

Das Oszilloskop – eine elementare Einführung

1. Das herkömmliche (analoge) Oszilloskop

Das analoge Oszilloskop ist gleichsam um die Katodenstrahlröhre herumgebaut (Abb. 1).

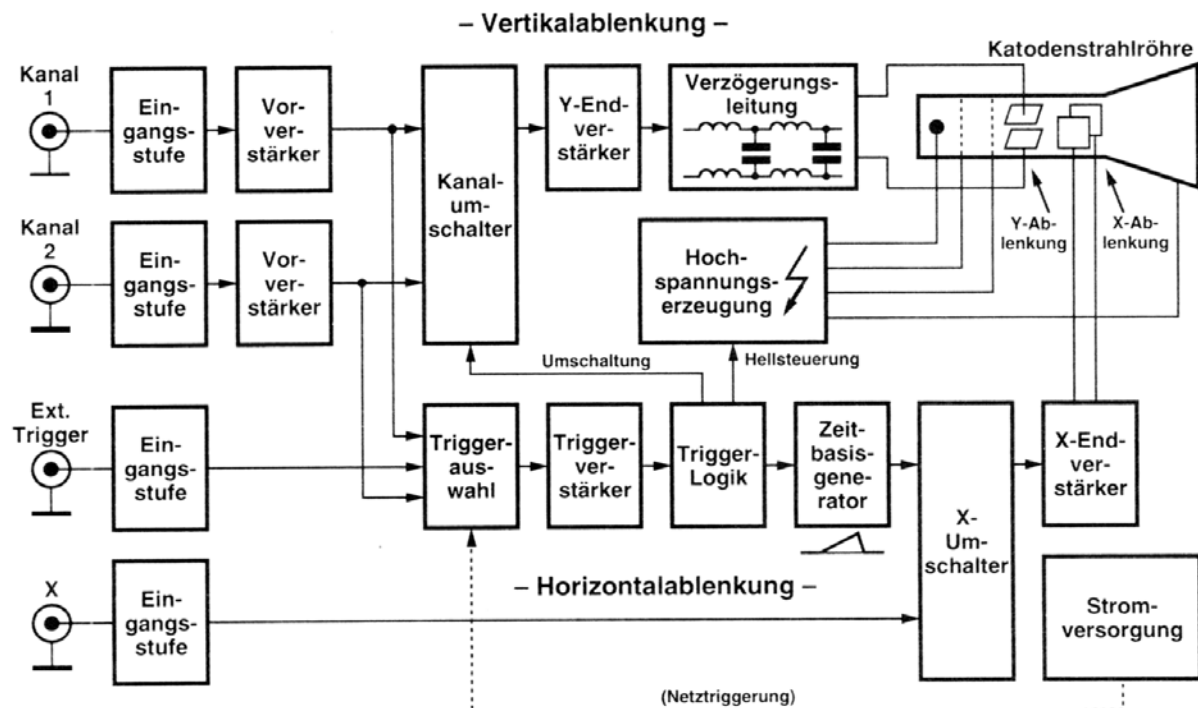


Abb. 1 Blockschaltbild eines analogen Oszilloskops

Katodenstrahlröhren (Bildröhren) für Oszilloskope haben elektrostatistische Strahlableitung. Die zu messende Spannung wird an die Ablenkplatten angelegt, die den Strahl nach oben und unten auslenken (Y-Richtung, Vertikalablenkung). Um den zeitlichen Verlauf des zu messenden Signals sichtbar zu machen, wird der Strahl mit gleichbleibender Geschwindigkeit von links nach rechts geführt (X-Richtung, Horizontalablenkung). Hierzu wird eine sägezahnförmige Ablenkspannung (Zeitbasis) erzeugt.

Zweikanaloszilloskope

In seiner sozusagen klassischen Form ist das Oszilloskop ein Gerät, das den zeitlichen Verlauf eines einzelnen Signals darstellen kann. Es ist aber oft erforderlich, einen Signalverlauf mit Bezug auf einen anderen zu beobachten (Beispiel: ein Datensignal bezogen auf das jeweilige Erlaubnis- oder Steuersignal). Das erfordert, beide Signale gleichzeitig darzustellen. Deshalb sind die meisten Oszilloskope als Zweikanaloszilloskope ausgelegt; der Y-Endverstärker wird in schneller Folge zwischen zwei Eingangsstufen mit nachgesetzten Vorverstärkern (Kanälen, Channels) umgeschaltet. Damit wird dem Auge der Eindruck vermittelt, daß zwei Signalverläufe gleichzeitig auf dem Bildschirm erscheinen.

Mehrkanaloszilloskope

Es liegt nahe, das Prinzip der Kanalumschaltung auf mehr als zwei Kanäle zu erweitern. Marktgängige Mehrkanaloszilloskope haben typischerweise 3 oder 4 Kanäle.

Kanäle und Signalspuren

Die Anzahl der Kanäle (Channels) und die der gleichzeitig sichtbaren Signalspuren (Traces) ist nicht immer gleich. Höherentwickelte Oszilloskope können die zugeführten Signale sozusagen unter verschiedenen Blickwinkeln gleichzeitig darstellen. Beispiele: (1) alle Kanäle einzeln, (2) jeweils zwei Kanäle additiv oder subtraktiv überlagert, (3) dasselbe Signal in zwei Spuren mit verschiedenen schneller Ablenkung (bei hoher Ablenkrate sind mehrere Impulszüge oder Signalperioden, bei niedriger hingegen bestimmte Einzelheiten - z. B. eine Impulsflanke - deutlicher zu sehen). So gibt es beispielsweise Oszilloskope mit „4 Channels, 10 Traces“, „3 Channels, 8 Traces“ usw.

