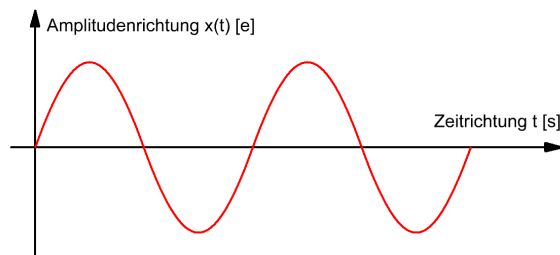


1. Allgemeines

In der Wechselspannungsmesstechnik ist die Darstellung des Zeitverlaufes einer Größe von wesentlicher Bedeutung. Damit lassen sich Parameter von Messgrößen bestimmen, die mit anderen Messgeräten nicht oder schwer erfassbar sind. Die Beurteilung des Zeitverlaufes von Messgrößen ist in der Entwicklung und im Service von elektronischen Geräten wesentlich.

Um Zeitverläufe in Form von Liniendiagrammen darstellen zu können, benötigt man eine Schreibvorrichtung, die entsprechend des Zeitverlaufes und der zu messenden Größe gesteuert wird. Dabei wird ein kartesisches Koordinatensystem zugrunde gelegt, in dem eine Richtung der Zeit t entspricht und die andere der Messgröße $x(t)$.



Frühe Einrichtungen zur Visualisierung von Schwingungen verwendeten die Aufzeichnung auf Papier. Der Transport des Papiers erfolgt in Zeitrichtung, die Steuerung der Position des Schreibstiftes senkrecht zur Papiertransportrichtung wird von der Messgröße bewirkt. Beispiele: EKG, Temperaturschreiber, Pegelschreiber ...

Diese Verfahren werden bei langsamen Vorgängen, die über lange Zeiträume aufgezeichnet werden müssen, oder bei der Notwendigkeit einer Dokumentation heute noch angewendet, obwohl auch hier die elektronischen Geräte die Mechanik zunehmend ersetzen.

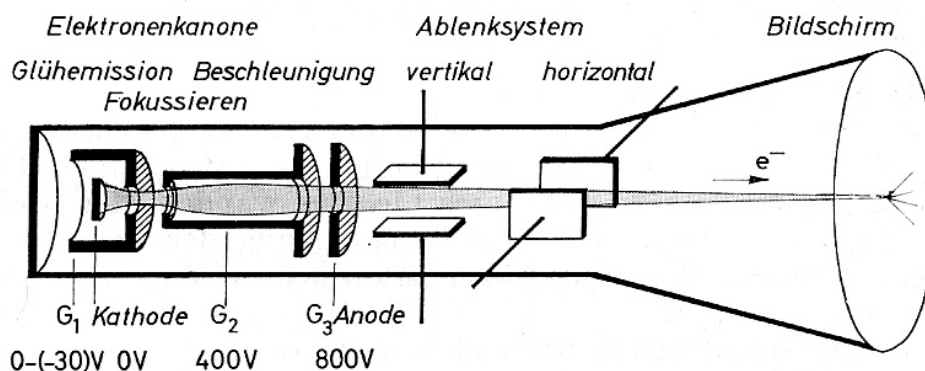
Die Erfindung der Elektronenstrahlröhre ermöglichte es, rasche Vorgänge auf einem Leuchtschirm darzustellen. Der Elektronenstrahl wird dabei durch elektrische Potenziale so gesteuert, dass auf einer Leuchtschicht eine Spur entsteht, die einem Liniendiagramm entspricht. Das analoge Oszilloskop war für lange Zeit in der Technik ein wichtiges Messgerät. Nachteilig war die Flüchtigkeit des Bildes.

Durch die Digitaltechnik wurde die Konstruktion von Digitaloszilloskopen möglich, die ohne teure Bildröhre auskommen und insgesamt kostengünstig hergestellt werden können. Durch die Anwendung der Speichertechnik ist auch die Dokumentierbarkeit der Aufzeichnungen auf einfache Weise gegeben.

