-Triggerung** - Mehrere Parallelbusse können gleichzeitig definiert und dargestellt werden, um die Darstellung dekodierter Parallelbusdaten in Abhängigkeit von der Zeit zu vereinfachen. Indem festgelegt wird, welche Kanäle die Takt- und Datenleitungen sind, kann auf einigen Oszilloskopen eine Parallelbusanzeige erstellt werden, die den Businhalt automatisch dekodiert. Zahllose Arbeitsstunden können eingespart werden, indem Parallelbus-Trigger zur Vereinfachung der Erfassung und Analyse eingesetzt werden.

Optionale Trigger-Bedienelemente in einigen Oszilloskopen sind speziell auch für die Untersuchung von Kommunikationssignalen bestimmt. In Abbildung 34 werden einige dieser gängigen Triggerarten ausführlicher dargestellt. Die intuitive Benutzeroberfläche, die in einigen Oszilloskopen verfügbar ist, ermöglicht die rasche Konfiguration von Trigger-Parametern mit hoher Flexibilität beim Prüfungsaufbau, damit Sie Ihre Produktivität maximieren können.

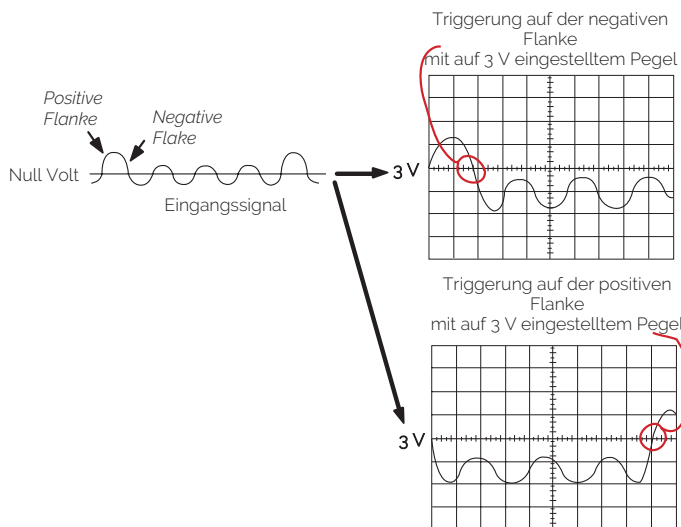


Abbildung 35. Triggerung auf der positiven und negativen Flanke.

Triggerposition

Das Bedienelement für die horizontale Triggerposition ist nur auf digitalen Oszilloskopen verfügbar. Das Bedienelement für die Triggerposition kann im Bedienabschnitt für die horizontalen Einstellungen des Oszilloskops enthalten sein. Es stellt die horizontale Position des Triggers in der Signalaufzeichnung dar.

Durch Änderung der horizontalen Triggerposition lassen sich Einblicke in das Signalverhalten vor einem Trigger-Ereignis gewinnen. Dies wird als Vortrigger-Darstellung bezeichnet. Dabei wird die Länge des darstellbaren Signals vor und nach einem Triggerpunkt bestimmt.

Digitale Oszilloskope können die Vortrigger-Anzeige ermöglichen, da sie das Eingangssignal laufend verarbeiten, unabhängig davon, ob ein Trigger empfangen wurde oder nicht. Durch das Oszilloskop fließt ein konstanter Datenstrom; der Trigger weist das Oszilloskop nur an, die aktuellen Daten im Speicher zu sichern.

Im Gegensatz dazu stellen analoge Oszilloskope das Signal nur dar, d. h. es wird auf dem Kathodenstrahlbildschirm angezeigt, nachdem der Trigger erhalten wurde. Die Vortrigger-Darstellung ist daher bei analogen Oszilloskopen nicht verfügbar, ausgenommen ein kleiner Vortrigger-Anteil durch eine Verzögerungsleitung im Vertikalsystem.

Die Vortrigger-Darstellung ist ein wertvolles Hilfsmittel für die Fehlersuche. Wenn ein Problem intermittierend auftritt, können Sie auf dem Problem triggern, die Ereignisse aufzeichnen, die zu dem Problem führten, und dadurch möglicherweise die Ursache feststellen.

Triggerpegel und Flanke

Die Bedienelemente für Triggerpegel und Flanke ermöglichen die grundlegende Triggerpunktdefinition und bestimmen, wie ein Signal dargestellt wird (siehe Abbildung 35).

Die Trigger-Schaltung fungiert als Komparator. Flanke und Spannungspegel werden an einem Eingang des Komparators ausgewählt. Wenn das Triggersignal am anderen Komparatoreingang mit diesen Einstellungen übereinstimmt, erzeugt das Oszilloskop einen Trigger.

Die Flankensteuerung bestimmt, ob der Triggerpunkt auf der ansteigenden oder abfallenden Flanke eines Signals liegt. Eine ansteigende Flanke ist eine positive Flanke, eine abfallende Flanke ist eine negative Flanke. Die Pegelsteuerung bestimmt, wo auf der Flanke der Triggerpunkt liegt.

Triggerquellen

Das Oszilloskop muss nicht unbedingt auf dem dargestellten Signal getriggert werden. Mehrere Quellen können die Ablenkung triggern:

- Ein beliebiger Eingangskanal
- Eine andere externe Quelle außer dem Signal des Eingangskanals
- Das Netzsignal
- Ein intern durch das Oszilloskop erzeugtes Signal, aus einem oder mehreren Eingangskanälen definiert

Meist können Sie das Oszilloskop so eingestellt lassen, dass es auf dem dargestellten Kanal triggert. Einige Oszilloskope verfügen über einen Trigger-Ausgang, der das Triggersignal auf ein anderes Messgerät übertragen kann.

Das Oszilloskop kann eine alternative Triggerquelle verwenden, unabhängig davon, ob diese dargestellt wird oder nicht. Sie sollten daher darauf achten, nicht versehentlich auf Kanal 1 zu triggern, während beispielsweise Kanal 2 dargestellt wird.

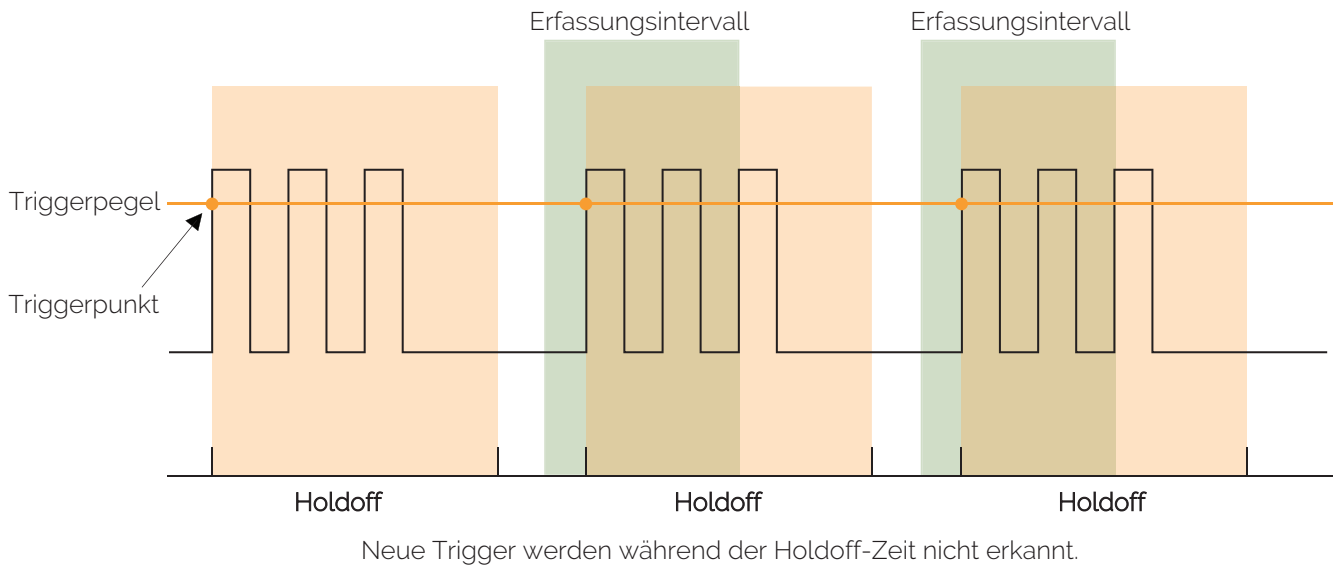


Abbildung 36. Trigger-Holdoff

Triggermodi

Der Triggermodus bestimmt, ob das Oszilloskop ein Signal auf der Grundlage eines Signalzustands darstellt oder nicht. Übliche Triggermodi sind Normal und Auto.

Im Normal-Modus erzeugt das Oszilloskop nur dann eine Ablenkung, wenn das Eingangssignal den eingestellten Triggerpunkt erreicht. Ansonsten ist der Bildschirm leer (bei einem analogen Oszilloskop), oder er ist auf dem zuletzt erfassten Signal eingefroren (bei einem digitalen Oszilloskop). Der Normal-Modus kann verwirrend sein, da das Signal u. U. zunächst nicht sichtbar ist, wenn die Pegelsteuerung nicht korrekt eingestellt ist.

Im Auto-Modus erzeugt das Oszilloskop selbst dann eine Ablenkung, wenn kein Trigger anliegt. Wenn kein Signal vorhanden ist, triggert ein Zeitgeber im Oszilloskop die Ablenkung. Dies gewährleistet, dass die Anzeige nicht ausgeblendet wird, wenn das Signal keinen Trigger auslöst.

In der Praxis werden Sie wahrscheinlich beide Modi verwenden: Den Normal-Modus, weil Sie damit das zu untersuchende Signal auch bei niedrigen Triggerraten darstellen können, und den Auto-Modus, weil er weniger Einstellungen erfordert.

Viele Oszilloskope bieten auch Spezialmodi für einzelne Ablenkungen, für die Triggerung auf Videosignalen oder für die automatische Einstellung des Triggerpegels.

Trigger-Kopplung

So wie Sie für das Vertikalsystem eine AC- oder DC-Kopplung auswählen können, können Sie die Kopplungsart für das Triggersignal auswählen.

Außer der AC- und DC-Kopplung kann das Oszilloskop auch über eine Triggerkopplung für Hochfrequenzunterdrückung, Niederfrequenzunterdrückung und Rauschunterdrückung verfügen. Diese Sondereinstellungen sind besonders hilfreich zum Eliminieren von Rauschen aus dem Triggersignal, um falsche Triggerung zu vermeiden.

Trigger-Holdoff

Manchmal erfordert es viel Geschick, ein Oszilloskop auf dem richtigen Teil eines Signals triggern zu lassen. Viele Oszilloskope verfügen über Sonderfunktionen zur Vereinfachung dieser Aufgabe.

Trigger-Holdoff ist eine einstellbare Zeitperiode nach einem gültigen Trigger, während der das Oszilloskop nicht triggern kann. Diese Funktion ist beim Triggern auf komplexe Signalformen von Vorteil, damit das Oszilloskop nur auf einen geeigneten Triggerpunkt triggert. Abbildung 36 zeigt, wie mittels Trigger-Holdoff eine verwendbare Darstellung erzeugt werden kann.

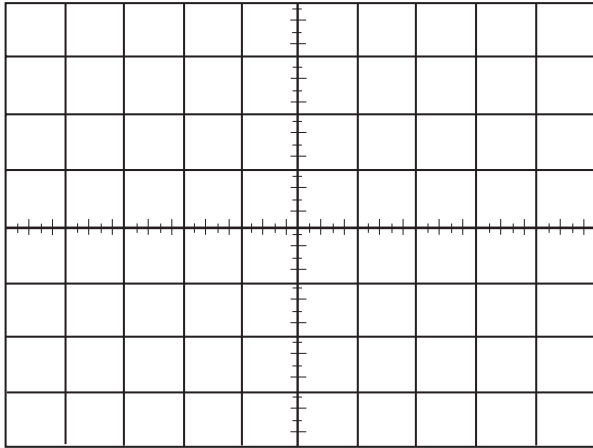


Abbildung 37. Ein Oszilloskop-Raster.

Anzeigesystem und Bedienelemente

Das vordere Bedienfeld eines Oszilloskops umfasst einen Anzeigebildschirm und die Drehknöpfe, Tasten, Schalter und Anzeigen, mit denen die Signalerfassung und -darstellung eingestellt wird. Wie am Anfang dieses Abschnitts erwähnt, sind die Bedienelemente des vorderen Bedienfelds in der Regel in die Abschnitte Vertikal, Horizontal und Trigger gegliedert. Zudem umfasst das vordere Bedienfeld auch Eingangsanschlüsse.

Sehen Sie sich den Oszilloskopbildschirm an. Beachten Sie die Rastermarkierungen auf dem Bildschirm – sie erzeugen das Raster. Jede vertikale und horizontale Linie stellt einen Hauptteil dar. Das Raster ist in der Regel mit 8x10 oder 10x10 Skalenteilen ausgelegt. Die Beschriftung der Oszilloskop-Bedienelemente (wie z. B. Volt/Div und Sek/Div) bezieht sich immer auf die Hauptteile. Die Strichmarkierungen auf den mittleren horizontalen und vertikalen Rasterlinien werden als Unterteilungen bezeichnet (siehe Abbildung 37). Viele Oszilloskope zeigen auf dem Bildschirm an, wie viele Volt jeder vertikale Teil und wie viele Sekunden jeder horizontale Teil darstellt.

Weitere Bedienelemente des Oszilloskops

Mathematik- und Messoperationen

Ihr Oszilloskop bietet möglicherweise auch Operationen, mit denen Sie Signale addieren und so eine neue Signaldarstellung erzeugen können. Analoge Oszilloskope kombinieren die Signale, während digitale Oszilloskope neue Signale auf mathematischem Weg erstellen. Das Subtrahieren von Signalen ist eine weitere mathematische Operation.

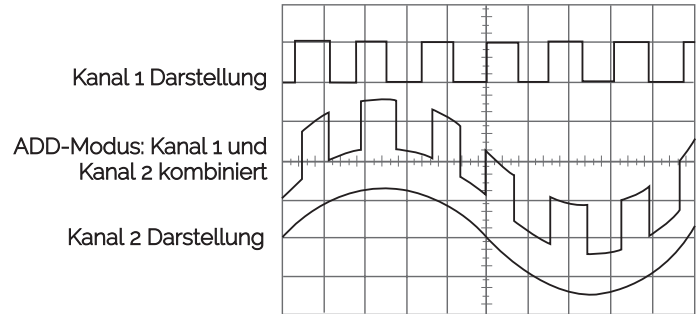


Abbildung 38. Hinzufügen von Kanälen.

Die Subtraktion ist bei analogen Oszilloskopen möglich, indem die Kanalinvertierungsfunktion auf ein Signal angewendet und dann die Additionsoption verwendet wird. Bei digitalen Oszilloskopen ist in der Regel eine Subtraktionsoperation verfügbar. Abbildung 38 zeigt ein drittes Signal, das durch die Kombination von zwei verschiedenen Signalen erzeugt wurde.

Mithilfe ihrer leistungsfähigen internen Prozessoren bieten digitale Oszilloskope viele fortgeschrittene mathematische Operationen an: Multiplikation, Division, Integration, Schnelle Fourier-Transformation (FFT) und mehr. Mit diesen erweiterten Signalverarbeitungsfunktionen können auch Aufgaben ausgeführt werden, wie z. B. das Einfügen eines Blockfilters, der verwendet werden kann, um die Merkmale der Vorrichtung auf dem Prüfling herauszufiltern, oder um einen Filterblock mit dem gewünschten Frequenzgang zu implementieren, wie z. B. ein Tiefpassfilter. Das Schaltungsmodul ist flexibel und nicht spezialisiert; es kann als frei wählbarer Filter fungieren, beispielsweise zur Simulation von Pre-Emphasis/De-Emphasis-Schemata.

Digitale Timing- und Zustandserfassungen

Die Digitalkanäle eines Mixed-Signal-Oszilloskops bieten einen Funktionsumfang zur Erfassung, der dem von Logikanalysatoren ähnlich ist. Es gibt zwei grundlegende Methoden der digitalen Erfassung. Die erste Methode ist die Timing-Erfassung, bei der das Mixed-Signal-Oszilloskop das digitale Signal in gleichmäßigen Zeitabständen entsprechend der Abtastrate des MSO erfasst. Der an den einzelnen Abtastpunkten erfasste logische Zustand des Signals wird gespeichert und zur zeitabhängigen Darstellung des Signals herangezogen. Die zweite Methode der digitalen Erfassung ist die Zustandserfassung. Bei der Zustandserfassung werden spezielle Zeitpunkte definiert, an denen der logische Zustand des Signals gültig und stabil ist. Dies ist die übliche Vorgehensweise bei synchronen und getakteten digitalen Schaltungen. Über ein Taktsignal wird festgelegt, wann der Zustand des digitalen Signals gültig ist.

Ein Beispiel dafür ist eine D-Flipflop-Schaltung mit positiver Flankentriggerung, für deren Eingangssignal der stabile Zustand um die steigende Taktflanke herum liegt. Der stabile Zustand für das Ausgangssignal derselben Schaltung liegt im Bereich der abfallenden Flanke. Da die Taktdauer einer synchronen Schaltung nicht unbedingt konstant ist, weisen Zustandserfassungen anders als die Timing-Erfassung möglicherweise unterschiedliche Zeitabstände auf.