Überblick über die Funktionseinheiten

Eingangsstufen

Typische Oszilloskopeingänge (Abb. 2) lassen sich zwischen Gleichspannungskopplung (DC), Wechselspannungskopplung (AC) und Masse (0 V oder GND) umschalten. Abschwächer (Attenuators) sind Spannungsteiler zur Meßbereichswahl. Deren Besonderheit: das Teilverhältnis muß über den gesamten Frequenzbereich konstant bleiben. Bei hohen Frequenzen sind aber die parasitären Kapazitäten nicht mehr vernachlässigbar. Der Ausweg: frequenzkompensierte Spannungsteiler. Hierbei sind den Teilerwiderständen Kondensatoren parallelgeschaltet. Bei niederen Frequenzen bestimmen die Widerstände das Teilverhältnis, bei höheren die Kondensatoren. Die Frequenzkompensation (gleiches Teilverhältnis über den gesamten Frequenzbereich) ist gegeben, wenn die in der Abbildung genannte Gleichung erfüllt ist.

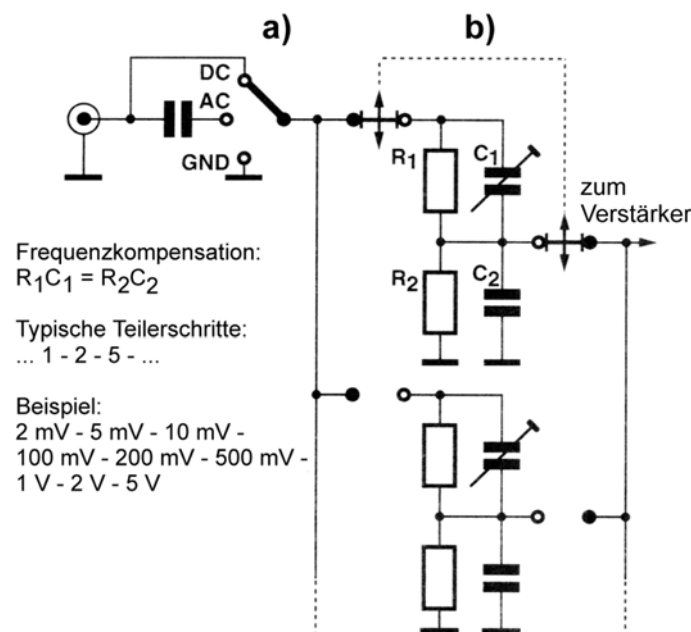


Abb. 2 Aufbau einer Oszilloskop-Eingangsstufe. a) Eingangsumschaltung; b) frequenzkompensierter Eingangsspannungsteiler

Hinweise:

1. Bei Wechselspannungskopplung wird nur der Wechselspannungsanteil des Signals durchgelassen (von einer gewissen unteren Grenzfrequenz an, die üblicherweise bei einigen Hz liegt).
2. Eingänge kann man unbedenklich auch dann auf Masse schalten, wenn das zu prüfende Signal angeschlossen ist (da nicht das Signal, sondern der Eingang des nachfolgenden Verstärkers mit Masse verbunden wird). Anwendung: Darstellung des Massepotentials (Nulllinie), um Amplitudenablesungen darauf beziehen zu können.
3. Nicht alle Eingänge haben Wahlmöglichkeiten für alle Kopplungsarten und schaltbare Spannungsteiler (beispielsweise ist für den Triggereingang nur ein Potentiometer vorgesehen, der Spannungsteiler für den X-Eingang hat nur wenige Stufen usw.).

Achtung:

- bei manchen Oszilloskopen mit mehr als 2 Kanälen sind nur die Kanäle 1 und 2 mit voll ausgebauten Eingangsumschaltern bestückt. Ab Kanal 3 sind nur wenige Bereiche (2...4) vorgesehen (oft ist es sogar nur ein Bereich). Die Nutzbarkeit dieser Kanäle ist deshalb vergleichsweise beschränkt (z. B. auf das Messen in Digitalschaltungen).
- die Meßbereiche sollten ausschließlich über den Eingangsspannungsteiler ausgewählt werden. Die Bereichseinstellung durch Umschalten der Verstärkung ist eine Sparlösung. Deren Nachteil: Wird die Verstärkung erhöht (um den Verstärker empfindlicher zu machen), so sinkt dadurch die obere Grenzfrequenz (was üblicherweise nicht im Prospekt steht). Im Zweifelsfall: nachprüfen.

Vorverstärker

Die Vorverstärker heben den Pegel der Eingangssignale soweit an, wie dies für die Weiterverarbeitung im Oszilloskop notwendig ist. Der Eingang eines Vorverstärkers muß hinreichend hochohmig sein, um den Eingangsspannungsteiler bzw. das zu prüfende Signal nicht übermäßig zu belasten. Der Ausgang muß niederohmig genug sein, um das verstärkte Signal an die jeweils nachgeschalteten Funktionseinheiten liefern zu können. Vorverstärker erlauben typischerweise eine stufenlose Feineinstellung der Signalverstärkung (über Potentiometer).