2. Analoge Oszilloskope

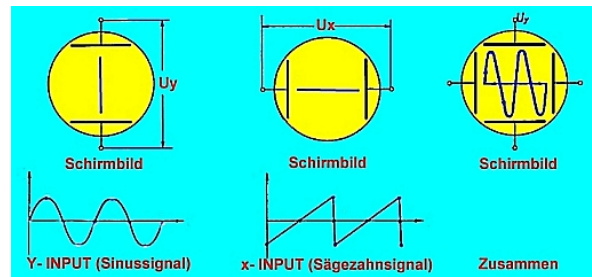
Oszilloskope dienen der Darstellung von elektrischen Schwingungsvorgängen auf einem Bildschirm, wobei üblicherweise Spannungsverläufe über der Zeit aufgezeichnet werden. Das Oszilloskop ist daher prinzipiell ein Voltmeter, das ein Liniendiagramm darstellen kann. Die analogen Oszilloskope zeichnen die Liniendiagramme mit Elektronenstrahlen auf einem Leuchtschirm auf.

Der innere Aufbau und das Funktionsprinzip einer Elektronenstrahlröhre sind im Folgenden dargestellt.

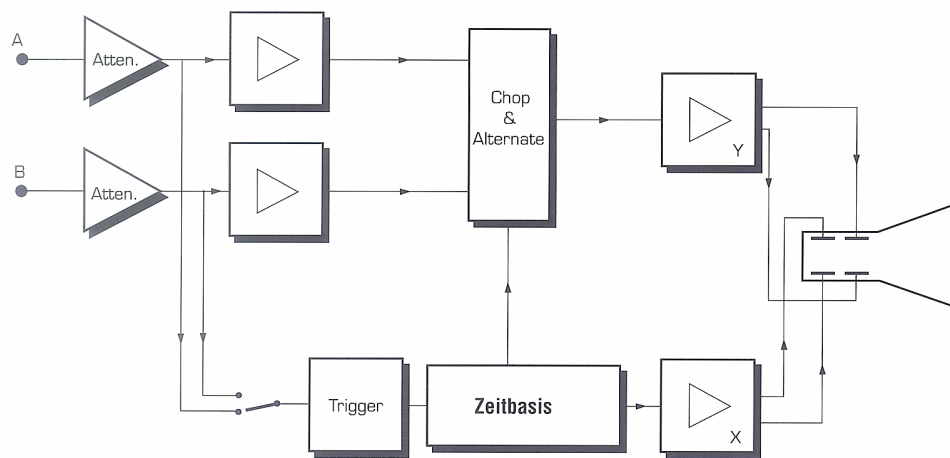


Der in der Glühkathode erzeugte Elektronenstrahl wird in der Fokussiereinheit gebündelt und durch die Anode (mit Loch) in Richtung auf den Leuchtschirm beschleunigt. Bei Auftreffen des Strahles auf der Leuchtschicht wird ein Lichtpunkt sichtbar. Das Ablenssystem ermöglicht die Führung des Strahls an jede beliebige Position des Bildschirms.

Die Strahlposition wird in horizontaler Richtung mit einer Spannung gesteuert, die mit der Zeit linear zunimmt. Damit wandert der Strahl gleichmäßig von links nach rechts über den Bildschirm. Am Ende der Zeile wird die Spannung zurückgesetzt, wodurch der Schreibvorgang wieder beginnen kann (Sägezahn). In vertikaler Richtung wird die Position des Strahles von einer Spannung gesteuert, die der am Eingang anliegenden Messgröße entspricht. Dadurch entsteht am Bildschirm eine dem Zeitverlauf der Messgröße entsprechende Leuchtpur. In das Frontglas der Röhre ist ein Gitterraster eingätzt oder aufgedruckt, wodurch eine Messung anhand der Strahlposition im Gitterraster möglich wird.



Prinzipschaltbild eines analogen Oszilloskopes:



Das Oszilloskop besteht aus X- und Y- Ablensystem sowie der Spannungsversorgung:

- Y-Ablensystem (vertikal):
 - o (meist) 2 analoge Signaleingänge A, B
 - o Eingangsabschwächer pro Kanal (Attenuator), einstellbar
 - o Vorverstärker pro Kanal (Preamplifier, einstellbar)
 - o Elektronischer Schalter für Eingangskanalauswahl (Chop or Alternate)
 - o Ablenkverstärker Y
- X-Ablensystem (horizontal):
 - o Triggerquellenschalter
 - o Triggerschaltung
 - o Zeitbasis (Erzeugung Sägezahn), einstellbare Geschwindigkeit
 - o Ablenkungsverstärker X
- Spannungsversorgung
 - o 230V AC, Batterie oder externe DC- Quelle
 - o Hochspannungsversorgung für die Bildröhre (bis 20 kV und darüber!)