Die digitalen Kanäle eines Mixed-Signal-Oszilloskops erfassen digitale Signale auf dieselbe Weise wie ein Logikanalysator im Timing-Erfassungsmodus. Das Mixed-Signal-Oszilloskop dekodiert dann die Timing-Erfassung und zeigt den getakteten Bus und eine Ereignistabelle dar, die wiederum der Anzeige eines Logikanalysators im Zustandserfassungsmodus gleicht und wichtige Informationen bei der Fehlersuche liefert.

Es wurden die grundlegenden Oszilloskop-Bedienelemente beschrieben, deren Kenntnis für Einsteiger wichtig ist. Ihr Oszilloskop kann noch weitere Bedienelemente für verschiedene Funktionen haben. Dazu gehören möglicherweise:

- Automatische parametrische Messungen
- Messcursor
- Numerische Tastenfelder für mathematische Operationen oder Dateneingabe
- Druckfunktionen
- Schnittstellen zum Anschließen des Oszilloskops an einen Computer oder direkt an das Internet

Lesen Sie die Bedienungsanleitung Ihres Oszilloskops, um detailliertere Informationen über die anderen, für Sie verfügbaren Bedienelemente zu erhalten.

Das vollständige Messsystem

Tastköpfe

Auch das genaueste Messgerät kann nur so genau wie die eingehenden Daten sein. Ein Tastkopf arbeitet mit einem Oszilloskop zusammen als Teil des Messsystems. Präzisionsmessungen beginnen an der Tastkopfspitze. Die richtigen, auf das Oszilloskop und den Prüfling abgestimmten Tastköpfe ermöglichen nicht nur ein sauberes Einspeisen des Signals in das Oszilloskop, sondern sie verstärken das Signal und verändern es nicht, um höchste Signalintegrität und Messgenauigkeit zu gewährleisten

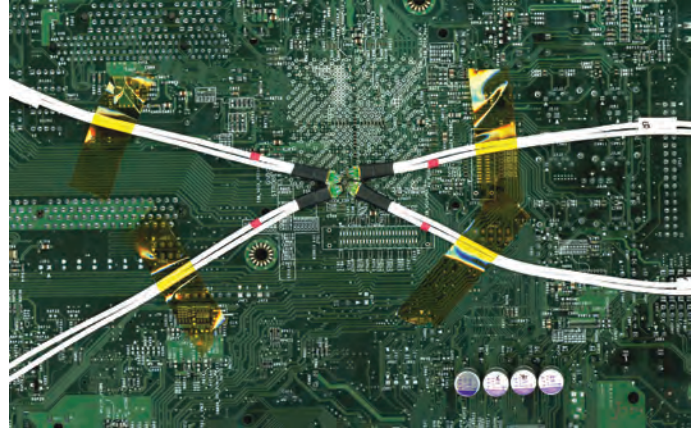


Abbildung 39. Dichtgepackte Bauteile und Systeme erfordern Tastköpfe mit kleinen Formfaktoren

Um eine genaue Rekonstruktion des Signals sicherzustellen, sollten Sie einen Tastkopf wählen, der zusammen mit dem Oszilloskop die Taktrate um das Fünffache übersteigt.

Tastköpfe werden zum Bestandteil der Schaltung und erzeugen ohmsche, kapazitive und induktive Lasten, welche die Messung zwangsläufig ändern. Um die genauesten Ergebnisse zu erhalten, sollte ein Tastkopf mit möglichst geringer Last ausgewählt werden. Eine ideale Kombination des Tastkopfs mit dem Oszilloskop minimiert diese Last und ermöglicht es, den gesamten Leistungs- und Funktionsumfang des Oszilloskops zu nutzen.

Ein weiteres Kriterium, das beim Tastkopf zu beachten ist, ist der Formfaktor. Tastköpfe mit kleinem Formfaktor gewähren leichteren Zugang zu den dicht gepackten Schaltungen von heute (siehe Abbildung 39).

Es folgt eine kurze Beschreibung der verschiedenen Tastkopfarten. Weitere Informationen über diese wichtige Komponente des Messsystems finden Sie im Tektronix-Einführungshandbuch „ABC der Tastköpfe“.



Abbildung 40. Ein üblicher passiver Tastkopf mit Zubehör

Passive Tastköpfe

Zum Messen üblicher Signal- und Spannungspegel sind passive Tastköpfe eine einfach zu handhabende Lösung für viele Anwendungen zu einem günstigen Preis. Die Kombination eines passiven Spannungstastkopfs mit einem Stromtastkopf ergibt eine ideale Lösung für Leistungsmessungen.

Die meisten passiven Tastköpfe haben einen Dämpfungsfaktor, wie z. B. 10X, 100X usw. Dämpfungsfaktoren, wie z. B. beim Tastkopf mit 10X-Dämpfung, sind durch Angabe des Buchstabens X nach dem Faktor gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu steht der Buchstabe X bei Vergrößerungsfaktoren wie X10 vor dem Faktor.

Der 10X (gelesen als „zehnfach“) gedämpfte Tastkopf reduziert die Schaltungsbelastung gegenüber einem 1X-Tastkopf und ist ein ausgezeichnete passiver Allzweckastkopf. Die Schaltungsbelastung wird bei höheren Frequenzen und/oder Signalquellen mit höherer Impedanz ausgeprägter. Analysieren Sie daher unbedingt die Belastungsinteraktionen zwischen Signal und Tastkopf, bevor Sie einen Tastkopf auswählen. Der 10X gedämpfte Tastkopf verbessert die Genauigkeit der Messungen, verringert jedoch gleichzeitig die Amplitude des Signals am Oszilloskopeingang um den Faktor 10.

Da das Signal gedämpft wird, erschwert der 10X gedämpfte Tastkopf die Untersuchung von Signalen mit weniger als 10 Millivolt Spitze-Spitze. Der 1X-Tastkopf ist dem 10X gedämpften Tastkopf ähnlich, er hat jedoch keine Dämpfungsschaltung. Ohne diese Schaltung wird die zu prüfende Schaltung stärker beeinflusst.

Verwenden Sie den 10X gedämpften Tastkopf als Allzweckastkopf, halten Sie jedoch den 1X-Tastkopf griffbereit, um Signale mit geringer Geschwindigkeit und geringer Amplitude messen zu können. Einige Tastköpfe verfügen über eine benutzerfreundliche Funktion zum Umschalten zwischen 1X- und 10X-Dämpfung an der Tastkopfspitze. Wenn Ihr Tastkopf über diese Funktion verfügt, achten Sie vor Beginn der Messungen darauf, dass Sie die richtige Einstellung vorgenommen haben.

Viele Oszilloskope können automatisch erkennen, ob ein 1X- oder ein 10X-Tastkopf verwendet wird, und stellen die Messanzeige entsprechend ein. Bei einigen Oszilloskopen müssen Sie die verwendete Tastkopfart jedoch einstellen oder die entsprechenden 1X- oder 10X-Markierungen des Volt/Div- Bedienelements ablesen.

Die elektrischen Eigenschaften des 10X gedämpften Tastkopfs werden den elektrischen Eigenschaften des Oszilloskops angepasst. Bevor Sie einen 10X gedämpften Tastkopf verwenden, müssten Sie diese Anpassung für Ihr Oszilloskop einstellen. Diese Einstellung wird als Tastkopfkomensation bezeichnet und ist im Abschnitt „Die Bedienung des Oszilloskops“ in diesem Einführungshandbuch ausführlicher beschrieben.

Passive Tastköpfe, wie z. B. der in Abbildung 40 dargestellte Tastkopf, sind ausgezeichnete Allzweckastköpfe. Allzweckastköpfen können jedoch Signale mit extrem schnellen Anstiegszeiten nicht genau messen und belasten empfindliche Schaltungen möglicherweise übermäßig. Die ständig schneller werdenden Signaltaktraten und Flankengeschwindigkeiten erfordern Tastköpfe für höhere Geschwindigkeiten mit geringerer Schaltungsbelastung. Schnelle aktive und Differentialastköpfe sind die ideale Lösung zum Messen von Hochgeschwindigkeits- und/oder Differenzsignalen.

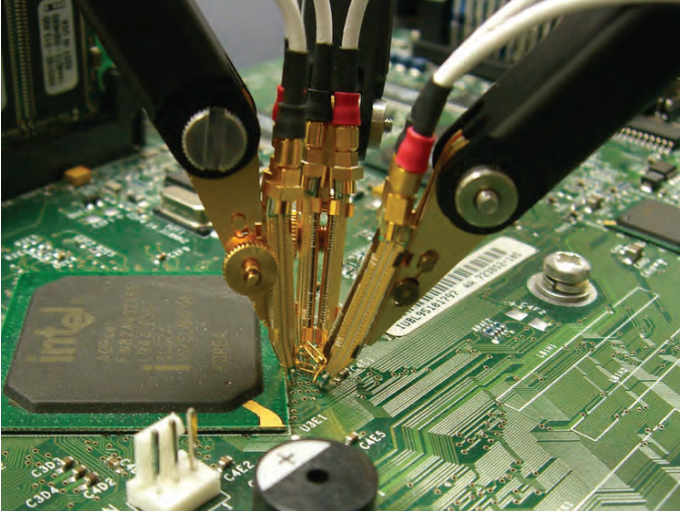


Abbildung 41. Hochleistungstastköpfe sind entscheidend, wenn schnelle Taktraten und Flanken gemessen werden müssen, die in modernen Computerbussen und Datenübertragungsleitungen auftreten.

Aktive und Differentialtastköpfe

Zunehmende Signalgeschwindigkeiten und Niederspannungs-Logikfamilien erschweren den Erhalt genauer Messergebnisse. Signaltreue und Belastung des Prüflings sind kritische Punkte. Eine vollständige Messlösung bei diesen hohen Geschwindigkeiten umfasst Hochgeschwindigkeitstastkopf- Lösungen mit hoher Signalgüte, die der Leistungsfähigkeit des Oszilloskops entsprechen (siehe Abbildung 41).

Aktive und Differentialtastköpfe verwenden speziell entwickelte integrierte Schaltungen, damit das Signal während der Einspeisung und Übertragung an das Oszilloskop nicht verändert wird, und stellen dadurch die Signalintegrität sicher. Beim Messen von Signalen mit schnellen Anstiegszeiten liefert ein aktiver Hochgeschwindigkeits- oder Differentialtastkopf genauere Ergebnisse (siehe Abbildung 42).

Neuere Tastkopfarten bieten den Vorteil, dass mit einer Konfiguration drei Arten von Messungen durchgeführt werden können, ohne dass die Anschlüsse an der Tastkopfspitze geändert werden müssen. Diese Tastköpfe ermöglichen Messungen im Differentialmodus, asymmetrischen Modus und Normalmodus mit ein und derselben Tastkopfkonfiguration.

Logiktastköpfe

Der in Abbildung 43 dargestellte Tastkopf bietet zwei Kopfstecker mit jeweils acht Kanälen. Jeder Kanal endet in einer Tastkopfspitze, die sich durch einen zurückgesetzten Erdungsanschluss auszeichnet. Dies ermöglicht einen einfacheren Anschluss an den Prüfling.

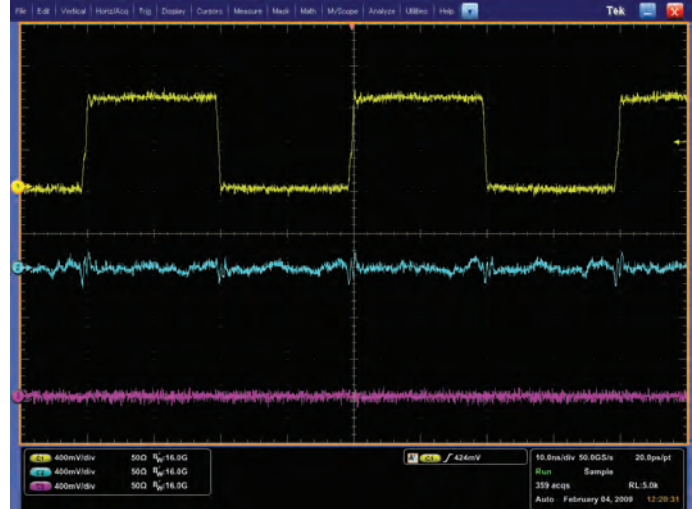


Abbildung 42. Differentialtastköpfe sind in der Lage, Gleichtaktrauschen von dem zu untersuchenden Signalanteil in den schnellen Niederspannungsanwendungen von heute zu separieren. Dies ist besonders wichtig, da digitale Signale immer weiter unter die üblichen Rauschgrenzwerte in integrierten Schaltungen zurückfallen.



Abbildung 43. Logiktastköpfe für ein Mixed-Signal-Oszilloskop (MSO) machen den digitalen Anschluss an das Gerät einfach.

Das Koax-Kabel des ersten Kanals jedes Kopfsteckers ist in blauer Farbe gehalten und damit einfach zu erkennen. Die gemeinsame Erdung ist mit einem Stecker ausgestattet, der das Erstellen individueller Erdungen für den Anschluss an den Prüfling vereinfacht. Zum Anschließen an Flachstecker kann ein Adapter für die Tastkopfspitze verwendet werden. Dadurch wird die Tastkopferdung so verlängert, dass sie bündig mit der Tastkopfspitze abschließt und die Tastkopfspitze mit einem Kopfstecker verbunden werden kann. Diese Tastköpfe bieten außergewöhnliche elektrische Eigenschaften bei minimaler kapazitiver Belastung.

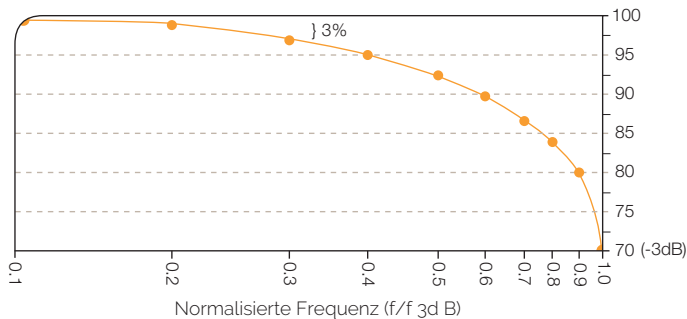


Abbildung 44. Die Oszilloskop-Bandbreite ist die Frequenz, bei der ein sinusförmiges Eingangssignal auf 70,7 % der tatsächlichen Signalamplitude gedämpft wird – dieser Wert wird als -3 dB-Punkt bezeichnet.

Spezialtastköpfe

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Tastkopffarten gibt es auch eine Reihe von Spezialtastköpfen und -tastkopfsystemen. Dazu gehören Strom-, Hochspannungs- und optische Tastköpfe, um nur einige zu nennen.

Tastkopfzubehör

Viele moderne Oszilloskope verfügen über spezielle automatisierte Funktionsmerkmale, die in die Eingänge und zugehörigen Tastkopfanschlüsse integriert sind. Bei intelligenten Tastkopfschnittstellen wird beim Anschließen des Tastkopfs an das Messgerät das Oszilloskop über den Dämpfungsfaktor des Tastkopfs benachrichtigt. Daraufhin skaliert das Oszilloskop die Anzeige so, dass die Tastkopfdämpfung in der Messwertanzeige auf dem Bildschirm berücksichtigt wird. Einige Tastkopfschnittstellen erkennen zudem die Art des Tastkopfs – passiv, aktiv oder Stromtastkopf. Die Schnittstelle kann als Gleichstromquelle für die Tastköpfe dienen. Aktive Tastköpfe verfügen über ihre eigene Verstärker- und Pufferschaltung, die Gleichstrom benötigt. Erdungskabel und Tastkopfzubehör sind ebenfalls erhältlich, um die Signalintegrität beim Messen von Hochgeschwindigkeitssignalen zu verbessern. Erdungskabel-Adapter sorgen für flexiblen Abstand zwischen der Tastkopfspitze und den Erdungskabelanschlüssen am Prüfling, unter gleichzeitiger Beibehaltung sehr kurzer Kabellängen zwischen Tastkopfspitze und Prüfling. Weitere Informationen über Tastköpfe und Tastkopfzubehör finden Sie im Tektronix-Einführungshandbuch „ABC der Tastköpfe“.

Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

Wie bereits erwähnt, entspricht ein Oszilloskop in gewissem Sinn einer Kamera, die Signalbilder erfasst, welche anschließend betrachtet und interpretiert werden können. Verschlusszeit, Beleuchtung, Blendenöffnung und die DIN/ASA-Lichtempfindlichkeit des Films beeinflussen die Fähigkeit der Kamera, ein Bild klar und genau aufzunehmen.

Wie die grundlegenden Eigenschaften eines Oszilloskops beeinflussen auch die Leistungskriterien eines Oszilloskops auf signifikante Weise seine Fähigkeit, die erforderliche Signalintegrität zu erreichen.

Das Erwerben neuer Kenntnisse umfasst häufig auch das Erlernen eines neuen Vokabulars. Dies gilt auch für das Erlernen des Umgangs mit einem Oszilloskop. Dieser Abschnitt beschreibt einige hilfreiche Mess- und Oszilloskopleistungsbegriffe. Diese Begriffe dienen zur Beschreibung der Kriterien, mit denen Sie das richtige Oszilloskop für Ihre Anwendung auswählen können. Das Verständnis dieser Begriffe hilft Ihnen, Ihr Oszilloskop zu bewerten und mit anderen Modellen zu vergleichen.

Bandbreite

Die Bandbreite bestimmt die grundlegende Fähigkeit eines Oszilloskops, ein Signal zu messen. Mit steigender Signalfrequenz verringert sich die Fähigkeit des Oszilloskops, das Signal genau darzustellen. Diese Spezifikation gibt den Frequenzbereich an, in dem das Oszilloskop genaue Messungen durchführen kann.