Kanalumschalter

Über den Kanalumschalter wird jeweils ein Vorverstärker-Ausgang zum Y-Endverstärker durchgeschaltet. Betriebsarten der Umschaltung:

- „Chopped“: vielfaches Umschalten innerhalb einer Darstellperiode. Während der Strahl von links nach rechts über den Bildschirm läuft, wird sehr schnell immer wieder zwischen beiden Kanälen umgeschaltet. Die Signalverläufe werden also regelrecht „zerhackt“ dargestellt. (Die Umschaltfrequenz liegt typischerweise bei einigen hundert kHz.) Diese Betriebsweise ist bei eher geringen Horizontalablenkfrequenzen sinnvoll.
- „Alternate“: Umschalten nach jeder Darstellperiode. Während der ersten Darstellperiode ist der erste Kanal aktiv, beim Strahlrücklauf wird auf den zweiten Kanal umgeschaltet usw. Die beiden Kanäle werden also abwechselnd dargestellt. Dies ist die bevorzugte Betriebsweise bei eher hohen Horizontalablenkfrequenzen.
- Einzeldarstellung des am Bedienfeld ausgewählten Kanals.
- Überlagerung der Signale beider Kanäle (Betriebsart „Add“ bzw. „Sub“ oder auch „A + B“, „A - B“). Es wird nur ein Signalverlauf dargestellt, der sich entweder aus der Addition oder der Subtraktion der Signalspannungen beider Kanäle ergibt. Die anwendungspraktisch recht wichtige Subtraktion (Spannungsdifferenzmessung) ist entweder direkt als auswählbare Betriebsart vorgesehen, oder sie ergibt sich als Kombination der Betriebsarten ADD und INVERT (= Spannungsumpolung in einem Kanal).

Endverstärker

Die elektrostatische Strahlablenkung erfordert vergleichsweise hohe Ablenkspannungen. Um diese zu liefern, muß jedem Plattenpaar der Bildröhre ein Verstärker vorgeschaltet sein. Der Y- bzw. Vertikalverstärker ist der Meßverstärker im eigentlichen Sinne; ihm wird das darzustellende Signal zugeführt (Y-Eingang). In den meisten Geräten kann aber auch der X- bzw. Horizontalverstärker vom eingebauten Zeitbasisgenerator auf einen eigenen Eingang umgeschaltet werden.

Verzögerungsleitung

Abb. 3 veranschaulicht deren Aufgabe.

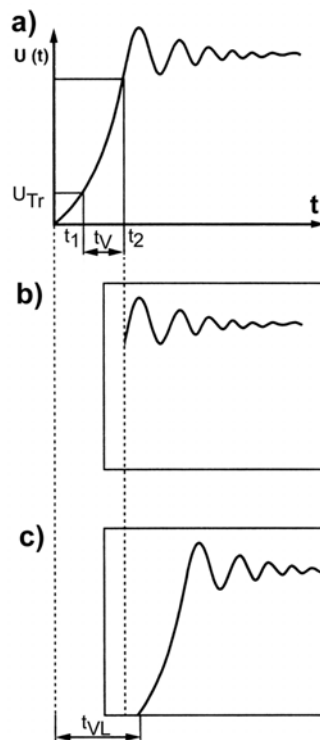


Abb. 3 Wirkungsweise der verzögerten Vertikalablenkung

- diese Signalflanke soll dargestellt werden. Dementsprechend müssen wir die Horizontalablenkung triggern. Wir brauchen also irgendeine Bezugsgröße, um den Darstellablauf auszulösen. Wenn dafür nichts anderes verfügbar ist als das darzustellende Signal selbst (und das ist meistens der Fall), müssen wir „intern“ triggern. Das heißt, der Sägezahn wird ausgelöst, wenn das Signal eine gewisse Triggerschwelle U_{Tr} überschritten hat. Von diesem Triggerzeitpunkt t_1 an vergeht allerdings noch eine gewisse Verzögerungszeit t_v , bis die horizontale Strahlablenkung tatsächlich beginnt.
- erst mit dem Einsetzen der Horizontalablenkung (zum Zeitpunkt t_2) entsteht ein auswertbares Bild. Ohne Verzögerungsleitung könnten wir also nur den Signalverlauf nach t_2 sehen; nahezu die gesamte Flanke würde für die Darstellung verlorengehen.
- damit die gesamte Signalflanke sichtbar wird, muß das Signal auf seinem Weg zur Vertikalablenkung um wenigstens die Zeit verzögert werden, die vom Nulldurchgang bis zum Beginn der horizontalen Strahlablenkung vergeht (t_{VL}).

Preisgünstigere Oszilloskope haben keine Verzögerungsleitung. Damit lassen sich manche Signalverläufe nur dann vollständig beobachten, wenn es gelingt, eine zweite Signalperiode auf dem Bildschirm darzustellen oder mit einem passenden anderen Signal zu triggern.

Triggerauswahl

Triggern heißt, zu bestimmen, wann ein Meßablauf (beim Oszilloskop: die horizontale Strahlableitung) ausgelöst wird. Herkömmliche Oszilloskope werten hierzu ein Triggersignal aus. Die üblichen Wahlmöglichkeiten: (1) das Triggersignal wird aus einem der anzuzeigenden Signal abgeleitet (interne Triggerung), (2) das Triggersignal wird von außen gesondert zugeführt (externe Triggerung). Bei manchen Geräten ist es möglich, (3) ein netzfrequentes Triggersignal auszuwählen (Netztriggerung). Die Strahlableitung wird ausgelöst, wenn sich der Strahl am linken Bildschirmrand befindet und wenn das Signal die Triggerbedingung erfüllt.