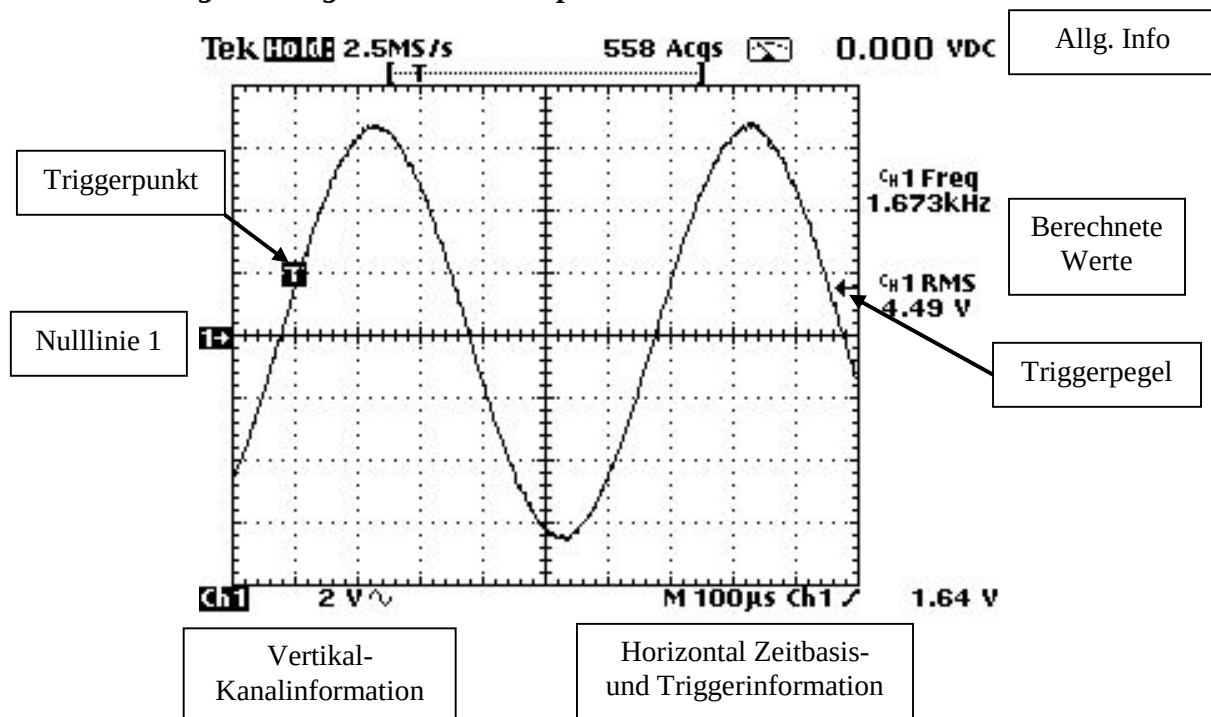
Analoge Oszilloskope werden heute wegen der teuren Bildröhre nur mehr für Sonderzwecke gebaut. Die Bedienung der Geräte ist allerdings den heute üblichen digitalen Geräten ähnlich. Auch wurden viele Gegebenheiten der analogen Geräte in die digitale Welt mit übernommen, um eine Kontinuität in der Bedienung und der Darstellung zu bewahren.

3. Digitale Oszilloskope

Heute werden fast ausschließlich **digitale Speicheroszilloskope** (engl. digital storage oscilloscope, DSO) eingesetzt. Ein digitales Oszilloskop hat unter anderem folgende Leistungsmerkmale:

- Bildschirmdarstellung auf LCD- Display, auch mehrfarbig
- Gleichzeitige Darstellung von Messkurven, gerechneten Werten und Einstellwerten
- Menüführung (Systemparameter, Messeinstellungen, Datenverarbeitung)
- Softkey- Funktionen (Belegung von Tastenfunktionen in Abhängigkeit vom Menüpunkt)
- Vollautomatische Messungen, wobei auch Cursors (Marken) verwendet werden können
- Die Signalformen können unbegrenzt gespeichert werden
- Es können (fast) beliebig langsame Vorgänge aufgezeichnet werden
- Die Signalformen können zur Weiterverarbeitung an einen Computer übertragen werden.
- Zu Dokumentationszwecken können Hardcopies mit einem Drucker angefertigt oder die Bilder über USB gespeichert und exportiert werden.
- Neu erfasste Signalformen können mit Referenz- Signalformen verglichen werden
- Mit mathematischen Zusatzfunktionen können Werte direkt aus den Kurvenformen berechnet werden (z.B. Effektivwert, Mittelwert, Spektralanalyse,...)