Die Oszilloskop-Bandbreite wird als die Frequenz definiert, bei der ein sinusförmiges Eingangssignal auf 70,7 % der tatsächlichen Signalamplitude gedämpft wird. Dieser Wert wird entsprechend der logarithmischen Notation auch als „-3 dB“-Punkt bezeichnet (siehe Abbildung 44).

Ohne ausreichende Bandbreite ist das Oszilloskop nicht in der Lage, hochfrequente Änderungen zu erfassen. Die Amplitude wird verzerrt. Die Flanken sind kaum sichtbar. Details gehen verloren. Ohne ausreichende Bandbreite haben alle Funktionsmerkmale, Sonderfunktionen und Extras des Oszilloskops keine Bedeutung.

Zur Bestimmung der Oszilloskop-Bandbreite, die zur genauen Charakterisierung der Signalamplitude in Ihrer spezifischen Anwendung erforderlich ist, wenden Sie die Fünffach-Regel an.

Oszilloskop-Bandbreite \geq Höchster Frequenzanteil des Signals $\times 5$

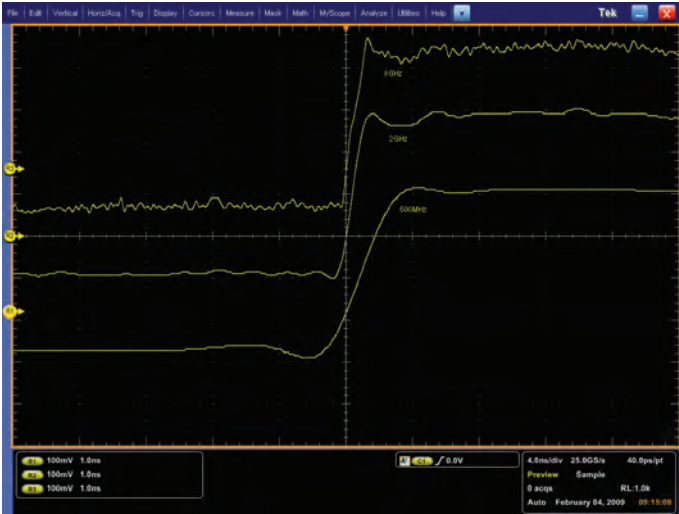


Abbildung 45. Je höher die Bandbreite, desto genauer die Reproduktion des Signals, wie hier mit einem Signal veranschaulicht, das bei den Bandbreitenwerten 250 Mhz, 1 GHz und 4 GHz erfasst wurde.

Ein mit der Fünffach-Regel ausgewähltes Oszilloskop ergibt bei den Messungen eine Fehlerrate von weniger als $\pm 2\%$. Dies ist in der Regel für heutige Anwendungen ausreichend. Mit zunehmender Signalgeschwindigkeit kann es jedoch unmöglich werden, diese Faustregel zu erfüllen. Es ist grundsätzlich zu beachten, dass eine höhere Bandbreite eine genauere Reproduktion des Signals ermöglicht (siehe Abbildung 45).

Einige Oszilloskope bieten eine Methode zur Vergrößerung der Bandbreite durch digitale Signalverarbeitung. Ein arbiträrer DSP-Entzerrungsfilter kann verwendet werden, um die Kanalantwort des Oszilloskops zu verbessern. Dieser Filter vergrößert die Bandbreite, glättet den Kanalfrequenzgang des Oszilloskops, verbessert die Phasenlinearität und ermöglicht einen besseren Abgleich zwischen den Kanälen. Er verringert außerdem die Anstiegszeit und verbessert die Sprungantwort im Zeitbereich.

Anstiegszeit

In digitalen Schaltungen sind Messungen der Anstiegszeit von kritischer Bedeutung. Die Anstiegszeit kann ein besser geeignetes Leistungskriterium sein, wenn digitale Signale, wie z. B. Impuls- und Sprungsignale, gemessen werden sollen. Wie in Abbildung 46 dargestellt, muss das Oszilloskop über eine ausreichend schnelle Anstiegszeit verfügen, um die Einzelheiten schneller Übergänge genau erfassen zu können.

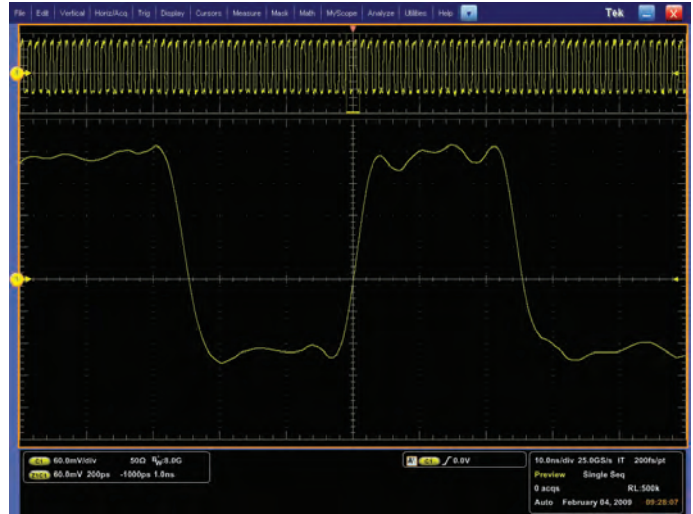


Abbildung 46. Charakterisierung der Anstiegszeit eines digitalen Hochgeschwindigkeitssignals

Die Anstiegszeit beschreibt den nutzbaren Frequenzbereich eines Oszilloskops. Zur Berechnung der Oszilloskop-Anstiegszeit, die für die vorliegende Signalart erforderlich ist, kann folgende Gleichung verwendet werden:

Oszilloskop-Anstiegszeit \leq Schnellste Anstiegszeit des Signals $\times 1/5$

Es ist zu beachten, dass diese Grundlage für die Auswahl der Oszilloskop-Anstiegszeit der für die Bandbreite ähnlich ist. Wie bei der Bandbreite kann diese Faustregel aufgrund der heutigen extremen Signalgeschwindigkeiten nicht immer eingehalten werden. Denken Sie stets daran, dass ein Oszilloskop mit schnellerer Anstiegszeit die wichtigen Details schneller Übergänge genauer erfassen kann.

Bei einigen Anwendungen ist möglicherweise nur die Anstiegszeit eines Signals bekannt. Mithilfe einer Konstanten und der folgenden Gleichung können Sie einen Bezug herstellen zwischen Bandbreite und Anstiegszeit des Oszilloskops:

$$\text{Bandbreite} = \frac{K}{\text{Anstiegszeit}}$$

wobei k ein Wert zwischen 0,35 und 0,45 ist, je nach Form der Frequenzgangkurve und Impulsanstiegszeit des Oszilloskops. Oszilloskope mit einer Bandbreite < 1 GHz haben in der Regel einen Wert von 0,35, während Oszilloskope mit einer Bandbreite > 1 GHz in der Regel einen Wert zwischen 0,40 und 0,45 haben.

Logikfamilie	Typische Signal-Anstiegszeit	Berechnete Signalbandbreite
TTL	2 ns	175 MHz
CMOS	1.5 ns	230 MHz
GTL	1 ns	350 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz
ECL	100 ps	3.5 GHz
GaAs	40 ps	8.75 GHz

Abbildung 47. Einige Logik-Familien erzeugen schnellere Anstiegszeiten als andere.

Wie in Abbildung 47 gezeigt, erzeugen einige Logik-Familien erzeugen schnellere Anstiegszeiten als andere.

Abtastrate

Die Abtastrate – angegeben als Abtastungen pro Sekunde (S/s, Samples per second) – bezieht sich auf die Häufigkeit, mit der ein digitales Oszilloskop eine Momentaufnahme oder eine Abtastung des Signals durchführt; dies entspricht den Frames einer Filmkamera. Je schneller ein Oszilloskop abtastet (d. h. je höher die Abtastrate ist), desto höher ist die Auflösung, desto mehr Details des dargestellten Signals werden erfasst und desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass wichtige Informationen oder Ereignisse verloren gehen (siehe Abbildung 48). Die minimale Abtastrate kann ebenfalls wichtig sein, wenn sich langsam ändernde Signale über einen längeren Zeitraum hinweg untersucht werden sollen. In der Regel ändert sich die dargestellte Abtastrate mit den Änderungen, die mit dem Bedienelement für die Horizontalskala durchgeführt werden, um eine konstante Anzahl von Signalpunkten in dem dargestellten Signaldatensatz beizubehalten.

Wie werden die Anforderungen bezüglich der Abtastrate berechnet? Die verwendete Methode hängt von der Art des zu messenden Signals und der vom Oszilloskop verwendeten Methode der Signalrekonstruktion ab.

Gemäß dem Theorem von Nyquist muss ein Signal mindestens doppelt so schnell wie seine höchste Frequenzkomponente abgetastet werden, damit es genau und ohne Aliasing rekonstruiert werden kann. Dieses Theorem setzt jedoch eine unbegrenzte Speichertiefe und ein kontinuierliches Signal voraus. Da kein Oszilloskop eine unbegrenzte Speichertiefe hat und Glitches per Definition nicht kontinuierlich sind, ist eine Abtastrate, die nur doppelt so hoch ist wie der höchste Frequenzanteil, in der Regel nicht ausreichend.

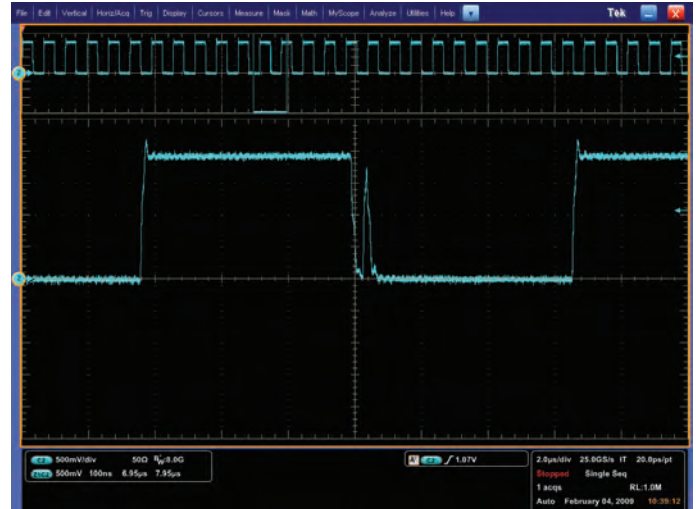


Abbildung 48. Eine höhere Abtastrate liefert eine bessere Signalauflösung und stellt sicher, dass intermittierende Ereignisse dargestellt werden.

In der Praxis hängt eine genaue Signalrekonstruktion sowohl von der Abtastrate als auch von der Interpolationsmethode ab, mit der die Leerräume zwischen den Abtastpunkten aufgefüllt werden. Bei einigen Oszilloskopen können Sie entweder die $\text{Sin}(x)/x$ -Interpolation zum Messen von sinusförmigen Signalen oder die lineare Interpolation für rechteckförmige Signale, Impulse und andere Signaltypen auswählen.

In der Praxis hängt eine genaue Signalrekonstruktion sowohl von der Abtastrate als auch von der Interpolationsmethode ab, mit der die Leerräume zwischen den Abtastpunkten aufgefüllt werden. Bei einigen Oszilloskopen können Sie entweder die $\text{Sin}(x)/x$ -Interpolation zum Messen von sinusförmigen Signalen oder die lineare Interpolation für rechteckförmige Signale, Impulse und andere Signaltypen auswählen.

Einige Mess-Systeme mit Abtastraten von 10 GS/s und Bandbreiten von bis zu 3+ GHz wurden für das Erfassen sehr schneller, transientscher Einzelschussereignisse optimiert. Dazu wird Oversampling bis auf das Fünffache der Bandbreite angewendet.



Abbildung 49. Ein DPO ist ideal geeignet für nicht repetitive Hochgeschwindigkeits- und Mehrkanalanwendungen bei Digitalschaltungen.

Signalerfassungsrate

Alle Oszilloskope arbeiten mit einer bestimmten Messrate. Das heißt, sie „öffnen ihre Augen“ mit einer bestimmten Häufigkeit pro Sekunde, um das Signal zu erfassen, und halten sie dazwischen geschlossen. Dies ist die Signalerfassungsrate, ausgedrückt in Signale pro Sekunde (wfms/s). Die Abtastrate gibt an, wie häufig das Oszilloskop das Eingangssignal innerhalb eines Signals oder Zyklus abtastet, während die Signalerfassungsrate die Geschwindigkeit angibt, mit der ein Oszilloskop Signale erfasst.

Die Signalerfassungsrate kann stark variieren, je nach Art und Leistungsfähigkeit des Oszilloskops. Oszilloskope mit einer hohen Signalerfassungsrate liefern wesentlich bessere Einsicht in das Signalverhalten und vervielfachen damit die Wahrscheinlichkeit, dass transiente Anomalien, wie z. B. Jitter, Runt-Impulse, Glitches und Übergangsfehler, schnell erfasst werden.

Digital-Speicheroszilloskope (DSOs) verwenden eine serielle Verarbeitungsarchitektur zur Erfassung von 10 bis 5.000 Signalen pro Sekunde. Einige DSOs verfügen über einen speziellen Modus, der eine schnelle Erfassung in einzelne Segmente eines langen Speichers bietet, und dadurch temporär eine höhere Signalerfassungsrate gefolgt von langen Verarbeitungs-Totzeiten erzeugt, wodurch die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass intermittierende Ereignisse erfasst werden.

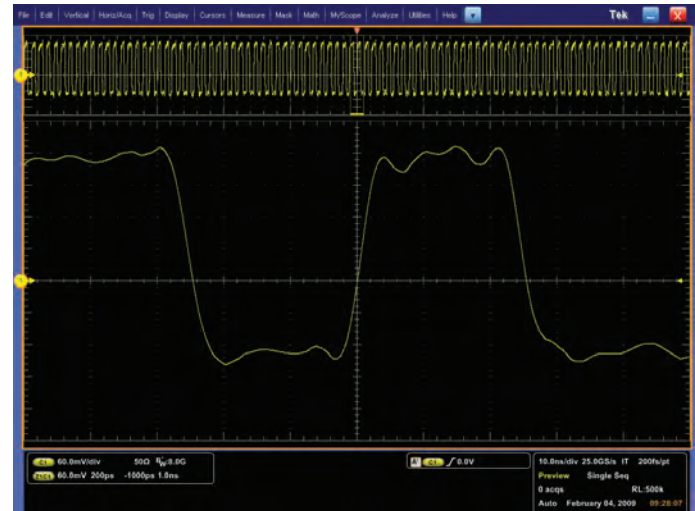


Abbildung 50. Ein DPO ermöglicht eine hervorragende Einsicht in das Signalverhalten, indem es wesentlich höhere Signalerfassungsraten und eine dreidimensionale Darstellung ermöglicht. Dies macht es zum besten Allzweck-Design- und Fehlersuchwerkzeug für einen breiten Anwendungsbereich.

Die meisten Digital-Phosphor-Oszilloskope (DPOs) verwenden eine parallele Verarbeitungsarchitektur, die wesentlich höhere Signalerfassungsraten ermöglicht. Wie Abbildung 49 zeigt, können einige DPOs Millionen von Signalen in Sekundenschnelle erfassen. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit wesentlich erhöht, dass intermittierende und flüchtige Ereignisse erfasst und Probleme im Signal schneller erkannt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Fähigkeit des DPO, drei Dimensionen des Signalverhaltens in Echtzeit zu erfassen – Amplitude, Zeit und Amplitudenverteilung über der Zeit – eine ausgezeichnete Einsicht in das Signalverhalten (siehe Abbildung 50).

Aufzeichnungslänge

Die Aufzeichnungslänge, ausgedrückt als die Anzahl der Punkte, aus denen ein vollständiger Signaldatensatz bestehen kann, bestimmt die Datenmenge, die über jeden Kanal erfasst werden kann. Da ein Oszilloskop nur eine begrenzte Anzahl von Abtastungen speichern kann, ist die Aufnahmedauer (Zeit) umgekehrt proportional zur Abtastrate des Oszilloskops.

$$\text{Aufnahmedauer} = \frac{\text{Aufzeichnungslänge}}{\text{Abtastrate}}$$

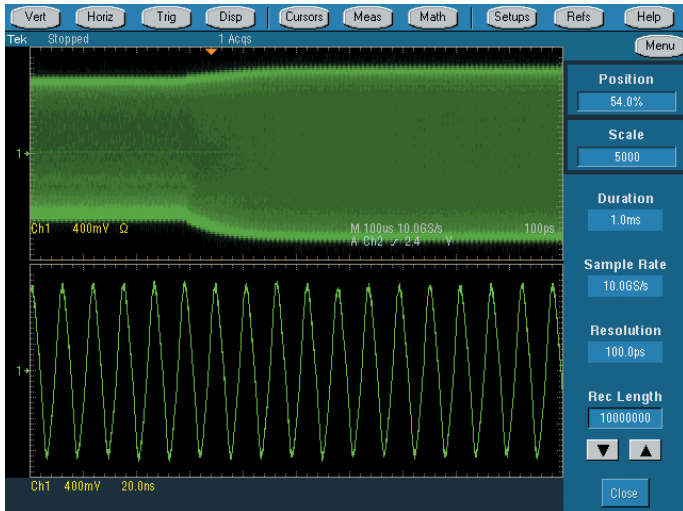


Abbildung 51. Die Erfassung der Hochfrequenzdetails dieses modulierten 85-MHz-Trägers erfordert eine hochauflösende Abtastung (100 ps). Um die komplette Modulationshüllkurve des Signals zu sehen, ist eine lange Zeitdauer (1 ms) erforderlich. Mit einer langen Aufzeichnungslänge (10 MB) kann das Oszilloskop beides darstellen.