Triggerverstärker und Triggerlogik

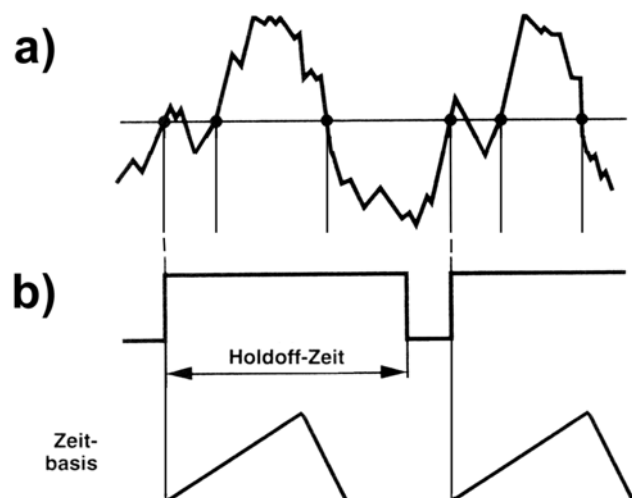
Diese Funktionseinheiten wirken zusammen, um das Triggersignal zu bewerten und die Horizontalableitung auszulösen. Typische Wahl- und Einstellmöglichkeiten betreffen:

- die Kopplung des Triggersignals: Gleichspannungskopplung (DC) oder Wechselspannungskopplung (AC),
- den Triggerpegel,
- die Richtung der Signaländerung (Triggerflanke (Slope)): es kann entweder auf die positive oder die negative Signalflanke getriggert werden,
- die wahlweise Unterdrückung bestimmter Frequenzanteile: HF-Unterdrückung, NF-Unterdrückung, Rauschunterdrückung.

Manche Oszilloskope bieten zudem die Möglichkeit, auf Fernseh-Synchronsignale zu triggern. Dabei bewertet das Oszilloskop das Signal so, als ob es sich um ein Fernseh (FBAS-) Signal handelt. Bestimmte Pegel und Impulsbreiten werden dann als horizontale oder vertikale Synchronimpulse interpretiert (TV Sync Separator).

Holdoff-Einstellung

Ein mit „Holdoff“ beschrifteter Einstellregler ermöglicht es, eine Austastzeit einzustellen, in der die Annahme von Triggerimpulsen unterdrückt wird. Die Anwendung: es kann vorkommen, daß das gewählte Trigger-Signal einen Verlauf hat, der mehrere Gelegenheiten zum Triggern bietet. Deshalb kommt keine stabile Darstellung zustande. Über die Holdoff-Einstellung lassen sich unpassende Trigger-Gelegenheiten ausschließen (Abb. 4).



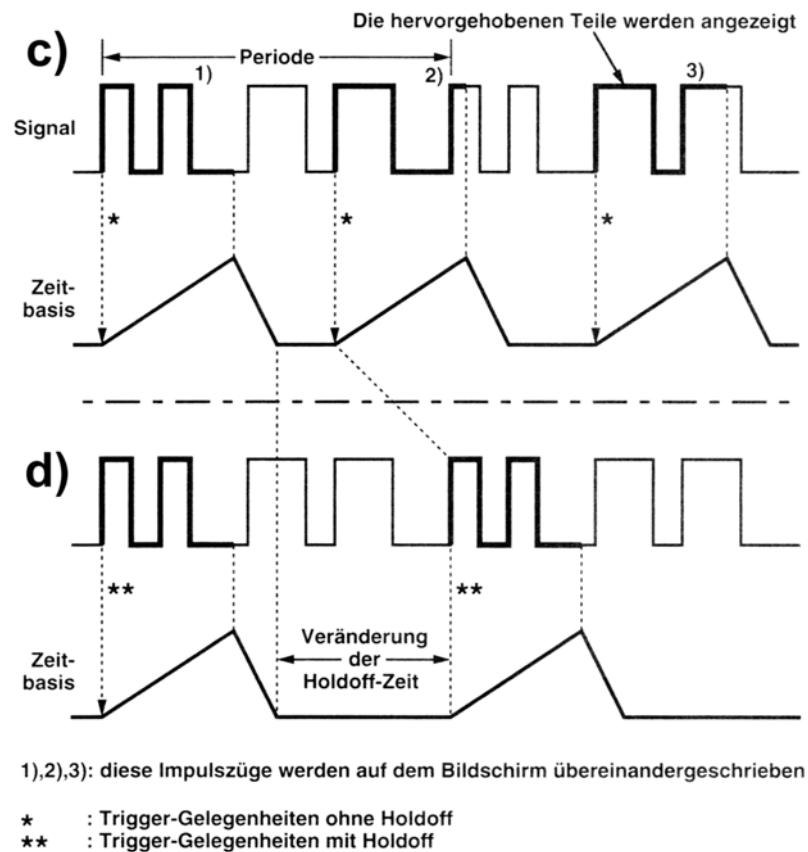


Abb. 4 Zum Gebrauch der Holdoff-Einstellung

- das Signal ist so zerklüftet, daß sich während einer Signalperiode mehrere Gelegenheiten zum Triggern bieten,
- mittels der Holdoff-Einstellung wird dafür gesorgt, daß die nächste Trigger-Gelegenheit erst in der folgenden Signalperiode wirksam wird,
- nach dem Abklingen des ersten Sägezahns ergibt sich wieder eine Gelegenheit zum Triggern. Dann wird aber ein anderes Stück des Signalverlaufs angezeigt. Die Folge: es erscheint ein instabiles oder unklares und nicht auswertbares Bild, da verschiedene Ausschnitte der Signalperiode übereinandergeschrieben werden.
- durch Wahl einer passenden Holdoff-Zeit werden die unerwünschten Trigger-Gelegenheiten ausgeblendet, so daß jedesmal derselbe Ausschnitt der Signalperiode dargestellt wird.