Bilddarstellung eines digitalen Oszilloskopes:

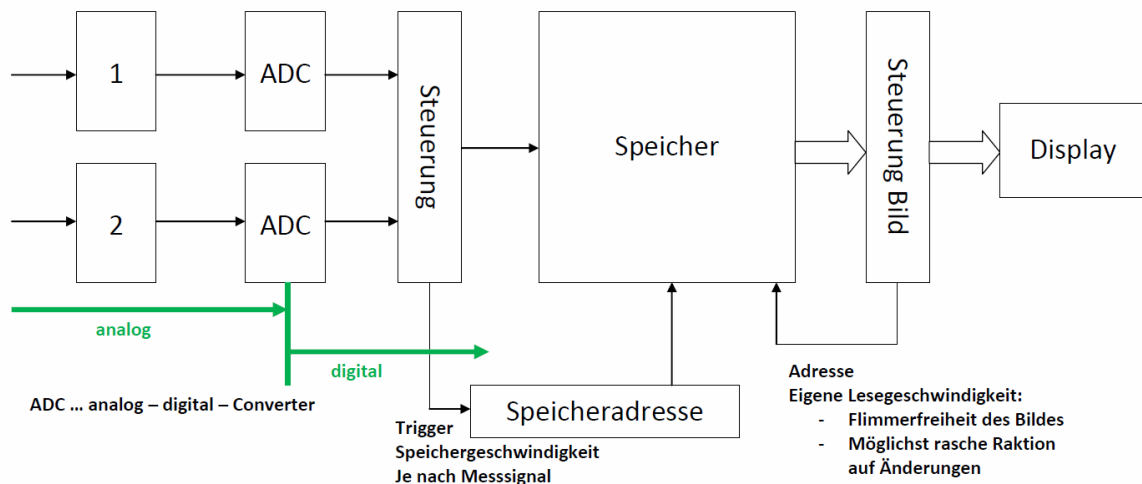


Moderne DSO, insbesondere kleine batteriebetriebene Geräte, verwenden keine Bildröhre mehr, sondern einen LCD- Flachbildschirm, der auch Farbdarstellung ermöglicht.

Die Skalierung in Zeitrichtung (horizontal) mit 10 Einheiten (Divisions) und vertikal mit 8 Einheiten hat sich aus der Analogtechnik erhalten.

Der Bildinhalt mit allen Einstellungsinformationen kann auch über eine Schnittstelle an Speichermedien, PC oder Drucker weitergegeben werden. Damit ist eine nachträgliche Bearbeitung des Bildes möglich.

Blockschaltbild eines digitalen Oszilloskopes:



DSO verfügen oft über mehrere analoge Eingangskanäle, da die zugehörige Elektronik relativ billig ist. Die einzelnen Kanäle sind üblicherweise als Spannungsaufnehmer (vgl. Voltmeter) ausgeführt. Wenn ein Signal an einen Eingang angelegt wird, wird es in regelmäßigen Zeitintervallen zu einem definierten Zeitpunkt (Abtastzeitpunkt) abgetastet. Diese Momentanwerte oder **Samples** werden von einem ADC (analog- digital- converter) in binäre Worte umgesetzt, die jeweils eine Sample- Spannung zum Abtastzeitpunkt darstellen. Diese binären Worte werden gespeichert und verwendet, um eine Signalform auf dem Bildschirm zu rekonstruieren. – d.h. eine Signalform wird zuerst gespeichert, bevor sie dargestellt wird – es handelt sich **nicht** um eine direkte Anzeige des am Eingang anliegenden Signals.

Die Speicheradresse gibt die zeitliche Position des Samples in Bezug auf den Startpunkt der Aufzeichnung wieder. Die Zeitablenkung der analogen Oszilloskope wird bei den DSO durch einen Adresszähler realisiert. Das Eingangssignal wird daher in der Form gespeichert, dass die Amplitude zu einem bestimmten Zeitpunkt als Datenwort an der zugehörigen Adresse im Speicher steht.

Die Geschwindigkeit, mit der die Samples aufgenommen werden, wird **Abtastrate** genannt. Für allgemeine Anwendungen reichen etwa 20 Mega- Samples/Sekunde (20 MS/s) bis zu 200 MS/s.

Vertikale Schreibrichtung (y- Ablenkung)

Die Messsignale werden über BNC- Buchsen (Bayonet Neill Concelman) an die analogen Eingänge angelegt. Diese Eingangssignale werden als Kurvenverlauf (Liniendiagramm) dargestellt. Moderne DSO verfügen zumindest über 2 unabhängige analoge Kanäle. Die Aufzeichnung der Signale erfolgt parallel, so dass keine Informationen durch Kanalschaltungen verloren gehen können.