Moderne Oszilloskope ermöglichen die Auswahl der Aufzeichnungslänge, um die für eine Anwendung erforderliche Detailerfassung zu optimieren. Wenn Sie ein extrem stabiles sinusförmiges Signal analysieren, kann eine Aufzeichnungslänge von nur 500 Punkten ausreichend sein. Wenn Sie jedoch die Ursachen von Timing-Anomalien in einem komplizierten digitalen Datenstrom isolieren möchten, sind möglicherweise eine Million Punkte oder mehr als Aufzeichnungslänge erforderlich (siehe Abbildung 51).

Triggerfunktionen

horizontale Ablenkung am richtigen Signalpunkt. Dies ist für eine klare Signalcharakterisierung entscheidend. Mithilfe von Trigger-Bedienelementen können repetitive Signale stabilisiert und Einzelschusssignale erfasst werden. Weitere Informationen zu Triggerfunktionen finden Sie im Abschnitt „Trigger“ unter „Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien“.

Effektive Bits

Effektive Bits sind ein Maß für die Fähigkeit eines digitalen Oszilloskops, die Form eines Sinussignals genau zu rekonstruieren. Dabei wird der tatsächliche Fehler des Oszilloskops mit dem eines theoretischen „idealen“ Digitalisierers verglichen. Da die tatsächlichen Fehler Rauschen und Verzerrung enthalten, müssen Frequenz und Amplitude des Signals angegeben werden.

Frequenzgang

Die Bandbreite allein reicht nicht aus, um sicherzustellen, dass ein Oszilloskop ein hochfrequentes Signal genau erfassen kann. Das Ziel bei der Auslegung eines Oszilloskops ist eine bestimmte Art des Frequenzgangs: MFED (Maximally Flat Envelope Delay). Ein Frequenzgang dieser Art liefert eine ausgezeichnete Impulstreue bei minimalem Überspringen und Klingeln. Da ein digitales Oszilloskop aus realen Verstärkern, A/D-Wandlern, Übertragungsverbindungen und Relais besteht, ist MFED-Antwort ein Ziel, das nur annäherungsweise erreicht werden kann. Die Impulstreue variiert beträchtlich je nach Modell und Hersteller.

Vertikalempfindlichkeit

Die vertikale Empfindlichkeit gibt an, wie stark der Vertikalverstärker ein schwaches Signal verstärken kann – in der Regel gemessen in Millivolt (mV) pro Skalenteil. Die kleinste Spannung, die von einem Allzweck-Oszilloskop erkannt werden kann, beträgt in der Regel etwa 1 mV pro vertikalem Bildschirmteil.

Ablenkgeschwindigkeit

Die Ablenkgeschwindigkeit gibt an, wie schnell die Strahlspur über den Oszilloskopbildschirm geführt werden kann, damit feine Details erkannt werden können. Die Ablenkgeschwindigkeit eines Oszilloskops wird in Zeit (Sekunden) pro Skalenteil angegeben.

Verstärkungsgenauigkeit

Die Verstärkungsgenauigkeit gibt an, mit welcher Genauigkeit das Vertikalsystem ein Signal dämpfen oder verstärken kann. In der Regel wird dies als prozentualer Fehler ausgedrückt.

Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis)

Die horizontale Genauigkeit, oder Zeitbasis-Genauigkeit, gibt an, mit welcher Genauigkeit das Horizontalsystem das Timing eines Signals darstellen kann. In der Regel wird dies als prozentualer Fehler ausgedrückt.

Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler)

Die vertikale Auflösung des AD-Wandlers (und damit des digitalen Oszilloskops), gibt an, mit welcher Genauigkeit Eingangsspannungen in Digitalwerte umgewandelt werden können. Die vertikale Auflösung wird in Bit gemessen. Die effektive Auflösung lässt sich durch Berechnungsmethoden verbessern. Ein Beispiel dafür ist der Hi-Res-Erfassungsmodus.

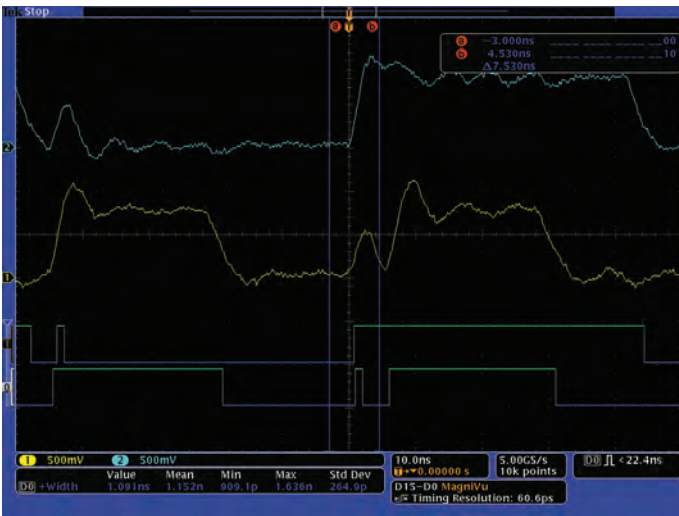


Abbildung 52. Das MSO verfügt über 16 integrierte digitale Kanäle für die Darstellung und Analyse von zeitkorrelierten analogen und digitalen Signalen. Eine Hochgeschwindigkeits-Timing-Erfassung bietet eine höhere Auflösung, sodass auch Ereignisse wie schmale Glitches sichtbar werden.

Timing-Auflösung (MSO)

Eine wichtige Kenngröße eines Mixed-Signal-Oszilloskops ist die für die Erfassung digitaler Signale mögliche zeitliche Auflösung. Je besser die zeitliche Auflösung bei der Erfassung eines Signals ist, desto genauer können die Zeitpunkte der Signaländerungen erfasst werden. Beispielsweise hat eine mit 500 Ms/s durchgeführte Erfassung eine Timing-Auflösung von 2 ns, und die Unsicherheit bei der Erfassung der Signalflanke beträgt 2 ns. Bei einer kleineren Timing-Auflösung von 60,6 ps (16,5 GS/s) verringert sich die Unsicherheit bei der Erfassung der Signalflanke auf 60,6 ps, und schnellere Signaländerungen können erfasst werden. Einige MSOs ermöglichen die Erfassung von digitalen Signalen in zwei Erfassungsmodi gleichzeitig. Die erste Erfassung erfolgt mit standardmäßiger Timing-Auflösung, die zweite Erfassung erfolgt mit einer Hochgeschwindigkeitsauflösung. Die Standardauflösung wird über eine längere Aufzeichnungslänge verwendet, während die Hochgeschwindigkeits-Timing-Erfassung eine höhere Auflösung in einem schmalen Untersuchungsbereich bietet (siehe Abbildung 52).

Anschlüsse

Messergebnisse zu analysieren, ist nach wie vor von größter Wichtigkeit. Informationen und Messergebnisse einfach und häufig zu dokumentieren und mit anderen auszutauschen, wird ebenfalls immer wichtiger. Die Konnektivität eines Oszilloskops ermöglicht fortgeschrittene Analysefunktionen und vereinfacht die Dokumentation und den Austausch von Ergebnissen. Wie Abbildung 53 zeigt, können einige Oszilloskope über standardmäßige Schnittstellen (GPIB, RS-232, USB, Ethernet) und Netzwerkkommunikations-Module eine Vielfalt an Funktionen und Bedienungsmöglichkeiten bieten.

Mit einigen hoch entwickelten Oszilloskopen können Sie zudem folgende Aufgaben ausführen:



Abbildung 53. Moderne Oszilloskope verfügen über eine Vielfalt von Kommunikationsschnittstellen, wie z. B. einen standardmäßigen Centronics-Anschluss und optionale Ethernet/RS-232-, GPIB/RS-232- und VGA/RS-232-Module. Auf dem vorderen Bedienfeld befindet sich sogar ein USB-Anschluss (nicht dargestellt).



Abbildung 54. Analyse-Softwarepakete wurden speziell für die Anforderungen von Jitter- und Augendiagramm-Messungen bei modernen Hochgeschwindigkeits-Digitalschaltungen konzipiert.

- Erstellen, Bearbeiten und Freigeben von Unterlagen direkt mit dem Oszilloskop – während Sie mit dem Messgerät an Ihrem Arbeitsplatz arbeiten
- Zugreifen auf Netzwerkdruck und Dateifreigabe-Ressourcen
- Zugreifen auf den Windows®-Desktop
- Ausführen von Analyse- und Dokumentationssoftware anderer Hersteller
- Verbindungsherstellung mit Netzwerken
- Zugreifen auf das Internet
- Senden und Empfangen von E-Mail

Erweiterbarkeit

Ein Oszilloskop sollte Ihre Anforderungen auch dann erfüllen können, wenn sich diese ändern. Mit einigen Oszilloskopen können Sie folgende Aufgaben ausführen:



Abbildung 55. Die serielle Busanalyse wird durch automatisierte Triggerng, Dekodierung und Suche im Kontext serieller Pakete beschleunigt.

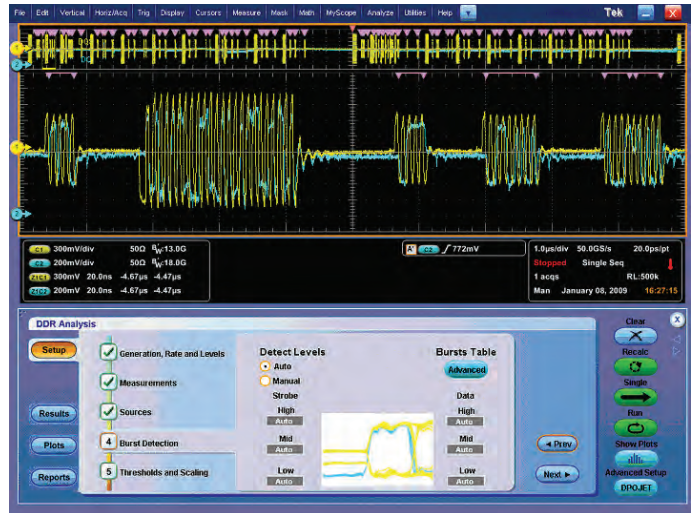


Abbildung 57. Fortschrittliche DDR-Analysertools automatisieren komplexe Speicheraufgaben wie das Separieren von Lese- oder Schreib-Bursts und die Durchführung von JEDEC-Messungen.

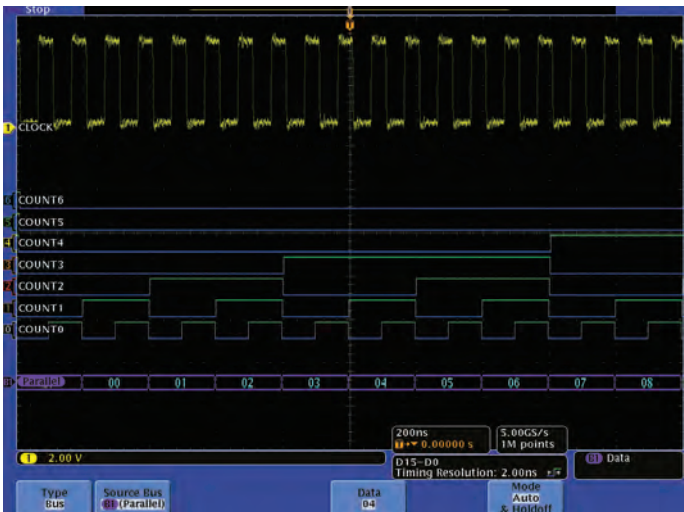


Abbildung 56. Automatische Triggerng, Dekodierung und Suche in getakteten oder ungetakteten Daten von Parallelbussen.

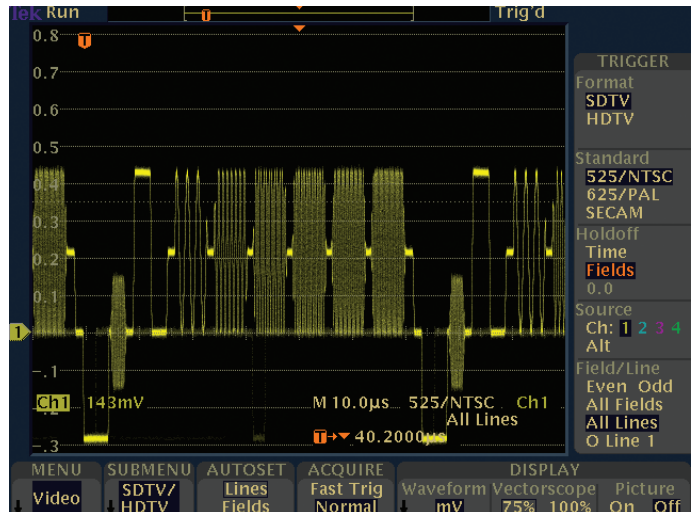


Abbildung 58. Video-Anwendungsmodule machen das Oszilloskop zu einem schnellen vielseitigen Gerät für die Video-Fehlersuche.

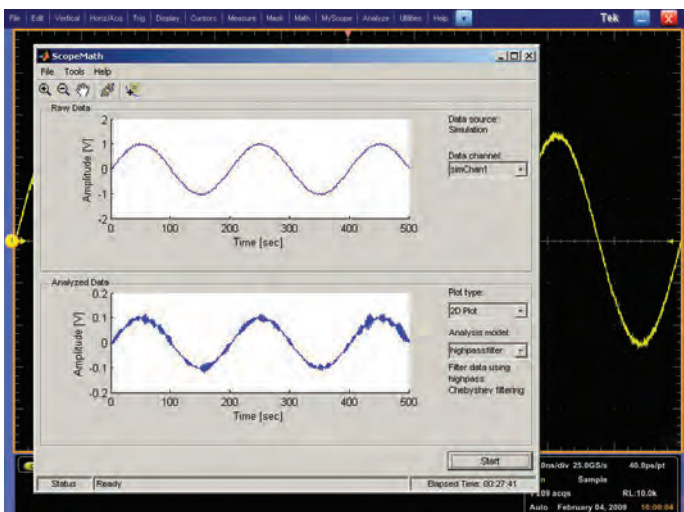


Figure 59. Hoch entwickelte Analyse- und Produktivitätssoftware, wie z. B. MATLAB®, kann in Windows-basierten Oszilloskopen installiert werden, um lokale Signalanalysen durchzuführen.

- Kanäle Speicher hinzufügen, um größere Speichertiefen zu analysieren
- Anwendungsspezifische Messfunktionen hinzufügen
- Die Leistungsfähigkeit des Oszilloskops durch eine umfassende Auswahl an Tastköpfen und Modulen ergänzen
- Mit gängiger, Windows-kompatibler Analyse- und Produktionssoftware anderer Hersteller arbeiten
- Zubehör, wie Akkusätze und Einbaurahmen, hinzufügen

Mit Anwendungsmodulen und Software können Sie das Oszilloskop in ein hochspezialisiertes Analysegerät verwandeln, das Aufgaben wie Jitter- und Timing-Analyse, Mikroprozessor-Speichersystemprüfung, Überprüfung der Kommunikationsstandards, Festplattenlaufwerksmessungen, Videomessungen, Leistungsmessungen und vieles mehr durchführen kann. Die Abbildungen 54 - 59 zeigen einige dieser Beispiele.



Abbildung 60. Konventionelle analoge Drehknöpfe zum Einstellen von Position, Skala, Intensität usw. – mit der erwarteten Genauigkeit.

Einfache Bedienung

Die Bedienung von Oszilloskopen sollte leicht zu erlernen und einfach sein, damit Sie Ihre Arbeit mit höchster Effizienz und Produktivität bewältigen können. Damit Sie sich auf Ihre Untersuchungen konzentrieren können und sich nicht auf die Bedienung des Messgeräts konzentrieren müssen. So wie es nicht den typischen Autofahrer gibt, gibt es auch nicht den typischen Oszilloskopbenutzer. Gleichgültig, ob Sie bei Ihrem Messgerät eine konventionelle Oberfläche oder eine Windows®-Benutzeroberfläche vorziehen – wichtig ist eine flexible Oszilloskop-Bedienung.

Viele Oszilloskope bieten einen Kompromiss zwischen Leistung und Einfachheit, indem der Benutzer viele verschiedene Möglichkeiten hat, das Messgerät zu bedienen. Das vordere Bedienfeld (Abbildung 60) enthält ausgewiesene Bedienelemente im Vertikal-, Horizontal- und Trigger-Bereich. Eine grafische Benutzeroberfläche mit zahlreichen Symbolen (Abbildung 61) erleichtert das Verständnis und die intuitive Verwendung erweiterter Funktionen.