Zeitbasisgenerator

Der Zeitbasisgenerator erzeugt eine zeitlineare (sägezahnförmige) Ablenkspannung. Die Ablenkdauer bzw. Ablenkgeschwindigkeit ist über Wahlschalter und Potentiometer einstellbar.

Betriebsarten:

- normale Triggerung (NORM). Das Triggersignal bewirkt einen Ablenkablauf, danach verharrt der Generator in Ruhe, bis erneut eine Triggerbedingung wirksam wird.
- automatische Triggerung (AUTO). Bei Abwesenheit des Triggersignals wird der Zeitbasisgenerator zyklisch ausgelöst (Freilauf). Liegt gar kein Meßsignal an, ist eine waagerechte Linie zu sehen; kommt ein Triggersignal, geht der Zeitbasisgenerator in den Normalbetrieb über.

X-Umschalter

Der X-Umschalter dient dazu, den X-Verstärker zwischen dem Zeitbasisgenerator und dem X-Eingang umzuschalten.

Der X-Eingang

Es gibt verschiedene Auslegungen:

- direkte Durchschaltung zum X-Endverstärker; demzufolge ist die X-Ablenkung weniger empfindlich als die Y-Ablenkung (es sind höhere Eingangsspannungen erforderlich),
- gesonderter X-Vorverstärker,
- der Vorverstärker beispielsweise des 2. Kanals wird als X-Vorverstärker genutzt. Der Vorteil: X- und Y-Ablenkung haben die gleiche Empfindlichkeit.

Der X-Signalweg hat meistens eine geringere Grenzfrequenz als der Y-Signalweg.

Strom- und Hochspannungsversorgung

Die einzelnen Funktionseinheiten sowie die Bildröhre erfordern eine Vielzahl von Versorgungsspannungen (die Bildröhre benötigt eine Hochspannung von mehreren tausend Volt). Die Schaltungen der Horizontalablenkung wirken auf die Hochspannungsversorgung (bzw. unmittelbar auf die Bildröhre) ein, um den Elektronenstrahl während der fallenden Flanke des Sägezahns (d. h. während des Strahl-Rücklaufs) dunkelzusteuern.

2. Das digitale Speicheroszilloskop

Beim digitalen Speicheroszilloskop (Abb. 5) ist die Bildröhre eine reine Anzeigeeinrichtung. Das eigentliche Meßgerät ist ein schneller Analog-Digital-Wandler, dessen Ausgangswerte in regelmäßiger Folge in einen Speicher geschrieben werden. Dort stehen sie dann zur Auswertung und Anzeige zur Verfügung.

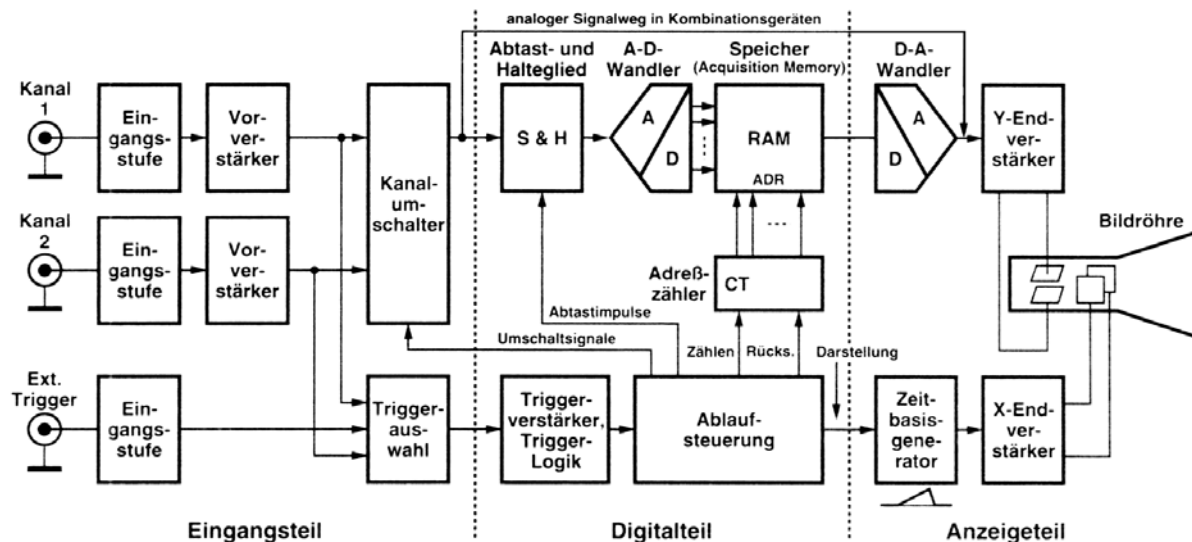


Abb. 5 Blockschaltbild eines digitalen Speicheroszilloskops (DSOs)

Die Abbildung zeigt eine vergleichsweise einfache und überschaubare Auslegung. Eingangsstufen, Vorverstärker, Kanalumschalter und Triggerauswahl sind praktisch genauso aufgebaut wie beim herkömmlichen Analogoszilloskop. Die weiteren Funktionseinheiten:

- Abtast- und Halteglied (Sample & Hold): Das jeweils zu messende Signal wird stichprobenhaft abgetastet. Der abgetastete Analogwert muß solange gehalten werden, bis er digitalisiert worden ist.
- Analog-Digital-Wandler: Das Analogsignal wird in eine Binärzahl umgesetzt, deren Wert der Signalamplitude entspricht (Digitalisierung).
- Speicher (Acquisition Memory): Die aufeinanderfolgenden binären Amplitudenwerte werden in einen Speicher geschrieben, der von einem Adreßzähler fortlaufend adressiert wird.