Empfindlichkeitseinstellung (pro Kanal)

Die Empfindlichkeit ist in V/div angegeben und in 1-2-5 Schritten (10mV/div, 20mV/div, 50mV/div, 100mV/div) einstellbar. Manchmal ist auch eine stufenlose Empfindlichkeitseinstellung (VAR, uncalibrated, uncal) möglich.

AC/DC - Kopplung und Eingangsimpedanz (pro Kanal)

Mit dem Kopplungseinsteller wird vorgegeben, wie das Eingangssignal von der BNC- Eingangsbuchse an der Frontplatte an das vertikale Ablenkensystem angeschaltet wird:

- **AC** (DC und AC unter ca. 10Hz abgeblockt, über 10Hz werden nur die AC-Anteile angezeigt)
- **DC** (direkte Signalverbindung, AC und DC wird angezeigt, Mischgrößen)
- **GND** (Eingangssignal kommt nicht zur Anzeige, der Eingang wird auf Masse gelegt; Abgleich der Position der Nulllinie dieses Kanals mittels Positions-Einsteller)

Eingangsimpedanz des Oszilloskopes:

- $1\text{M}\Omega$ // ca. 25pF (jeder analoge Eingang, belastet das Messobjekt wenig)
- 50Ω wahlweise (hat nicht jedes Gerät, Anwendung bei 50Ω -Quellen bei HF-Messungen).

Vertikale Position (pro Kanal)

Verschiebung der zugehörigen Schreibspur auf dem Bildschirm in Y-Richtung.

Invertierung von Kanälen

Mit der Funktion „invert“ ist die Invertierung eines Kanals möglich.

Bandbreite und Bandbreitenbegrenzung des Oszilloskopes

Der Frequenzgang des vertikalen Systems entspricht einem Tiefpass. Die im Datenblatt angegebene maximale Frequenz des vertikalen Systems ist die Grenzfrequenz dieses Tiefpasses und bedeutet, dass die dargestellte Spannung bereits um 3dB ($=0,7$) vom tatsächlichen Eingangssignal abweicht. Damit kann in der Nähe der Grenzfrequenz nicht mehr genau gemessen werden. Rechtecksignale werden verschliffen.

Bei DSO mit sehr hoher Bandbreite (100MHz und mehr) kann die Bandbreite manuell auf ca. 20 MHz reduziert werden (**Bandwidthlimit, BWL**). Dies bewirkt bei Messungen von tieffrequenten Signalen mit überlagerten Störanteilen eine Verringerung des Rauschens und der Hochfrequenzstörungen.

Horizontale Schreibrichtung (x oder t- Ablenkung)

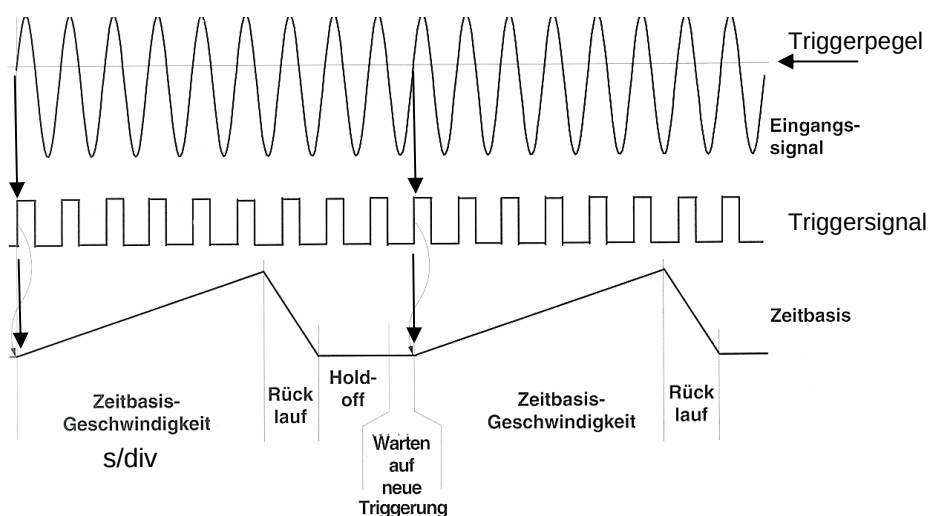
Zeitbasis

Oszilloskope stellen die Eingangssignale über der Zeit dar, daher muss die horizontale Ablenkung proportional zur Zeit erfolgen. Die horizontale Ablenkung (X-Achse) wird von der Zeitbasis gesteuert (digitaler Sägezahngenerator, im Prinzip ein Adresszähler, der hochgezählt wird). Die Zeitbasisgeschwindigkeit wird in s/div angegeben und reicht bei typischen DSO von 20 ns/div bis 50 s/div, wobei diese ebenfalls in einer 1-2-5 Folge und zusätzlich manchmal VARIabel einstellbar sind.