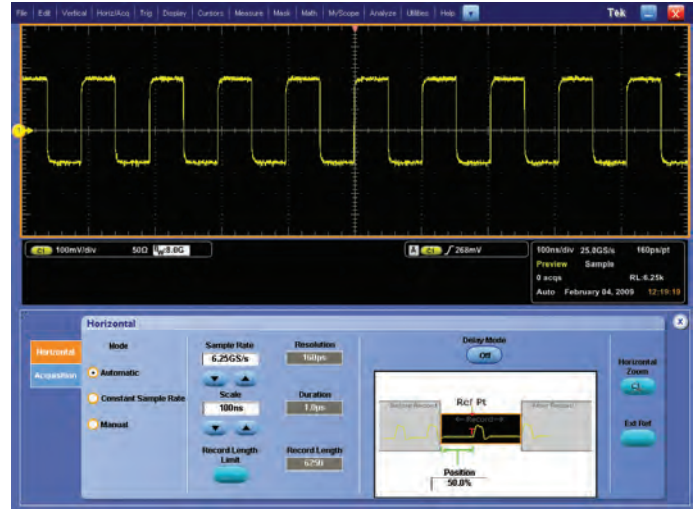


Abbildung 61. Die grafischen Bedienfenster ermöglichen den einfachen und zuverlässigen Zugriff auf die fortgeschrittensten Funktionen.

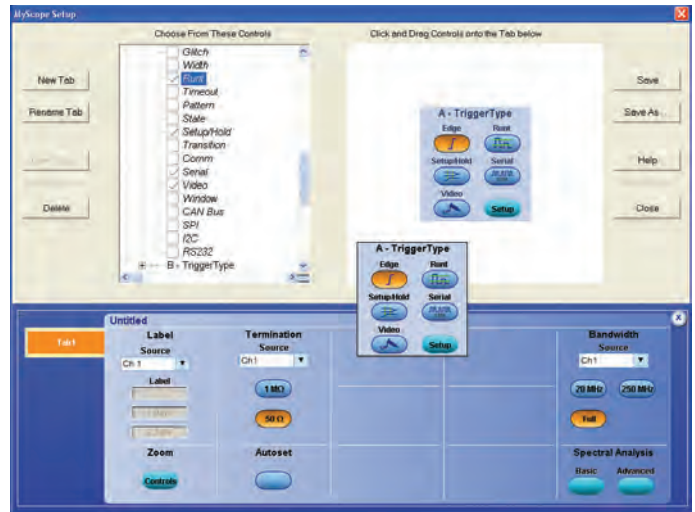


Abbildung 62. Der berührungsempfindliche Touchscreen löst die Probleme überladener Arbeitstische und -wagen und bietet gleichzeitig Zugriff auf eindeutige Bildschirmschaltflächen.

Berührungsempfindliche Touch-Displays lösen die Probleme überladener Arbeitstische und -wagen und bieten gleichzeitig den Zugriff auf eindeutige Bildschirmschaltflächen (siehe Abbildung 62). Die Online-Hilfe umfasst ein benutzerfreundliches integriertes Referenzhandbuch. Die intuitiven Bedienelemente geben selbst dem gelegentlichen Oszilloskop-Benutzer das nötige Selbstvertrauen, während sie gleichzeitig dem Vollzeitbenutzer den leichten Zugang zu den fortgeschrittensten Funktionen des Oszilloskops ermöglichen. Darüber hinaus sind viele Oszilloskope tragbar (siehe Abbildung 63) und können dadurch in vielen verschiedenen Arbeitsumgebungen, sei es im Labor oder vor Ort, effizient eingesetzt werden.



Abbildung 63. Tragbare Oszilloskope können vielen Arbeitsumgebungen effizient eingesetzt werden.

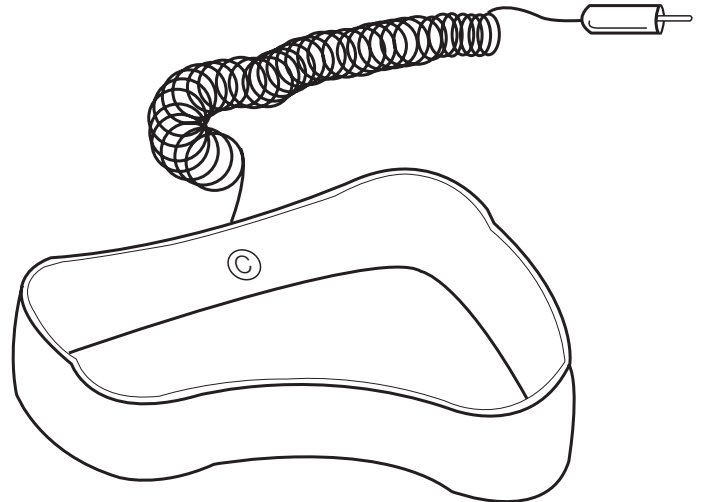


Abbildung 64. Typisches Erdungsband für das Handgelenk.

Bedienung des Oszilloskops

Dieser Abschnitt gibt eine kurze Beschreibung der Vorbereitung und ersten Verwendung eines Oszilloskops – insbesondere, wie Sie das Oszilloskop und sich selbst ordnungsgemäß erden, die Bedienelemente einstellen, das Oszilloskop kalibrieren, die Tastköpfe anschließen und die Tastköpfe kompensieren.

Die ordnungsgemäße Erdung ist ein wichtiger Schritt, wenn Messungen oder Arbeiten an Schaltungen durchgeführt werden sollen. Die ordnungsgemäße Erdung des Oszilloskops schützt Sie vor gefährlichen Stromschlägen. Ihre eigene Erdung wiederum schützt Ihre Schaltungen vor Schäden.

Ordnungsgemäße Erdung

Die ordnungsgemäße Erdung des Oszilloskops bedeutet, es an einen elektrisch neutralen Bezugspunkt anzuschließen, z. B. an Erde (Masse). Erden Sie das Oszilloskop, indem Sie das Netzkabel an eine ordnungsgemäß geerdete Steckdose anschließen.

Die Erdung des Oszilloskops ist aus Sicherheitsgründen erforderlich. Wenn das Gehäuse eines nicht geerdeten Oszilloskops – ein beliebiger Teil des Gehäuses, einschließlich der scheinbar isolierten Drehknöpfe – mit Hochspannung in Kontakt kommt, können Sie einen elektrischen Schlag erhalten. Bei einem ordnungsgemäß geerdeten Oszilloskop wird der Strom jedoch durch den Erdungsleiter (und nicht durch Ihren Körper) in den Erdboden abgeleitet.

Die Erdung ist zudem notwendig, um genaue Messungen mit dem Oszilloskop durchführen zu können. Das Oszilloskop muss auf gleichem Potenzial liegen wie die zu prüfenden Schaltungen.

Einige Oszilloskope erfordern keinen separaten Anschluss an Erde oder Masse. Diese Oszilloskope verfügen über isolierte Gehäuse und Bedienelemente, die den Benutzer vor einem möglichen Stromschlag schützen.

Auch wenn Sie mit integrierten Schaltungen (ICs) arbeiten, müssen Sie sich selbst erden. Integrierte Schaltungen haben winzige Leiterpfade, die durch statische Elektrizität beschädigt werden können, die sich in Ihrem Körper aufbaut. Sie können einen teuren IC zerstören, wenn Sie einfach über einen Teppichboden laufen oder einen Pullover ausziehen und anschließend die Anschlüsse des IC berühren. Um dieses Problem zu lösen, sollten Sie ein Erdungsband tragen, wie in Abbildung 64 gezeigt. Dieses Erdungsband leitet statische Ladungen an Ihrem Körper sicher in den Erdboden ab.

Einstellen der Bedienelemente

Sehen Sie sich das vordere Bedienfeld an, nachdem Sie das Oszilloskop an die Stromversorgung angeschlossen haben. Wie weiter oben beschrieben, ist das vordere Bedienfeld in der Regel in drei Hauptabschnitte unterteilt, die als „Vertikal“, „Horizontal“ und „Trigger“ gekennzeichnet sind. Je nach Modell und Typ kann Ihr Oszilloskop zudem über weitere Abschnitte verfügen.

Beachten Sie die Eingangsanschlüsse am Oszilloskop – dort werden die Tastköpfe angeschlossen. Die meisten Oszilloskope verfügen über mindestens zwei Eingangskanäle.

wobei jeder Kanal ein Signal auf dem Bildschirm darstellen kann. Mehrere Kanäle sind zum Vergleichen von Signalen nützlich. Wie bereits erwähnt, verfügen MSOs auch über digitale Eingänge

Einige Oszilloskope verfügen über die Tasten AUTOSET und/oder STANDARD, mit denen die Bedienelemente in einem Schritt für die Erfassung eines Signals eingerichtet werden können. Wenn Ihr Oszilloskop über diese Funktion nicht verfügt, sollten Sie die Bedienelemente vor Beginn der Messungen auf die Standardeinstellungen bringen.

Nachstehend finden Sie allgemeine Anweisungen zur manuellen Einstellung des Oszilloskops auf die Standardeinstellungen:

- Schalten Sie Kanal 1 am Oszilloskop ein.
- Stellen Sie die vertikalen Volt/Div-Skala- und Positions-Bedienelemente auf mittlere Position ein.
- Schalten Sie variable Volt/Div aus.
- Schalten Sie alle Vergrößerungseinstellungen aus.
- Stellen Sie die Eingangskopplung für Kanal 1 auf DC ein.
- Stellen Sie den Triggermodus auf Automatisch ein.
- Stellen Sie die Triggerquelle auf Kanal 1 ein.
- Stellen Sie Trigger-Holdoff auf den Minimalwert ein oder aus.
- Stellen Sie die horizontalen Zeit/Div- und Positions-Bedienelemente auf mittlere Position ein.
- Stellen Sie Volt/Div für Kanal 1 so ein, dass das Signal möglichst viele der zehn vertikalen Skalenteile ohne Abschneiden oder Signalverzerrung belegt.

Kalibrieren des Geräts

Zusätzlich zur ordnungsgemäßen Einrichtung des Oszilloskops wird eine periodische Eigenkalibrierung empfohlen, um genaue Messungen zu erhalten. Eine Kalibrierung sollte durchgeführt werden, wenn sich die Umgebungstemperatur seit der letzten Eigenkalibrierung um mehr als 5° C geändert hat, oder einmal wöchentlich. Im Oszilloskop-Menü ist kann dies manchmal unter dem Menüpunkt „Eigenkalibrierung“ eingestellt werden. Ausführlichere Anweisungen finden Sie in dem mit dem Oszilloskop gelieferten Handbuch.

Anschließen der Tastköpfe

Nun können Sie einen Tastkopf an das Oszilloskop anschließen. Ein gut auf das Oszilloskop abgestimmter Tastkopf ermöglicht Ihnen, das gesamte Leistungsspektrum des Oszilloskops zu nutzen, und stellt die Integrität des gemessenen Signals sicher.

Zum Messen eines Signals sind zwei Anschlüsse erforderlich: der Anschluss an der Tastkopfspitze und der Erdungsanschluss. Tastköpfe werden häufig mit einer Klemme zur Erdung des Tastkopfs gegenüber der zu prüfenden Schaltung geliefert. In der Praxis wird die Erdungsklemme an einem bekannten Erdungspunkt in der Schaltung, wie z. B. dem Metallgehäuse eines zu reparierenden Produkts, angeschlossen. Anschließend wird mit der Tastkopfspitze ein Prüfpunkt in der Schaltung berührt.

Kompensation der Tastköpfe

Passive, gedämpfte Spannungstastköpfe müssen mit dem Oszilloskop abgeglichen (kompensiert) werden. Ein passiver Tastkopf muss vor der Verwendung kompensiert werden, d. h. seine elektrischen Eigenschaften müssen mit einem bestimmten Oszilloskop abgeglichen werden.

Machen Sie es sich zur Gewohnheit, den Tastkopf jedes Mal zu kompensieren, wenn Sie das Oszilloskop vorbereiten. Ein schlecht abgestimmter Tastkopf kann zu ungenauen Messungen führen. Abbildung 65 veranschaulicht die Auswirkungen eines schlecht kompensierten Tastkopfs auf ein 1-MHz-Prüfsignal.

Bei den meisten Oszilloskopen ist an einer Klemme am vorderen Bedienfeld ein rechteckförmiges Referenzsignal verfügbar, mit dem der Tastkopf kompensiert werden kann. Nachstehend finden Sie allgemeine Anweisungen zum Kompensieren des Tastkopfs:

- Schließen Sie den Tastkopf an einen Vertikalkanal an.
- Verbinden Sie die Tastkopfspitze mit der Tastkopfkomensation, d. h. dem rechteckförmigen Referenzsignal.
- Verbinden Sie die Erdungsklemme des Tastkopfs mit der Erdung.
- Zeigen Sie das rechteckförmige Referenzsignal an.
- Nehmen Sie die entsprechenden Einstellungen am Tastkopf vor, sodass die Ecken des Rechtecksignals tatsächlich einen rechten Winkel bilden.

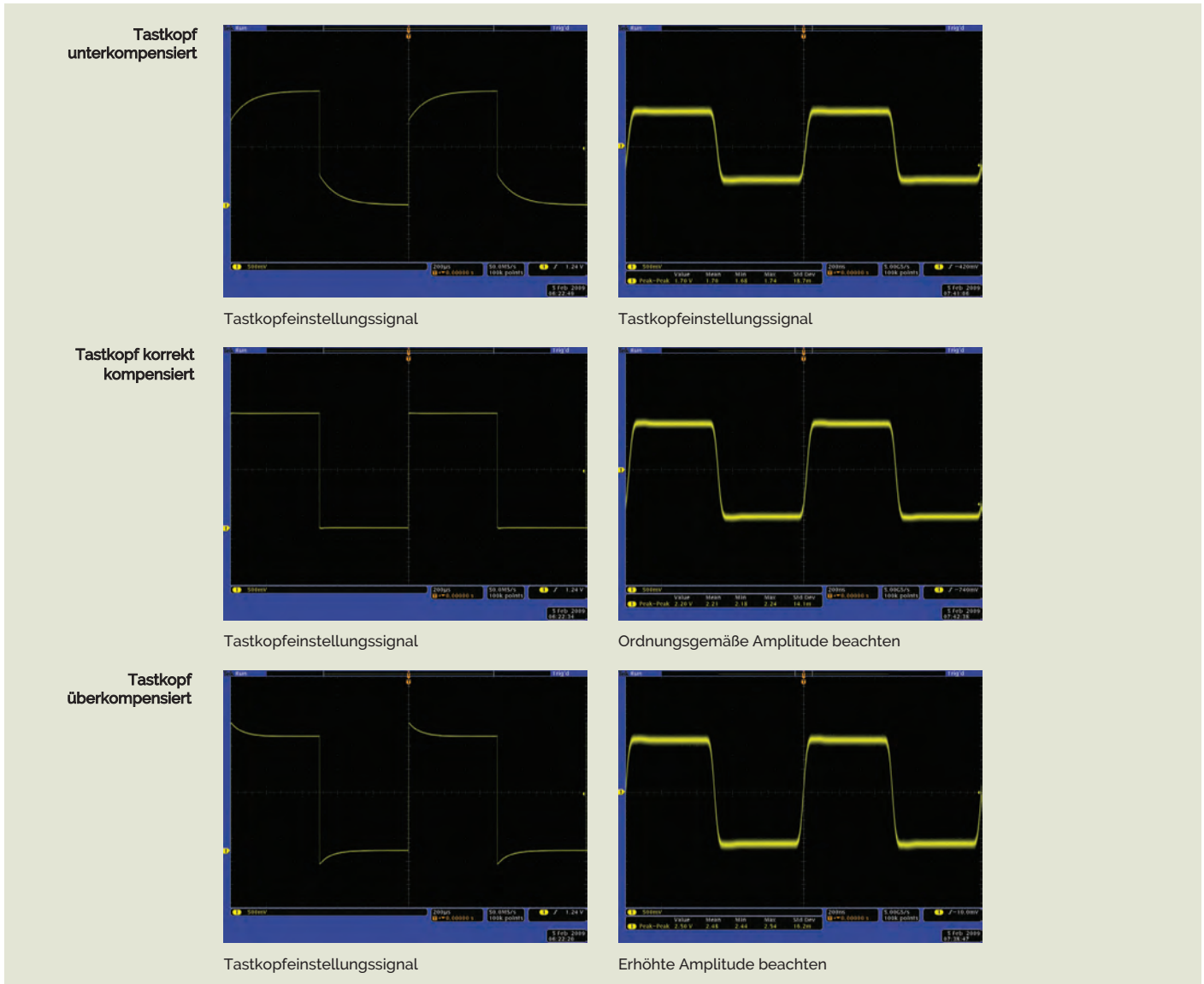


Abbildung 65. Auswirkungen einer unzureichenden Tastkopfkompensation

Wenn Sie den Tastkopf kompensieren, müssen Sie alle Zubehörspitzen, die verwendet werden sollen, anbringen und den Tastkopf an den Vertikalkanal anschließen, den Sie verwenden wollen. Dadurch wird sichergestellt,

dass das Oszilloskop die gleichen elektrischen Eigenschaften wie bei der Durchführung der Messungen hat.

Oszilloskop-Messverfahren

In diesem Abschnitt werden grundlegende Messverfahren erläutert. Die zwei grundlegendsten Messungen, die mit dem Oszilloskop durchgeführt werden, sind Spannungs- und Zeitmessungen. Nahezu alle anderen Messungen basieren auf einem dieser beiden grundlegenden Messverfahren.

In diesem Abschnitt werden die Methoden zur visuellen Durchführung von Messungen auf dem Oszilloskop-Bildschirm beschrieben. Dies ist ein bei analogen Messgeräten übliches Verfahren, das auch bei der „Schnellinterpretation“ von Darstellungen bei digitalen Oszilloskopen hilfreich sein kann.