Ablauf der Erfassung:

1. die Anordnung befindet sich im Ruhezustand; der Adreßzähler steht auf Null.
2. die ausgewählte Triggerbedingung wird wirksam. Daraufhin startet die Ablaufsteuerung den Erfassungsablauf: Abtasten des Signals \rightarrow Wandlung in eine Binärzahl \rightarrow Eintragen in den Speicher \rightarrow Weiterzählen des Adreßzählers. Dieser Ablauf wird solange wiederholt, bis der Speicher voll ist.

Anzeige

Ist der Speicher erst einmal gefüllt, kann man damit anstellen, was man will, beispielsweise den Speicherinhalt in einen Computer übertragen und dort weiterverarbeiten. Eine Bildröhre im Sinne des Analogoszilloskops ist hierfür nicht notwendig (manche DSOs haben einen VGA-Monitor eingebaut, manche einen LCD-Bildschirm). Um die Anzeige aufzubereiten, kann man einen Mikroprozessor vorsehen, der den Speicher ausliest. Die Abbildung zeigt aber eine einfache Lösung, die ohne Mikroprozessor auskommt: Es ist tatsächlich eine Oszilloskop-Bildröhre (mit den zugehörigen Endverstärkern usw.) vorgesehen. Zwecks Darstellung wird der Speicherinhalt wieder von Adresse Null an nacheinander ausgelesen. Synchron zum Auslesen bewirkt ein Zeitbasisgenerator eine horizontale Strahlablenkung. Die ausgelesenen Binärwerte werden über einen Digital-Analog-Wandler in analoge Amplitudenwerte umgesetzt, die ihrerseits die vertikale Ablenkung des Elektronenstrahls bestimmen. So entsteht ein aus einzelnen Bildpunkten (Pixeln) zusammengesetztes Abbild des Signalverlaufs.

Kanalumschaltung

Soll mehr als ein Kanal genutzt werden, so wird üblicherweise nach jeder Signalabtastung umgeschaltet. Bei Zweikanalbetrieb entspricht dann - im Digitalteil - der 1. Binärwert Kanal 1, der 2. Binärwert Kanal 2, der 3. Binärwert wieder Kanal 1 usw. Beide Kanäle teilen sich somit Abtasthardware und Speicher - und vor allem die für die Wiedergabetreue entscheidende Abtastrate (also: genau nachsehen, was im Prospekt wirklich spezifiziert ist). Besser: jeder Kanal hat seinen eigenen A-D-Wandler, Speicher usw.

X-Eingang

Ein besonderer X-Eingang ist nicht üblich. Vielmehr sind X-Y-Betriebsarten vorgesehen, bei denen über einen Kanal die X- und über einen anderen die Y-Werte erfaßt werden.

Kombinationsgeräte

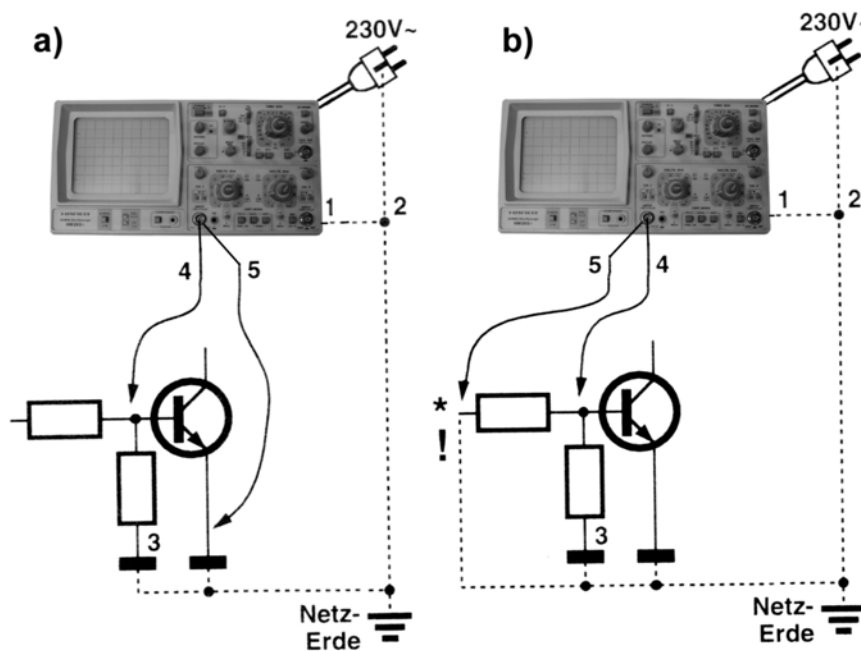
Die Anordnung aus Bildröhre, Endverstärker, Zeitbasisgenerator usw. entspricht weitgehend den jeweiligen Funktionseinheiten eines Analogoszilloskops. Daher liegt es nahe, beide Prinzipien zu kombinieren. Damit die Schaltung von Abb. 5 als Analogoszilloskop arbeitet, muß man eigentlich nur den Digitalteil umgehen, also (1) einen Signalweg vom Kanalumschalter zum Y-Endverstärker vorsehen und (2) die Ablaufsteuerung so gestalten, daß bei Auftreten der Triggerbedingung der Zeitbasisgenerator unmittelbar gestartet wird.