Zeitbasisdehnung

Der Zeitmaßstab kann um das Zehnfache gedehnt werden. Damit ist aber ein Verlust an Auflösung verbunden, weil nur der Speicherinhalt in Zeitrichtung „vergrößert“ dargestellt wird.

Funktionsablauf der Zeitbasis



Die Triggerung ist notwendig, um ein periodisches Signal so aufzeichnen zu können, dass der Startpunkt der Aufzeichnung immer an der gleichen Phasenlage des Eingangssignals zu liegen kommt. Dadurch entsteht der Eindruck eines stehenden Bildes und ermöglicht eine sinnvolle Bildauswertung. Ein nicht getriggertes oder nicht triggerbares Signal „läuft durch“ und ergibt kein stehendes Bild.

Einsteller für horizontale Position

Mit der Funktion „X-POS“ kann die Schreibspur horizontal auf dem Bildschirm verschoben werden.

Betriebsarten der Zeitbasis

- Normal: die Zeitbasis muss getriggert werden (kein Triggersignal – keine Schreibspur). Ein Eingangssignal muss groß genug sein, um den Trigger auszulösen. Ohne Trigger wird der jeweils zuletzt aufgenommene Speicherinhalt dargestellt und kann ein Signal vortäuschen.
- Automatisch: die Zeitbasis läuft auf einer niedrigen Frequenz freilaufend. Wird verwendet, wenn kein Signal vorliegt, auf das getriggert werden kann (z.B. Gleichspannung). Wenn kein Signal anliegt, wird die Schreibspur zur Nulllinie (logisches Verhalten eines Voltmeters).
- Single: Die Triggerschaltung wird in die Bereit-Position gebracht (armed, ready). Beim Triggern erfolgt ein einmaliger Aufzeichnungsvorgang. Darauf folgende Triggerereignisse werden ignoriert, bis durch Drücken der Taste „Single“ oder „Reset“ das DSO neuerlich armiert (= „scharf“) wird. Damit können Schaltvorgänge dargestellt werden.

Triggerquelle

Die Auswahl der Triggerquelle CH1, CH2, Netz (mains), intern oder extern ist über die Menüführung möglich. Dadurch wird bestimmt, von welchem Signal das Triggerkriterium abgeleitet wird (AC oder DC-Kopplung). Filter können zugeschaltet werden: HF- suppression, NF- suppression, TV (horiz. oder vert.).

Triggerpegel und Triggerflanke

Mit der Einstellung „Triggerlevel“ kann der Spannungspegel eingestellt werden, bei dessen Überschreiten die Triggerung die Zeitbasis und damit die Aufzeichnung startet.

Mit der Auswahl der Flanke (Slope) wird vorgegeben, ob die Triggerung auf einer ansteigenden („positiven“) oder abfallenden („negativen“) Flanke des Quellensignals erfolgt.

Roll- Mode

Mit dem DSO können auch sehr langsame Vorgänge dargestellt werden. Das Eingangssignal wird laufend (langsam) abgetastet und in den Speicher geschrieben. Der Speicher wird jedoch schnell ausgelesen und auf dem Bildschirm dargestellt. Es erscheint das Signal so als ob es über das Bild „rollt“.

Menüführung

Die Bedienung eines DSO erfolgt über ein SW- gesteuertes Menü, das über die Fronttasten abrufbar ist. Die verschiedenen Funktionen sind dabei bei Softkeys je nach Menüzustand hinterlegt, wobei deren Bedeutung aus dem Kontext logisch folgt. DSO können meist auch über eine PC- Schnittstelle fernbedient werden.

Messmöglichkeiten mit DSO

Cursormessung und mathematische Funktionen

Ein DSO erlaubt das bequeme Vermessen eines Signalverlaufes mit 2 horizontalen oder/und 2 vertikalen Hilfslinien, den sog. Cursors. Dabei wird bei vertikalen Cursors die Zeitdifferenz zwischen diesen Linien, und bei horizontalen Cursors die Spannungs Differenz angezeigt. Die Cursors müssen dabei einem Kanal zugeordnet werden und können über der Signaldarstellung verschoben werden.