Beachten Sie, dass die meisten digitalen Oszilloskope über automatisierte Messwerkzeuge verfügen, die allgemeine Analyseaufgaben vereinfachen und beschleunigen und dadurch die Zuverlässigkeit der Messungen verbessern. Wenn Sie jedoch wissen, wie Messungen manuell durchgeführt werden, wie es hier beschrieben wird, erleichtert dies das Verständnis und die Prüfung der automatischen Messungen.

Spannungsmessungen

Die Spannung ist die Größe des elektrischen Potentials, oder die Signalstärke, zwischen zwei Punkten in einem Schaltkreis. Üblicherweise ist einer dieser Punkte die Masse bzw. Nullspannung, jedoch nicht immer. Spannungen können auch Spitze-Spitze gemessen werden, d. h. vom Maximum zum Minimum eines Signals. Sie müssen genau angeben, welche Spannung gemessen werden soll.

Das Oszilloskop ist in erster Linie ein Gerät zur Spannungsmessung. Nachdem die Spannung gemessen wurde, können andere Größen leicht berechnet werden. Das Ohm'sche Gesetz besagt beispielsweise, dass die Spannung zwischen zwei Punkten in einer Schaltung gleich dem Produkt aus Stromstärke und Widerstand ist. Mit zwei dieser Größen können Sie die jeweils dritte anhand dieser Formel berechnen:

$$\text{Spannung} = \text{Stromstärke} \times \text{Widerstand}$$

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$$

$$\text{Widerstand} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Stromstärke}}$$

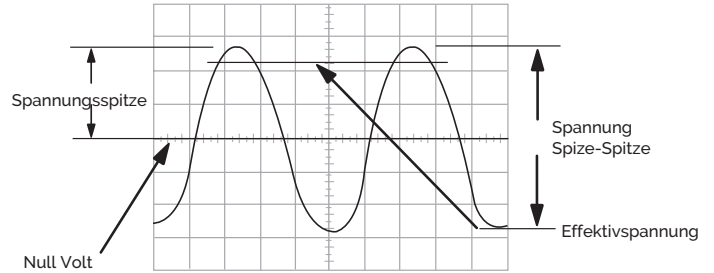


Abbildung 66 Spannungsspitze (V_p) und Spitze-Spitze-Spannung (V_{p-p})

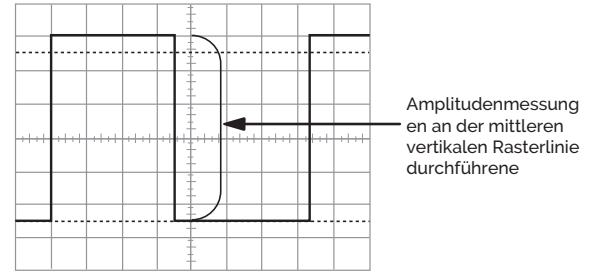
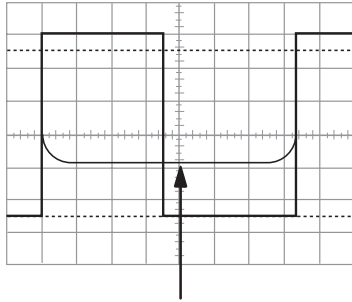


Abbildung 67 Spannungsmessung an der mittleren vertikalen Rasterlinie.

Eine weitere hilfreiche Formel ist die Leistungsgleichung, nach der die Leistung eines Gleichstromsignals gleich dem Produkt aus Spannung und Stromstärke ist. Bei Wechselstromsignalen sind die Berechnungen etwas komplizierter. Der Hauptpunkt ist hier jedoch, dass die Spannungsmessung der erste Schritt zur Berechnung anderer Größen ist. Abbildung 66 zeigt die Spannung einer Spitze (V_p) und die Spitze-Spitze-Spannung (V_{p-p}).

Die einfachste Methode der Spannungsmessung besteht darin, die Anzahl der Skalenteile zu zählen, über die sich ein Signal auf der vertikalen Skala des Oszilloskops erstreckt. Wenn das Signal so eingestellt wird, dass es in vertikaler Richtung den Großteil des Bildschirms einnimmt, ergibt dies die besten Spannungsmessungen (siehe Abbildung 67). Je mehr Bildschirmfläche verwendet wird, desto genauer kann der Messwert abgelesen werden.

Viele Oszilloskope verfügen über Cursor, mit denen Signalmessungen automatisch durchgeführt werden können, ohne dass Rasterstriche gezählt werden müssen. Ein Cursor ist einfach eine Linie, die über den Bildschirm bewegt werden kann. Zwei horizontale Cursorlinien können nach oben und unten verschoben werden, um die Amplitude eines Signals für Spannungsmessungen einzugrenzen; zwei vertikale Linien lassen sich für Zeitmessungen nach rechts und links verschieben. Eine Messwertanzeige zeigt die Spannung oder Zeit an ihren Positionen an.



Zeitmessungen an der mittleren horizontalen Rasterlinie durchführen.

Abbildung 68. Zeitmessung an der mittleren horizontalen Rasterlinie.

Zeit- und Frequenzmessungen

Zeitmessungen können anhand der horizontalen Skala des Oszilloskops durchgeführt werden. Zeitmessungen umfassen das Messen der Periode und Impulsbreite von Impulsen. Die Frequenz ist der Reziprokwert der Periode, d. h. wenn Sie den Wert der Periode kennen, erhalten Sie die Frequenz, indem Sie Eins durch die Periode dividieren. Wie Spannungsmessungen sind auch Zeitmessungen genauer, wenn Sie den Teil des Signals, der gemessen werden soll, so einstellen, dass er auf dem Bildschirm eine möglichst große Fläche einnimmt (siehe Abbildung 68).

Impulsbreiten- und Anstiegszeitmessungen

In vielen Anwendungen sind die Details einer Impulsform wichtig. Impulse können verzerrt werden und in einer digitalen Schaltung Fehlfunktionen verursachen. Außerdem ist das Timing von Impulsen in einer Impulsfolge häufig von großer Bedeutung.

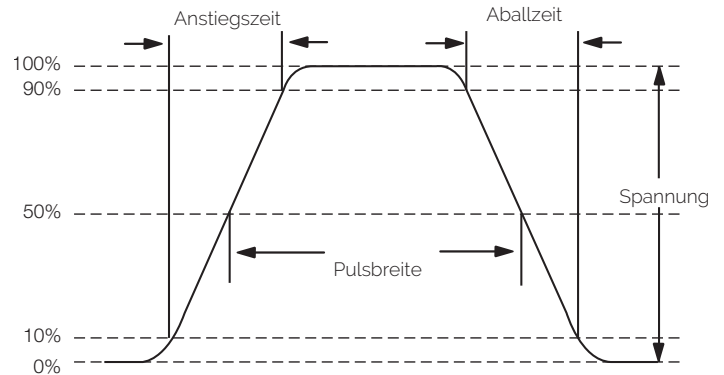


Abbildung 69. Anstiegszeit- und Impulsbreiten-Messpunkte.

Das Messen der Impulsanstiegszeit und Impulsbreite sind standardmäßige Impulsmessungen. Die Anstiegszeit ist die Zeit, die ein Impuls benötigt, um von einem niedrigen auf einen hohen Spannungspegel zu wechseln. Gemäß Definition wird die Anstiegszeit zwischen 10 % und 90 % der vollen Spannung des Impulses gemessen. Dadurch werden Unregelmäßigkeiten an den Übergangflanken des Impulses eliminiert. Die Impulsbreite ist die Zeit, die ein Impuls benötigt, um von einem niedrigen auf einen hohen Spannungspegel und wieder zurück zu wechseln. Gemäß Definition wird die Impulsbreite bei 50 % der vollen Spannung gemessen. Abbildung 69 veranschaulicht diese Messpunkte

Impulsmessungen erfordern häufig eine Feineinstellung des Triggers. Wenn Sie die Erfassung von Impulsen perfekt beherrschen möchten, sollten Sie lernen, wie Trigger-Holdoff verwendet wird und wie das digitale Oszilloskop zum Erfassen von Vortriggerdaten eingesetzt wird, wie im Abschnitt „Die Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops“ beschrieben. Die horizontale Vergrößerung ist eine weitere hilfreiche Funktion zum Messen von Impulsen, da damit feine Details eines schnellen Impulses sichtbar gemacht werden können.

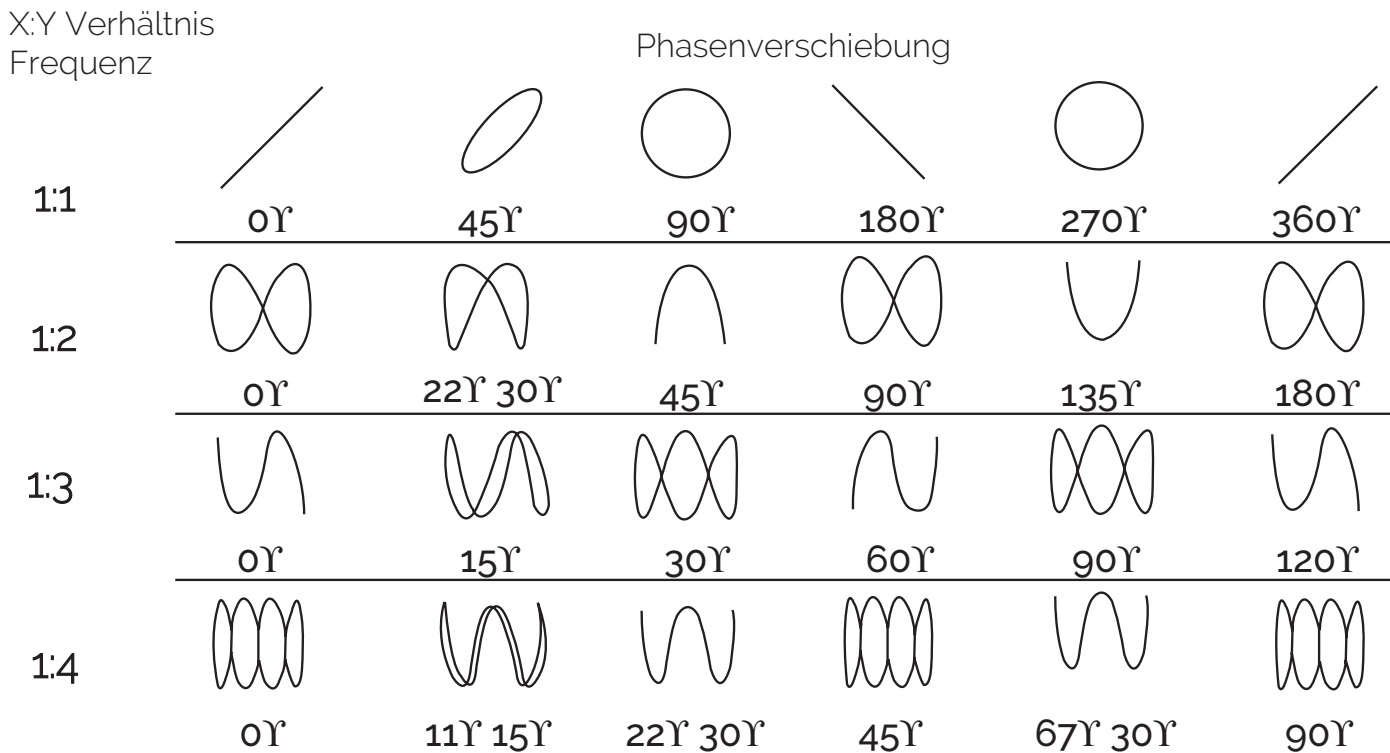


Abbildung 70. Lissajous-Figuren.

Phasenverschiebungsmessungen

Eine Methode zur Messung von Phasenverschiebungen – dem Timing-Unterschied zwischen zwei ansonsten identischen periodischen Signalen – ist die Verwendung des XY-Modus. Bei diesem Messverfahren wird ein Signal wie gewöhnlich in das Vertikal-System eingespeist, anschließend wird ein weiteres Signal in das Horizontal-System eingespeist. Dies wird als XY-Messung bezeichnet, da sowohl auf der X-Achse als auch auf der Y-Achse Spannungen verfolgt werden. Der bei dieser Anordnung erzeugte Kurvenzug wird Lissajous-Figur genannt (benannt nach dem französischen Physiker Jules Antoine Lissajous). An der Form der Lissajous-Figur kann der Phasenunterschied zwischen zwei Signalen abgelesen werden. Auch deren Frequenzverhältnis kann abgelesen werden. Abbildung 70 zeigt Lissajous-Figuren für verschiedene Frequenzverhältnisse und Phasenverschiebungen.

Die XY-Messtechnik wurde ursprünglich bei analogen Oszilloskopen angewendet. DSOs können Probleme mit der Erzeugung von XY-Darstellungen in Echtzeit haben. Einige DSOs erzeugen ein XY-Bild, indem sie getriggerte Datenpunkte über einen Zeitraum sammeln und dann zwei Kanäle als XY-Darstellung ausgeben.

DPOs hingegen können ein echtes XY-Modus-Bild in Echtzeit erfassen und darstellen, indem sie dazu einen fortlaufenden Strom digitalisierter Daten verwenden. DPOs können zudem ein XYZ-Bild mit Helligkeitsmodulierten Flächen darstellen. Im Gegensatz zu XY-Darstellungen auf DSOs und DPOs sind diese Darstellungen auf analogen Oszilloskopen in der Regel auf einige wenige Megahertz Bandbreite begrenzt.

Andere Messverfahren

In diesem Abschnitt werden grundlegende Messverfahren erläutert. Andere Messverfahren umfassen das Vorbereiten des Oszilloskops zum Prüfen elektrischer Komponenten in einer Fertigungsstraße, das Erfassen flüchtiger transienter Signale und vieles mehr. Welche Messverfahren Sie verwenden, hängt von Ihrem Anwendungsfall ab. Sie verfügen jetzt aber über ausreichende Grundlagen, um mit den Messungen beginnen zu können. Üben Sie den Umgang mit Ihrem Oszilloskop und lesen Sie weitere Informationen. Schon bald werden Sie mit seiner Bedienung vertraut sein.

Schriftliche Übungen

Dieser Abschnitt enthält schriftliche Übungen, die sich auf die Informationen in diesem Einführungshandbuch beziehen. Die Übungen sind in zwei Teile gegliedert, Teil I und Teil II, jeweils mit Vokabular- und Anwendungsübungen.

Überprüfen Sie, wie gut Sie sich die Informationen in diesen Abschnitten gemerkt haben. Vergleichen Sie dazu Ihre Antworten mit dem Schlüssel am Ende dieses Abschnitts auf Seite 55.

Teil I bezieht sich auf Informationen in folgenden Abschnitten:

- Das Oszilloskop
- Oszilloskop-Terminologie und -Auswahlkriterien

Teil II bezieht sich auf Informationen in folgenden Abschnitten:

- Systeme und Bedienelemente eines Oszilloskops
- Bedienung des Oszilloskops
- Andere Messverfahren

Teil I A: Vokabularübung

Schreiben Sie den Buchstaben der Definitionen in der rechten Spalte neben den richtigen Begriff in der linken Spalte.

Begriff	Definition
1. ___ Erfassung	A Die Einheit der elektrischen Potentialdifferenz.
2. ___ Analog	B Ein Leistungskriterium, das die Genauigkeit eines AD-Wandlers gemessen in Bit angibt.
3. ___ Bandbreite	C Ein Begriff, der sich auf Gradangaben innerhalb der Periode eines Signals bezieht.
4. ___ Digital Phosphor	D Die Anzahl der Wiederholungen eines Signals in einer Sekunde.
5. ___ Frequenz	E Die Zeit, in der ein Zyklus vollständig durchlaufen wird.
6. ___ Glitch	F Ein gespeicherter Digitalwert, der die Spannung eines Signals zu einem bestimmten Zeitpunkt darstellt.
7. ___ Periode	G Eine gängige Signalform mit einer ansteigenden Flanke, einer Breite und einer abfallenden Flanke.
8. ___ Phase	H Ein Leistungskriterium, das die Geschwindigkeit der ansteigenden Flanke eines Impulses angibt.
9. ___ Puls	I Oszilloskop-Schaltung, die das Timing der Ablenkung steuert.
10. ___ Signalpunkt	J Eine intermittierende Spitze in einer Schaltung.
11. ___ Anstiegszeit	K Ein von einem Oszilloskop gemessenes Signal, das nur einmal auftritt.
12. ___ Abtastpunkt	L Der Oszilloskop-Vorgang zum Sammeln von Abtastpunkten aus dem AD-Wandler, deren Verarbeitung und Speicherung im Oszilloskop-Speicher.
13. ___ Digitale Speicherung	M Arbeitet mit kontinuierlich sich ändernden Werten.
14. ___ Zeitbasis	N Digitales Oszilloskop, das drei Dimensionen der Signalinformation in Echtzeit erfasst.
15. ___ Transienten	O Digitales Oszilloskop mit serieller Verarbeitung.
16. ___ AD-Wandler-Auflösung	P Frequenzbereich eines Sinussignals, definiert durch den -3 dB-Punkt.
17. ___ Volt	Q Die unbearbeiteten Daten aus einem AD-Wandler, mit denen Signale berechnet und dargestellt werden.

Teil I B: Anwendungsübung

Kreisen Sie die beste(n) Antwort(en) für jede Aussage ein. Für einige Aussagen gibt es mehr als eine richtige Antwort.