3. Meßpraxis

Wenn wir die elementaren Auswahlgesichtspunkte beachtet haben (Bandbreiten, Abtastraten usw.), unterscheiden sich analoge und digitale Oszilloskope aus Sicht der Anwendungspraxis kaum voneinander (abgesehen davon, daß Digitalgeräte meistens bequemer zu bedienen sind). Deshalb treffen die folgenden Erläuterungen gleichermaßen auf beide Ausführungen zu.

Meßanordnung

Grundsätzlich ist das Oszilloskop ein Spannungsmesser, mit dem positive und negative Spannungen in Bezug auf ein Massepotential (COM = 0 V) meßbar sind. Die meisten Oszilloskope haben Netzspeisung und ein Metallgehäuse, das sowohl mit der Meß-Masse (COM) als auch mit dem Schutzleiter des Netzes (PE) verbunden ist. Alle Oszilloskopeingänge (X, Y, Z, externer Trigger) sehen also stets Spannungen, die auf das Potential des Schutzleiters bzw. auf die Netz-Erde bezogen sind. Aufpassen (Abb. 6)!



1 - Verbindung der Masse der Meßschaltungen (im Oszilloskop) mit dem Gerätegehäuse;
 2 - Verbindung Gerätegehäuse mit Schutzleiter; 3 - Masse der zu prüfenden Schaltung; 4 - Prüfsignalleitung, 5 - Masseleitung.

Abb. 6 Die grundsätzliche Meßanordnung

- das übliche Szenarium des Messens mit dem Oszilloskop. Schaltung und Meßgerät haben ein gemeinsames Massepotential, das über den Schutzleiter mit der Netz-Erde verbunden ist.
- wer so mißt, mißt Mist. Ein Oszilloskop kann man nicht so einfach in eine Schaltung hineinhängen wie ein Multimeter. Der mit der Masseleitung des Meßkabels angetastete Punkt (*) wird nach Masse kurzgeschlossen. Im Beispiel kann der Transistor offensichtlich gar nicht mehr funktionieren – und manchmal kann man durch einen Masseschluß richtig Schaden anrichten.

Elementares Einstellen des Gerätes

Was für jedes Gerät gilt:

- kontrollieren, ob der Meßaufbau Abb. 6a entspricht, ob also alle irgendwie angeschlossenen Oszilloskopeingänge Spannung gegen Masse sehen. Weitere Prüfung: liegen alle Spannungen in den zulässigen Grenzen (oder ist z. B. ein Hochspannungstastkopf vorzuschalten)?
- im Zweifelsfall – wenn wir gar nicht wissen, was uns als Signal angeboten wird –: mit höchstem Meßbereich, größtem Teilungsfaktor und Wechselspannungskopplung (AC) anfangen,
- Oszilloskop einschalten, hochlaufen lassen, Meßanordnung in Betrieb setzen.

Ganz moderne Geräte:

Taste AUTO SCALE (o. ä.) drücken. Das Schirmbild dann durch manuelles Einstellen soweit ändern, bis das zu sehen ist, was wir sehen wollen. Im Verdachtsfall Oszilloskop mit bekannten Signalen prüfen.

Herkömmliche Geräte:

Das Schirmbild durch manuelles Einstellen solange beeinflussen, bis das zu sehen ist, was wir sehen wollen. Wenn gar nichts zu sehen oder alles hoffnungslos verstellt ist:

- Oszilloskop vom Meßaufbau trennen,
- Betriebsart: Kanal 1 allein,
- alle Dehnungsfunktionen: aus,
- alle Potentiometer in „kalibrierte“ Position (einrasten),
- Kopplung (Kanal 1): DC,
- Triggersignalquelle: Kanal 1,
- Trigger Holdoff: aus,
- Trigger auf Automatik,
- Zeitablenkung und Ablenkempfindlichkeit: jeweils eine mittlere Position des Wahlschalters,
- der Strahl müßte nun zu sehen sein. Ggf. Y-Verschiebung betätigen, bis Strahl in Bildmitte.
- mit den Reglern für Helligkeit und Fokussierung Strahl scharfstellen.

Kalibrierte und variable Stellungen

Aufpassen! Sind Einstellregler zur Feineinstellung vorgesehen, so gelten die an den Wahlschaltern angegebenen Ablenkkoeffizienten (z. B. in V/DIV und $\mu\text{s}/\text{DIV}$) nur dann, wenn sich der jeweilige Einstellregler in Stellung „kalibriert“ befindet (kenntlich durch einen fühlbaren Rastpunkt beim Betätigen). Weiterhin sind eventuell eingeschaltete Dehnungsfunktionen und die Teilungsfaktoren vorgeschalteter Tastköpfe einzurechnen.

Dehnungsfunktionen

Die meisten Oszilloskope können die Signaldarstellung in vertikaler und horizontaler Richtung um feste Faktoren dehnen bzw. vergrößern (Y - bzw- X-Magnification). Dabei wird der jeweilige Ablenkkoeffizient beispielsweise durch 10 dividiert (was einer 10-fachen Dehnung entspricht). So lassen sich Einzelheiten näher betrachten. Vorsicht: durch Dehnung kann sich die Linearität der Darstellung deutlich verschlechtern.