Manche DSO besitzen mathematische Funktionen, mit derer Hilfe eine Vielzahl von Kennwerten des Signals (Mittelwert, Effektivwert,...) direkt berechnet werden können. Auch können zwei oder mehr Kanäle addiert oder multipliziert werden (Leistungsberechnung).

Peak- Detect (Spitzendetektion)

Diese Funktion erlaubt es, ein Signal, das mit kurzen Spitzen (Spikes oder Störungen) überlagert ist, so darzustellen, dass das Auftreten solcher Spitzen erkannt wird. Während einer Abtastung wird dabei die maximal auftretende Signalspannung innerhalb des Abtastzeitfensters gespeichert.

Averaging (Mittelung)

Ist ein periodischer Signalverlauf mit (mäßig) starken unregelmäßigen Schwankungen, wie z.B. Rauschen oder Spikes, behaftet, kann es durch Mittelung „average“ geglättet werden. Dabei mitteln sich alle Anteile des Signals, die sich nicht regelmäßig wiederholen, in der Darstellung weg. Die Anzahl der Mittelungen kann eingestellt werden. Bei nichtperiodischen Signalen kann averaging nicht sinnvoll angewendet werden.

Besonderheiten im Betrieb von DSO

X-Y Betrieb

Beim X-Y Betrieb wird die Zeitbasis außer Funktion gesetzt. Aus dem Messobjekt werden zwei Signale über die analogen Eingangskanäle abgenommen. Ein Eingangssignal wird dabei zur Darstellung in horizontaler Richtung (X), ein zweites Eingangssignal in vertikaler Richtung (Y) verwendet. Diese Betriebsart kann zur Darstellung von Kennlinien verwendet werden (z.B. x-Richtung entspricht U, y-Richtung entspricht I).

Aliasing (Unterabtastung)

Um ein abgetastetes Signal eindeutig wieder darstellen zu können, muss die Abtastrate mindestens der doppelten Signalfrequenz entsprechen (Abtasttheorem von Shannon).

Ist die Abtastrate geringer als die doppelte Signalfrequenz, kann es zu „stehenden“ Bilddarstellungen kommen, die einen Signalverlauf vortäuschen, der in der Realität nicht existiert. Zur Vermeidung ist es wichtig, die Zeitbasis zu verändern und das dargestellte Signal zu beobachten. Das Auftreten von Unterabtastung kann dadurch beurteilt und vermieden werden.

Bei Unterabtastung lässt sich meist der Trigger nicht zufrieden stellend einstellen.

Dokumentation des Messergebnisses bei digitalen Oszilloskopen:

Der Bildinhalt von DSO kann meist auf einem Drucker ausgedruckt werden. Viele DSO erlauben weiters das Abspeichern von Bildern über Schnittstellen (RS232, USB) auf Speichermedien (USB- Sticks) oder in einem PC. Mittels Menüführung über die Bedienoberfläche ist dabei die jeweilige Schnittstelle passend einzustellen. Die Schnittstellen sind mit den üblichen PC- Schnittstellen kompatibel.

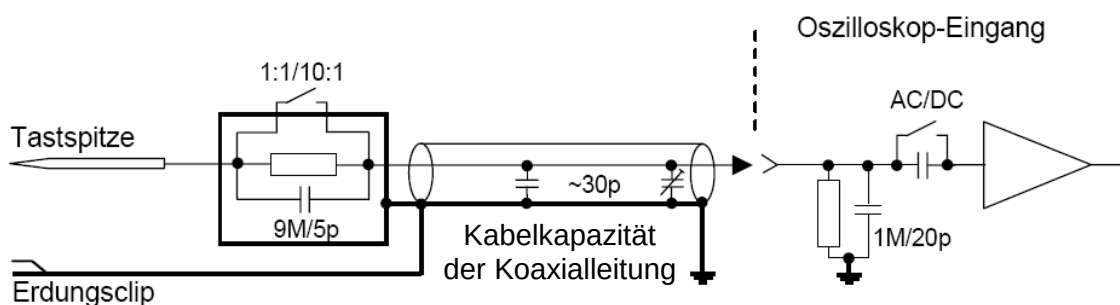
Centronix oder IEEE Schnittstellen sind heute nur mehr selten in Verwendung.