1. **Mit einem Oszilloskop können Sie:**
 - a. Die Frequenz eines Signals berechnen
 - b. Fehlerhafte elektrische Komponenten suchen.
 - c. Signaldetails analysieren.
 - d. Alle obigen Aussagen.
2. **Der Unterschied zwischen analogen und digitalen Oszilloskopen ist:**
 - a. Analoge Oszilloskope haben keine Bildschirmmenüs.
 - b. Analoge Oszilloskope tragen die Mess-Spannung direkt auf das Anzeigesystem auf, während digitale Oszilloskope die Spannung zuerst in Digitalwerte umwandeln.
 - c. Analoge Oszilloskope messen analoge Signale, während digitale Oszilloskope Ziffern messen.
 - d. Analoge Oszilloskope haben kein Erfassungssystem.
3. **Das Vertikal-System eines Oszilloskops hat die folgende Funktion:**
 - a. Erfasst Abtastpunkte mit einem AD-Wandler.
 - b. Startet eine horizontale Ablenkung.
 - c. Dient zur Einstellung der Helligkeit der Anzeige.
 - d. Dämpft oder verstärkt das Eingangssignal.
4. **Die Zeitbasis-Steuerung des Oszilloskops hat die folgende Funktion:**
 - a. Stellt die vertikale Skala ein.
 - b. Zeigt die aktuelle Tageszeit an.
 - c. Stellt die Zeitdauer ein, die auf der horizontalen Breite des Bildschirms dargestellt wird.
 - d. Sendet einen Taktimpuls an den Tastkopf.
5. **Auf einem Oszilloskop-Bildschirm:**
 - a. Die Spannung wird auf der vertikalen Achse und die Zeit auf der horizontalen Achse eingetragen.
 - b. Ein gerader diagonaler Strahl bedeutet, dass die Spannung sich mit konstanter Rate ändert.
 - c. Ein flacher horizontaler Strahl bedeutet, dass die Spannung konstant ist.
 - d. Alle obigen Aussagen.
6. **Alle sich wiederholenden Signale haben folgende Eigenschaften:**
 - a. Eine in Hertz gemessene Frequenz.
 - b. Eine in Sekunden gemessene Periode.
 - c. Eine in Hertz gemessene Bandbreite.
 - d. Alle obigen Aussagen.
7. **Wenn Sie das Computerinnere mit einem Oszilloskop überprüfen, finden Sie wahrscheinlich folgende Signalarten:**
 - a. Impulsfolgen.
 - b. Sprünge.
 - c. Sinussignale.
 - d. Alle obigen Aussagen.
8. **Bei der Bewertung der Leistungsfähigkeit eines analogen Oszilloskops sollten Sie u. a. folgende Punkte berücksichtigen:**
 - a. Die Bandbreite.
 - b. Die vertikale Empfindlichkeit.
 - c. Die AD-Wandler-Auflösung.
 - d. Die Ablenkgeschwindigkeit.
9. **Der Unterschied zwischen einem Digital-Speicheroszilloskop (DSO) und einem Digital-Phosphor-Oszilloskop (DPO) ist:**
 - a. Das DSO hat eine höhere Bandbreite.
 - b. Das DPO erfasst drei Dimensionen von Signalinformationen in Echtzeit.
 - c. Das DSO hat eine Farbdarstellung.
 - d. Das DSO erfasst mehr Signaldetails.

Teilt II A: Vokabularübung

Schreiben Sie den Buchstaben der Definitionen in der rechten Spalte neben den richtigen Begriff in der linken Spalte.

Begriff	Definition
1. ___ Mittelwertmodus	A Die ungewollte Interaktion von Tastkopf und Oszilloskop mit dem Prüfling, wodurch ein Signal verzerrt wird.
2. _Schaltungsbelastung	B Ein Leiter, der elektrischen Strom mit Masse verbindet.
3. ___ Kompensation	C Ein Abtastmodus, in dem das digitale Oszilloskop so viele Abtastpunkte wie möglich erfasst, während das Signal auftritt, und dann eine Darstellung erzeugt, bei Bedarf mithilfe von Interpolation.
4. ___ Kopplung	D Ein Abtastmodus, in dem das digitale Oszilloskop ein Bild eines repetitiven Signals erzeugt, indem es bei jeder Wiederholung einen kleinen Teil der Informationen erfasst.
5. ___ Erdung	E Eine Vorrichtung, die bestimmte physikalische Größen, wie z. B. Schall, Druck, Spannung oder Lichtintensität in ein elektrisches Signal umwandelt.
6. ___ Äquivalenzzeit	F Ein Prüfgerät zum Einleiten eines Signals in einen Schaltungseingang.
7. ___ Raster	G Ein Verarbeitungsverfahren, das von digitalen Oszilloskopen verwendet wird, um Rauschen in einem dargestellten Signal zu eliminieren.
8. ___ Interpolation	H Die Methode zum Zusammenschließen zweier Schaltungen.
9. ___ Echtzeit	I Ein Verarbeitungsverfahren, mit dem durch Verbinden von Punkten ein Näherungsbild eines schnellen Signals mit einigen wenigen Abtastpunkten erzeugt wird.
10. ___ Signalgenerator	J Die Rasterlinien auf einem Bildschirm zum Messen der Oszilloskop-Abtastungen.
11. ___ Einzelablenkung	K Ein Trigger-Modus, der die Ablenkung einmal auslöst und für ein weiteres Trigger-Ereignis zurückgesetzt werden muss.
12. ___ Sensor	L Eine Tastkopfeinstellung für 10X gedämpfte Tastköpfe, welche die elektrischen Eigenschaften des Tastkopfs mit den elektrischen Eigenschaften des Oszilloskops abgleicht.

Teil II B: Anwendungsübung

Kreisen Sie die beste(n) Antwort(en) für jede Aussage ein. Für einige Aussagen gibt es mehr als eine richtige Antwort.

1. **Um ein Oszilloskop sicher zu bedienen, sollten Sie:**
 - a. Das Oszilloskop mit dem entsprechenden Netzkabel erden.
 - b. Lernen, potenziell gefährliche elektrische Komponenten zu erkennen.
 - c. Keine freiliegenden Anschlüsse in einem Prüfling berühren, selbst wenn der Strom abgeschaltet ist.
 - d. Alle obigen Aussagen.
2. **Ein Oszilloskop muss folgenden Gründen geerdet werden:**
 - a. Aus Sicherheitsgründen.
 - b. Um einen Referenzpunkt für die Durchführung von Messungen zu erhalten.
 - c. Um den Strahl auf die horizontale Achse des Bildschirms auszurichten.
 - d. Alle obigen Aussagen.
3. **Schaltungsbelastung wird verursacht durch:**
 - a. Ein Eingangssignal mit zu großer Spannung.
 - b. Die Interaktion von Tastkopf und Oszilloskop mit dem Prüfling.
 - c. Einen unkompensierten 10X gedämpften Tastkopf.
 - d. Zu starke Gewichtsbelastung der Schaltung.
4. **Die Kompensation eines Tastkopfs ist aus folgenden Gründen erforderlich:**
 - a. Abgleichen der elektrischen Eigenschaften des 10X gedämpften Tastkopfs mit dem Oszilloskop.
 - b. Verhindern der Beschädigung des Prüflings.
 - c. Verbesserung der Messgenauigkeit.
 - d. Alle obigen Aussagen.
5. **Die Steuerung der Strahldrehung (Strahlage) ist für Folgendes hilfreich:**
 - a. Skalieren von Signalen auf dem Bildschirm.
 - b. Erkennen von Sinussignalen.
 - c. Ausrichten des Signalzugs mit der horizontalen Achse des Bildschirms bei einem analogen Oszilloskop.
 - d. Messen der Impulsbreite.
6. **Das Bedienelement für Volt/Teil wird für Folgendes verwendet:**
 - a. Vertikales Skalieren eines Signals.
 - b. Vertikales Positionieren eines Signals.
 - c. Dämpfen oder Verstärken eines Eingangssignals.
 - d. Einstellen der Voltzahl, die jeder Skalenteil darstellt.
7. **Die Einstellung der vertikalen Eingangskopplung auf Masse bewirkt Folgendes:**
 - a. Trennt das Eingangssignal vom Oszilloskop.
 - b. Erzeugt die Anzeige einer horizontalen Linie mit automatischer Triggerung.
 - c. Lässt erkennen, wo auf dem Bildschirm Null Volt liegt.
 - d. Alle obigen Aussagen.
8. **Der Trigger dient zum:**
 - a. Stabilisieren sich wiederholender Signale auf dem Bildschirm.
 - b. Erfassen von Einzelschuss-Signalen.
 - c. Markieren eines bestimmten Punktes einer Erfassung.
 - d. Alle obigen Aussagen.
9. **Der Unterschied zwischen automatischem und normalem Trigger-Modus ist:**
 - a. Im Normal-Modus erzeugt das Oszilloskop nur eine Ablenkung und hält dann an.
 - b. Im Normal-Modus erzeugt das Oszilloskop nur eine Ablenkung, wenn das Eingangssignal den Trigger-Punkt erreicht. Anderenfalls ist der Bildschirm leer.
 - c. Im Auto-Modus erzeugt das Oszilloskop auch ohne Triggerung laufend eine Ablenkung.
 - d. Alle obigen Aussagen.
10. **Der Erfassungsmodus, der Rauschen in einem sich wiederholenden Signal am besten unterdrückt, ist der:**
 - a. Abtastmodus.
 - b. Spitzenwerterfassungsmodus.
 - c. Hüllkurvenmodus.
 - d. Mittelwertmodus.

11. **Die zwei grundlegendsten Messungen, die mit einem Oszilloskop durchgeführt werden können, sind:**
- Zeit- und Frequenzmessungen.
 - Zeit- und Spannungsmessungen.
 - Spannungs- und Impulsbreitenmessungen.
 - Impulsbreiten- und Phasenverschiebungsmessungen.
12. **Wenn Volt/Teil auf 0,5 eingestellt ist, ist das größte Signal, das auf dem Bildschirm Platz hat (unter Voraussetzung eines Bildschirms von 8 x 10 Skalenteilen), wie folgt:**
- 62,5 Millivolt Spitze-Spitze.
 - 8 Volt Spitze-Spitze
 - 4 Volt Spitze-Spitze.
 - 0,5 Volt Spitze-Spitze.
13. **Wenn Sek/Teil auf 0,1 ms eingestellt ist, beträgt die über die gesamte Bildschirmbreite dargestellte Zeit:**
- 0,1 ms.
 - 1 ms.
 - 1 Sekunde
 - 0,1 kHz.
14. **Gemäß Definition wird die Impulsbreite gemessen:**
- Bei 10% der Spitze-Spitze-Spannung des Impulses.
 - Bei 50 % der Spitze-Spitze-Spannung des Impulses.
 - Bei 90 % der Spitze-Spitze-Spannung des Impulses.
 - 10 % und 90 % der Spitze-Spitze-Spannung des Impulses.
15. **Sie schließen einen Tastkopf an die zu prüfende Schaltung an, aber der Bildschirm ist leer. Sie sollten folgende Schritte ausführen: Sie sollten folgendes tun:**
- Überprüfen, ob die Bildschirmintensität aktiviert ist.
 - Überprüfen, ob das Oszilloskop so eingestellt ist, dass es den Kanal anzeigt, an den der Tastkopf angeschlossen ist.
 - Den Trigger-Modus auf Auto einstellen, da im Normal-Modus der Bildschirm leer ist.
 - Die vertikale Eingangskopplung auf AC einstellen und Volt/ Teil auf den größten Wert einstellen, da ein großes DC-Signal nach oben oder unten über den Bildschirmrand hinausgehen kann.
 - Überprüfen, ob der Tastkopf nicht kurzgeschlossen ist, und sicherstellen, dass er ordnungsgemäß geerdet ist.
 - Überprüfen, ob das Oszilloskop zur Triggerung auf dem verwendeten Eingangskanal eingestellt ist.
 - Alle obigen Aussagen.

Schlüssel zu den Antworten

Dieser Abschnitt enthält die Antworten zu allen schriftlichen Prüfungen im vorhergehenden Abschnitt.

Teil IA: Antworten Vokabularübung

1. L	5. D	9. G	13. O
2. M	6. J	10. F	14. I
3. P	7. E	11. H	15. K
4. N	8. C	12. Q	16. B
			17. A

Teil IB: Antworten Anwendungsübung

1. D	3. D	5. D	7. A
2. B,D	4. C	6. A,B	8. A,B,D
			9. B

Teil IIA: Antworten Vokabularübung

1. G	4. H	7. J	10. F
2. A	5. B	8. I	11. K
3. L	6. D	9. C	12. E

Teil IIB: Antworten Anwendungsübung

1. D	5. C	9. B,C	13. B
2. A,B	6. A,C,D	10. D	14. B
3. B	7. D	11. B	15. G
4. A,C	8. D	12. C	

Glossar

A

Ablenkgeschwindigkeit – Entspricht der Zeitbasis.

Ablenkung – Eine horizontale Schwenkung des Elektronenstrahls eines analogen Oszilloskops von links nach rechts über die Kathodenstrahl-Bildröhre.

Abtastpunkt – Die unbearbeiteten Daten aus einem AD-Wandler, aus denen Signalpunkte berechnet werden.

Abtastrate – Bezieht sich auf die Häufigkeit, mit der ein digitales Oszilloskop eine Abtastung des Signals durchführt, angegeben in Sample pro Sekunde (S/s).

Abtastung – Vorgang, bei dem ein Teil eines Eingangssignals in eine Reihe von diskreten elektrischen Werten umgewandelt wird, damit diese gespeichert, verarbeitet und/oder dargestellt werden können. Es gibt zwei Arten: Echtzeit-Abtastung und Äquivalentzeit-Abtastung.

Amplitude – Eine charakterisierende Größe oder die Stärke eines Signals. In der Elektronik bezieht sich die Amplitude entweder auf Spannung oder Leistung.

Analog-Digital-Wandler (ADC) – Eine digitale elektronische Komponente, die ein elektrisches Signal in diskrete Binärwerte umwandelt

Analoges Oszilloskop – Ein Messgerät, das eine Signaldarstellung durch Auftragen des Eingangssignals (aufbereitet und verstärkt) auf die vertikale Achse eines Elektronenstrahls erzeugt, der sich von links nach rechts horizontal über eine Kathodenstrahl-Bildröhre bewegt. Eine chemische Phosphor-Schicht auf der Kathodenstrahl-Bildröhre erzeugt beim Auftreffen des Strahls eine Leuchtspur.

Analoges Signal – Ein Signal mit sich kontinuierlich ändernden Spannungen.

Anstiegszeit – Die Zeit, die die ansteigende Flanke eines Impulses benötigt, um vom niedrigsten zum höchsten Wert zu gelangen, gewöhnlich gemessen zwischen 10 % und 90 %.

Äquivalentzeit-Abtastung – Eine Abtastmethode, bei der das Oszilloskop ein Bild eines repetitiven Signale erstellt, indem bei jeder Wiederholung ein kleiner Teil der Informationen erfasst wird. Es gibt zwei Arten von Äquivalentzeit-Abtastungen: zufällig und sequenziell.

Aufzeichnungslänge – Die Anzahl der Signalpunkte, die zum Erstellen einer Signalaufzeichnung verwendet werden.

B

Bandbreite – Ein Frequenzbereich, in der Regel begrenzt durch -3 dB.

Belastung – Die ungewollte Interaktion von Tastkopf und Oszilloskop mit dem Prüfling, die das Signal verzerrt.

C

Cursor – Eine Bildschirm-Markierung, die Sie auf einem Signal ausrichten können, um genauere Messungen vorzunehmen.

D

Dämpfung – Eine Verringerung der Signalamplitude während ihrer Übertragung von einem Punkt zu einem anderen.

Digitale Oszilloskope – Eine Oszilloskop-Art, die einen Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) eingesetzt, um die gemessene Spannung in eine digitale Information umzuwandeln. Es gibt folgende Arten: Digital-Speicher-, Digital-Phosphor-, Mixed- Signal- und Digital-Sampling-Oszilloskope.

Digitale Signalverarbeitung – Die Anwendung von Algorithmen, um die Genauigkeit gemessener Signale zu verbessern.

Digitales Signal – Ein Signal, dessen Spannungsabtastpunkte durch diskrete Binärzahlen dargestellt werden

Digitalisieren – Der Vorgang, bei dem ein Analog-Digital-Wandler (ADW) im Horizontalsystem ein Signal zu diskreten Zeitpunkten abtastet und die Spannung des Signals an diesen Punkten in digitale Werte umwandelt, die als Abtastpunkte bezeichnet werden.

Digital-Phosphor-Oscilloskop (DPO) – Ein digitales Oszilloskop, das im Wesentlichen die Eigenschaften eines analogen Oszilloskops aufweist und gleichzeitig die Vorteile konventioneller digitaler Oszilloskope bietet (Speicher, automatisierte Messungen usw.). Das DPO verwendet eine parallele Verarbeitungsarchitektur zur Weiterleitung an den Rasterbildschirm, der eine Helligkeitsmodulierte Darstellung der Signalcharakteristiken in Echtzeit bietet. Das DPO stellt Signale in drei Dimensionen dar: Amplitude, Zeit und Verteilung der Amplitude in Abhängigkeit von der Zeit

Digital-Sampling-Oszilloskop – Ein digitales Oszilloskop, das die Äquivalentzeit-Abtastmethode zum Erfassen und Darstellen von Abtastungen eines Signals nutzt. Es eignet sich ideal für die genaue Erfassung von Signalen, deren Frequenzanteile wesentlich höher sind als die Abtastrate des Oszilloskops.