Tastköpfe

Zum Abgreifen von Signalen aus einer Schaltung werden Tastköpfe verwendet. Diese beinhalten einen Spannungsteiler 10:1 und belasten das Messobjekt daher nur mit etwa $10\text{M}\Omega // 2,5\text{pF}$. Die y-Empfindlichkeit ist dabei natürlich um den Faktor 10 verringert, was bei der Ablesung berücksichtigt werden muss (Einstellung im y-Kanal- Menü).

Bei der Darstellung schneller Signale **muss** in der Elektronik ein Tastkopf 10:1 verwendet werden, damit geringere Belastungen des Messobjektes auftreten und Reflexionen vermieden werden. Reflexionen verfälschen die Signale und führen zu Fehlablesungen. Schlimmsten Falles führt das Messen ohne Tastkopf zur Fehlfunktion des Messobjektes.

Da meist die direkte Darstellung in der y-Skala auf 5V/div. oder 10V/div. begrenzt ist, gibt es für die Messung großer Spannungen Tastköpfe 100:1 oder auch 1000:1, die aber eine entsprechende Spannungsfestigkeit und für Hochspannung geeignete Konstruktion haben müssen.



Zum Abgleich (Kompensation) ist ein Kondensator im Tastkopf als Drehkondensator einstellbar ausgeführt. Dazu legt man ein Rechtecksignal an und stellt die Darstellung der Messkurve auf gleichmäßig horizontalen Dachverlauf ein. Als Signalquelle besitzen die DSO dazu meist einen Kalibrierenausgang. Die Messleitung der Tastköpfe ist sehr empfindlich gegen mechanische Beschädigung (sehr dünner Draht in der Koaxialleitung), so dass der Umgang mit einem Tastkopf sehr sorgfältig erfolgen muss.

Erd- und Masseverbindungen

Das metallische Gehäuse netzbetriebener Oszilloskope, d.h. die Gerätemasse, liegt meist an Schutzerde (Schutzklasse 1). Damit ist über den Außenleiter der BNC- Buchsen auch ein Pol des Messsignals an Masse gelegt und damit geerdet. Dies ist bei den Messungen stets zu beachten. Bei Messungen an empfindlicher Elektronik ist diese Erdverbindung besonders zu berücksichtigen. Man legt üblicherweise den Masseanschluss des Tastkopfes an den Schaltungsnullpunkt des Messobjektes. Hat das DSO mehrere Signaleingänge, so sind deren Massen üblicherweise verbunden.

Sondergeräte, vor allem batteriebetriebene DSO, können potentialgetrennte y- Kanäle besitzen, bei denen die Masseanschlüsse der BNC- Buchsen eine bestimmte Spannungsfestigkeit (meist 500 V~) gegeneinander aufweisen.

Will man „erdfrei“ messen (z.B. an netzbetriebenen Geräten oder Schaltungen der Leistungselektronik), so sind geeignete **Trennverstärker** oder **Wandler** einzusetzen. Diese erlauben den erdfreien Abgriff des Messsignals. Auf deren Spannungsfestigkeit (Isolation) ist zu achten.

Die Verwendung **batteriebetriebener** DSO ist ebenfalls möglich. Das erdfreie Messen erfordert besondere Vorsicht beim Auftreten hoher Spannungen gegen Erde!

Keinesfalls darf die Schutzerde eines Oszilloskopes aufgetrennt werden !

Kommen in einem Messaufbau verschiedene Erdverbindungen vor, die große Schleifen bilden und damit eine große Fläche einschließen, so ist die Gefahr von Induktionsströmen gegeben. Auch ist das Verbinden unterschiedlicher Erdanschlüsse über die Tastkopfleitungen zu vermeiden, weil durch Erdpotenzialdifferenzen verursachte, erhebliche Ausgleichströme auftreten können. Diese können zumindest die Messung verfälschen oder im Extremfall zur Zerstörung der Messleitungen oder der Eingangsstufen der Kanäle des Oszilloskopes führen.

Bei der Einbindung von PCs in die Messanordnung ist zu beachten, dass die Erdverbindung des PC über die Datenschnittstelle an das Oszilloskop gelangen kann und damit Erdschleifen entstehen können. Weiters ist damit zu rechnen, dass von einem PC erhebliche Störstrahlung ausgeht, die das Messergebnis beeinflussen kann. Als Abhilfe bietet sich die Verwendung von optischen Datenschnittstellen an (z. B. serielle Lichtleiterverbindung).