Digital-Speicher-Oszilloskop (DSO) – Ein digitales Oszilloskop, das Signale über digitales Sampling (mithilfe eines Analog-Digital-Wandlers) erfasst. Es verwendet eine serielle Verarbeitungsarchitektur zur Steuerung der Erfassung, Benutzeroberfläche und Rasterdarstellung.

E

Echtzeit-Abtastung – Ein Abtastmodus, bei dem das Oszilloskop in einer einzigen getriggerten Erfassung so viele Abtastpunkte wie möglich erfasst. Ideal geeignet für Signale, deren Frequenzbereich kleiner als die Hälfte der maximalen Abtastrate des Oszilloskops ist. Ideal geeignet für Signale, deren Frequenzbereich kleiner als die Hälfte der maximalen Abtastrate des Oszilloskops ist.

Effektive Bits – Ein Maß für die Fähigkeit eines digitalen Oszilloskops, die Form eines Sinussignals genau zu rekonstruieren. Diese Messung vergleicht den tatsächlichen Fehler des Oszilloskops mit dem eines theoretischen „idealen“ Digitalisierers.

Einzelablenkung – Ein Trigger-Modus, bei dem die getriggerte Anzeige eines Signals nur einmal erfolgt und dann angehalten wird.

Einzelschuss – Ein von einem Oszilloskop gemessenes Signal, das nur einmal auftritt (auch als transientes Ereignis bezeichnet).

Erdung – Ein Leiter, der elektrischen Strom mit Masse verbindet.

Erdung – 1. Eine leitende Verbindung, durch die eine elektrische Schaltung oder Vorrichtung mit Masse verbunden ist, um einen Referenzspannungspegel zu erzeugen und aufrechtzuerhalten.

2. Der Spannungsreferenzpunkt in einer Schaltung.

Erfassungsmodus – Modi, die festlegen, wie Signalpunkte aus den Abtastpunkten erzeugt werden. Es gibt z. B. folgende Arten: Abtastung, Spitzenwerterfassung, Hi-Res, Hüllkurve, Mittelwert und Signaldatenbank.

F

Flanke – In einem Graphen oder in einer Oszilloskop-Anzeige ist dies das Verhältnis eines vertikalen Abstands zu einem horizontalen Abstand. Eine positive Flanke steigt von links nach rechts an, eine negative Flanke fällt von links nach rechts ab.

Fokus – Das Bedienelement eines analogen Oszilloskops, das die Schärfe der Darstellung über den Elektronenstrahl der Kathodenstrahl-Bildröhre einstellt.

Frequenz – Die Anzahl der Wiederholungen eines Signals in einer Sekunde, gemessen in Hertz (Zyklen pro Sekunde). Die Frequenz ist gleich $1/\text{Periode}$.

Frequenzgang – Frequenzgangkurven eines Oszilloskops definieren die Genauigkeit der Amplitudendarstellung des Eingangssignals als Funktion der Frequenz des Signals. Um die maximale Signaltreue zu erhalten, sollte das Oszilloskop einen flachen (stabilen) Frequenzgang über die gesamte angegebene Oszilloskop-Bandbreite aufweisen.

G

Gigahertz (GHz) – 1.000.000.000 Hertz; Einheit der Frequenz.

Gleichstrom (DC) – Ein Signal mit einer konstanten Spannung und/oder Stromstärke. Wird auch verwendet, um die Signal-Kopplungsart anzugeben. Wird auch verwendet, um die Signal-Kopplungsart anzugeben.

Glitch – Ein intermittierender Fehler mit hoher Geschwindigkeit in einer Schaltung.

H

Helligkeitsmodulation – Liefert Informationen über die Häufigkeit des Auftretens von Signalteilen, die zum Verständnis des tatsächlichen Signalverhaltens entscheidend sind

Hertz (Hz) – Ein Zyklus pro Sekunde; Einheit der Frequenz.

Horizontale Ablenkung – Die Aktion des Horizontalsystems, die bewirkt, dass ein Signal gezeichnet wird.

Horizontale Genauigkeit (Zeitbasis) – Gibt an, mit welcher Genauigkeit das Horizontalsystem das Timing eines Signals darstellen kann, in der Regel wird dies als prozentualer Fehler ausgedrückt.

Hüllkurve – Der Umriss der höchsten und tiefsten Punkte eines Signals, der über zahlreiche dargestellte Signalwiederholungen erfasst wurde.

I

Impuls – Eine gängige Signalform mit einer ansteigenden Flanke, einer Breite und einer abfallenden Flanke.

Impulsbreite – Die Zeitdauer, die der Impuls für den Übergang von niedrig zu hoch und wieder zurück benötigt, in der Regel gemessen bei 50 % der vollen Spannung.

Impulsfolge – Eine Gruppe von Impulsen, die gemeinsam auftreten.

Intensitätsbewertung – Informationen zur Häufigkeit des Auftretens, die für das Verständnis des tatsächlichen Signalverlaufs wichtig sind.

Interpolation – Ein Verarbeitungsverfahren, das durch Verbinden von Punkten ein Näherungsbild eines schnellen Signals auf Basis weniger Abtastpunkte erstellt. Es gibt zwei Arten: linear und $\sin(x)/x$.

K

Kilohertz (kHz) – 1.000 Hertz; Einheit der Frequenz

Kompensation – Eine Tastkopf-Einstellung für passive gedämpfte Tastköpfe, die die Kapazität des Tastkopfs mit der Kapazität des Oszilloskops abgleicht.

Kopplung – Die Methode des Zusammenschließens zweier Schaltungen. Durch einen Draht verbundene Schaltungen sind direkt gekoppelt (DC); über einen Kondensator oder Transformator verbundene Schaltungen sind indirekt gekoppelt (AC).

L

Logikanalysator – Ein Messgerät, mit dem die logischen Zustände vieler digitaler Signale in Abhängigkeit von der Zeit sichtbar gemacht werden können. Es analysiert die digitalen Daten und kann die Daten als Echtzeit-Software-Ausführung, Datenstromwerte, Zustandsfolgen usw. darstellen.

M

Megahertz (kHz) – 1.000.000 Hertz; eine Frequenzeinheit.

Megasamples pro Sekunde (MS/s) – Eine Einheit der Abtastrate, die einer Million Abtastungen pro Sekunde entspricht.

Mikrosekunde (μ s) – Zeiteinheit, die 0,000001 Sekunden entspricht.

Millisekunde (ms) – Zeiteinheit, die 0.001 Sekunden entspricht.

Mittelwertbildung – Ein Verarbeitungsverfahren, das von digitalen Oszilloskopen verwendet wird, um Rauschen in einem dargestellten Signal zu eliminieren.

Mixed-Domain-Oszilloskop (MDO) – Ein digitales Oszilloskop, das einen HF-Spektrumanalysator mit einem MSO oder DPO kombiniert und auf diese Weise zeitkorrelierte Darstellungen von Signalen aus dem Digital-, Analog- und HF-Bereich ermöglicht.

Mixed-Signal-Oszilloskop (MSO) – Ein digitales Oszilloskop, das die grundlegenden Funktionen eines 16-Kanal-Logikanalysators mit der bewährten Leistungsfähigkeit eines 4-Kanal-Digital-Phosphor-Oszilloskops kombiniert.

N

Nanosekunde (ns) – Zeiteinheit, die 0,000000001 Sekunden entspricht.

O

Oszilloskop – Ein Messgerät, mit dem Spannungsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit sichtbar gemacht werden können. Der Begriff Oszilloskop kommt von „oszillieren“ (schwingen), da Oszilloskope häufig zum Messen schwingender Spannungen verwendet werden.

P

Periode – Die Zeit, in der ein Zyklus vollständig durchlaufen wird. Die Periode ist $1/\text{Frequenz}$.

Phase – Die Zeitdauer vom Anfang eines Zyklus bis zum Beginn des nächsten Zyklus, gemessen in Grad.

Phasenverschiebung – Der Timing-Unterschied zwischen zwei ansonsten ähnlichen Signalen.

R

Rampe – Die Übergänge zwischen Spannungspegeln von Sinussignalen, die sich mit einer konstanten Rate ändern.

Raster – Die Gitterlinien auf einem Bildschirm zur Messung von Oszilloskopaufzeichnungen.

Raster – Eine Anzeigart.

Rauschen – Eine unerwünschte Spannung oder Stromstärke in einer elektrischen Schaltung.

Rechtecksignal – Eine gängige Signalform, die aus sich wiederholenden Rechteckimpulsen besteht.

S

Schaltungsbelastung – Die ungewollte Interaktion von Tastkopf und Oszilloskop mit dem Prüfling, durch die das Signal verzerrt wird.

Schreibgeschwindigkeit – Die Fähigkeit eines analogen Oszilloskops, eine sichtbare Strahlspur der Signalbewegung von einem Punkt zum nächsten aufzuzeichnen. Diese Fähigkeit ist bei Signalen mit geringer Wiederholung und schnell bewegten Details eingeschränkt, wie z. B. bei digitalen Logiksignalen.

Sensor – Eine Vorrichtung, die bestimmte physikalische Größen, wie z. B. Schall, Druck, Spannung oder Lichtintensität, in ein elektrisches Signal umwandelt.

Signalerfassungsrate – Bezieht sich auf die Geschwindigkeit, mit der ein Oszilloskop Signale erfassen kann, angegeben in Signalen pro Sekunde (wfms/s).

Signalintegrität – Die genaue Rekonstruktion eines Signals, bestimmt durch die Systeme und Leistungskriterien eines Oszilloskops sowie durch den zur Erfassung des Signals verwendeten Tastkopf.

Signalpunkt – Ein Digitalwert, der die Spannung eines Signals zu einem bestimmten Zeitpunkt darstellt. Signalpunkte werden aus Abtastpunkten berechnet und im Speicher gespeichert.

Signalquelle – Ein Prüfgerät, mit dem ein Signal in einen Schaltungseingang eingeleitet wird; der Ausgang der Schaltung wird dann von einem Oszilloskop gelesen. Auch unter der Bezeichnung Signalgenerator bekannt.

Sinussignal – Eine gängige geschwungene Signalform, die mathematisch definiert ist.

Signalzug – Die grafische Darstellung einer Spannung, die sich im Laufe der Zeit ändert.

Spannung – Der Unterschied des elektrischen Potentials zwischen zwei Punkten, angegeben in Volt.

Spitze (V_p) – Der maximale Spannungspegel, gemessen von einem Null-Referenzpunkt.

Spitzenwerterfassung – Ein Erfassungsmodus bei digitalen Oszilloskopen, der die Darstellung von Signaldetails ermöglicht, die ansonsten übersehen werden. Ist besonders zur Darstellung schmaler Impulse in großem zeitlichem Abstand von Vorteil.

Spitze-Spitze (V_{p-p}) – Die zwischen Maximum und Minimum eines Signals gemessene Spannung.

Strahlspur – Die sichtbare Spur, die durch die Bewegung des Elektronenstrahls auf der Kathodenstrahl-Bildröhre gezeichnet wird.

T

Tastkopf – Ein Oszilloskop-Eingabegerät, gewöhnlich ausgestattet mit einer Metallspitze zum Herstellen eines elektrischen Kontakts mit einem Schaltungs-Bauteil, einem Leiter zur Verbindung mit der Massereferenz einer Schaltung und einem flexiblen Kabel zur Signalübertragung und Erdung an das Oszilloskop.

Teil (Skalenteil) – Messmarkierungen auf dem Oszilloskop-Raster, die die Messpunkte anzeigen.

Transiente – Ein von einem Oszilloskop gemessenes Signal, das nur einmal auftritt (auch als Einzelschuss-Ereignis bezeichnet).

Trigger – Die Schaltung, die eine horizontale Ablenkung auf einem Oszilloskop auslöst.

Trigger-Flanke – Die Flanke, die ein Trigger-Quellensignal erreichen muss, bevor die Trigger-Schaltung eine Ablenkung auslöst.

Trigger-Holdoff – Ein Bedienelement, mit dem die Zeitperiode nach einem gültigen Trigger eingestellt werden kann, während der das Oszilloskop nicht triggern kann.

Trigger-Modus – Ein Modus, der bestimmt, ob das Oszilloskop ein Signal aufnimmt oder nicht, wenn es keinen Trigger erkennt. Übliche Triggermodi sind Normal und Auto.

Trigger-Pegel – Der Spannungspegel, den ein Trigger-Quellensignal erreichen muss, bevor die Trigger-Schaltung eine Ablenkung auslöst.

V

Verstärkung – Eine Erhöhung der Signalamplitude während ihrer Übertragung von einem Punkt zu einem anderen.

Verstärkungsgenauigkeit – Gibt an, mit welcher Genauigkeit das Vertikalsystem ein Signal dämpfen oder verstärken kann, in der Regel als prozentualer Fehler ausgedrückt.

Vertikale Auflösung (Analog-Digital-Wandler) – Gibt an, wie genau ein Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) in einem digitalen Oszilloskop Eingangsspannungen in digitale Werte (gemessen in Bit) umwandeln kann. Berechnungsmethoden, wie der Hi-Res-Erfassungsmodus, können die effektive Auflösung verbessern.

Vertikale Empfindlichkeit – Gibt an, wie stark der Vertikalverstärker ein schwaches Signal verstärken kann – gewöhnlich gemessen in Millivolt (mV) pro Skalenteil.

Verzögerte Zeitbasis – Eine Zeitbasis mit einer Ablenkung, die relativ zu einer vorbestimmten Zeit während der Hauptzeitbasis-Ablenkung starten kann (oder deren Start getriggert werden kann). Damit können Ereignisse klarer dargestellt werden; außerdem können Ereignisse sichtbar gemacht werden, die mit der Hauptzeitbasis-Ablenkung allein nicht dargestellt werden können.

Volt – Die Einheit der elektrischen Potentialdifferenz.

Vortrigger-Darstellung – Die Fähigkeit eines digitalen Oszilloskops, das Verhalten eines Signals vor einem Trigger-Ereignis zu erfassen. Bestimmt die Länge des darstellbaren Signals vor und nach einem Trigger-Punkt.

W

Wechselstrom (AC) – Ein Signal, bei dem sich Stromstärke und Spannung in einem sich wiederholenden Muster im Laufe der Zeit ändern. Wird auch verwendet, um die Signal-Kopplungsart anzugeben.

Welle – Der allgemeine Begriff für ein Muster, das sich im Laufe der Zeit wiederholt. Übliche Arten sind: Sinus, Symmetrisches Rechteck, Asymmetrisches Rechteck, Sägezahn, Dreieck, Treppe, Impuls, Periodisch, Nichtperiodisch, Synchron, Asynchron.

X

XY-Betrieb – Ein Messverfahren, bei dem ein Signal wie gewöhnlich in das Vertikalsystem eingespeist wird, und ein weiteres Signal in das Horizontalsystem, um Spannungen sowohl auf der X-Achse als auch auf der Y-Achse zu verfolgen.

Z

Z-Achse – Das Darstellungsattribut eines Oszilloskops, das die Helligkeitsvariationen beim Aufbau der Signaldarstellung anzeigt.

Zeitbasis – Eine Oszilloskop-Schaltung, die das Timing der Ablenkung steuert. Die Zeitbasis wird mit dem Sekunden-/Teil-Bedienelement eingestellt.

Kontaktinformationen:

ASEAN / Australien und Pazifik (65) 6356 3900
Österreich 00800 2255 4835
Balkan, Israel, Südafrika und andere ISE-Länder +41 52 675 3777
Belgien 00800 2255 4835
Brasilien +55 (11) 3759 7627
Kanada 1 800 833 9200
Mittel-/Osteuropa und Baltikum +41 52 675 3777
Mitteleuropa / Griechenland +41 52 675 3777
Dänemark +45 80 88 1401
Finnland +41 52 675 3777
Frankreich 00800 2255 4835
Deutschland 00800 2255 4835
Hong Kong 400 820 5835
Indien 000 800 650 1835
Italien 00800 2255 4835
Japan 81 (3) 6714 3010
Luxemburg +41 52 675 3777
Mexiko, Mittel-/Südamerika und Karibik 52 (55) 56 04 50 90
Nahe/Mittlerer Osten, Asien und Nordafrika +41 52 675 3777
Niederlande 00800 2255 4835
Norwegen 800 16098
Volksrepublik China 400 820 5835
Polen +41 52 675 3777
Portugal 80 08 12370
Republik Korea 001 800 8255 2835
Russland / GUS +7 (495) 6647564
Südafrika +41 52 675 3777
Spanien 00800 2255 4835
Schweden 00800 2255 4835
Schweiz 00800 2255 4835
Taiwan 886 (2) 2656 6688
Vereinigtes Königreich / Irland 00800 2255 4835
USA 1 800 833 9200

Rev. 01/16

WWW.TEK.COM

Weitere Informationen

Applikationsbroschüren, technischen Informationsblättern und anderen Ressourcen für Ingenieure, um Ihnen bei ihrer Pionierarbeit mit den neusten Technologien zu helfen. Besuchen Sie unsere Website unter www.tektronix.com

Copyright © 2016, Tektronix. Alle Rechte vorbehalten. Tektronix-Produkte sind durch erteilte und angemeldete Patente in den USA und anderen Ländern geschützt. Die Informationen in dieser Broschüre ersetzen alle einschlägigen Angaben älterer Unterlagen. Änderungen der Spezifikationen und der Preise vorbehalten. TEKTRONIX und TEK sind eingetragene Marken von Tektronix, Inc. Alle anderen in diesem Dokument aufgeführten Handelsnamen sind Servicemarken, Marken oder eingetragene Marken ihrer jeweiligen Inhaber.

01/16 EA 03W-8605-7