Die Signalverlaufsdarstellung (Y-t-Betrieb)

In Y-Richtung wird die Signalamplitude erfaßt, in X-Richtung die Zeit (durch fortlaufende Strahlablenkung oder Digitalisierung). Amplituden und Zeiten sind direkt an der Skalenteilung ablesbar.

Amplituden- und Zeitmessung

Es ist lediglich notwendig (Abb. 7), die Werte an der Skalenteilung abzulesen (bzw. auszuzählen) und mit dem jeweiligen Ablenkfaktor zu multiplizieren.

Beispiel: Wir wollen Dauer und Amplitude des Unterschwingers messen. Amplitude: Ablesung = 1,4 Skalenteile (DIV). Der Ablenkfaktor sei 1 V/DIV. Somit messen wir $1,4 \text{ DIV} @ 1 \text{ V/DIV} = 1,4 \text{ V}$. Dauer: Ablesung = ca. 0,6 DIV (geschätzt). Der Ablenkfaktor sei $0,1 \mu\text{s}/\text{DIV}$. Somit messen wir $0,6 \text{ DIV} @ 0,1 \mu\text{s}/\text{DIV} = 0,06 \mu\text{s} = 60 \text{ ns}$.

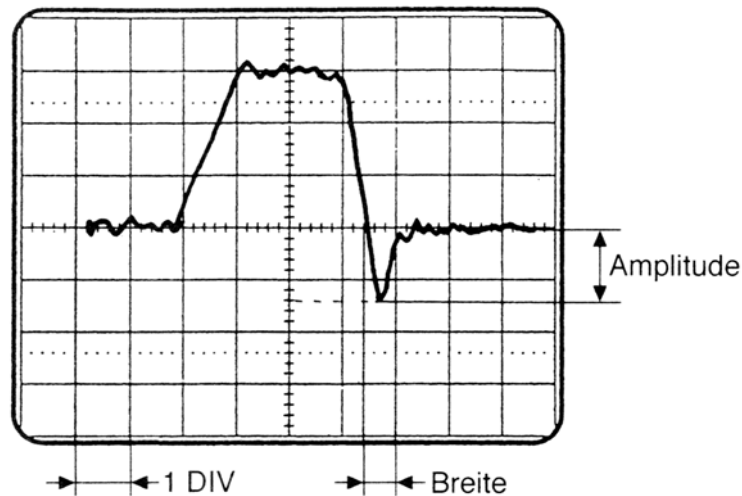


Abb. 7 Amplituden- und Zeitmessung

Rechengänge

Amplitudenwerte sind ggf. mit dem Teilungsfaktor des vorgeschalteten Tastkopfs, gedehnte Zeit- oder Amplitudenwerte mit dem jeweiligen Dehnungsverhältnis zu multiplizieren.

- Beispiel einer Amplitudenmessung mit Tastkopf: Ablesung 2,6 Skalenteile (DIV), Ablenkfaktor 20 mV/DIV, der Tastkopf teilt im Verhältnis 1:10, also Teilungsfaktor = 10. Messung: $2,6 @ 20 \text{ mV} @ 10 = 520 \text{ mV}$.
- Beispiel einer Zeitmessung mit Dehnung: Ablesung 5,2 Skalenteile (DIV), Ablenkfaktor 0,1 $\mu\text{s}/\text{DIV}$, Dehnung 1:10, also Dehnungsverhältnis 1:10 = 0,1. Messung: $5,2 @ 0,1 \mu\text{s} @ 0,1 = 0,052 \mu\text{s} = 52 \text{ ns}$.

Genauigkeiten

Von einfachen Analogoszilloskopen (hier sind alle Meßwerte direkt an der Skalenteilung abzulesen bzw. auszuzählen) kann man - über alles gesehen - nicht mehr als $\pm 5\%$ erwarten. Hochwertige Geräte mit Ziffernwertablesung (Digital Readout) haben Genauigkeiten von $\pm 1\%$ und besser.

Achtung:

Die Genauigkeit der Amplitudenmessung sinkt mit zunehmender Signalfrequenz. Mit einem 100-MHz-Oszilloskop kann man keineswegs einen 100 MHz-Sinus genau ausmessen! (Die Grenzfrequenzangabe betrifft eine Absenkung der Amplitude um 3 dB, d. h. auf das 0,7-fache - was einem Meßfehler von 30% entspricht. Bei bekanntem Frequenzgang läßt sich der Meßfehler rechnerisch korrigieren.)

Cursor-Messung

Manche Oszilloskope haben einstellbare senkrechte und waagerechte Hilfslinien, mit denen man den zu messenden Bereich jeweils eingrenzen kann (die Linien lassen sich über Cursortasten oder - bei Analoggeräten - über Einstellregler betätigen). Mit waagerechten Cursorlinien werden Amplituden, mit senkrechten Zeiten gemessen (Abb. 8). Die entsprechenden Werte sind in Ziffernform direkt ablesbar (erforderlichenfalls muß man nur noch mit dem Teilerfaktor des Tastkopfs multiplizieren). Es gibt Oszilloskope, die Amplituden, Frequenzen usw. automatisch messen können. Einige Typen haben auch ein Tastkopf-Interface, worüber der Teilungsfaktor automatisch abgefragt und verrechnet werden kann.

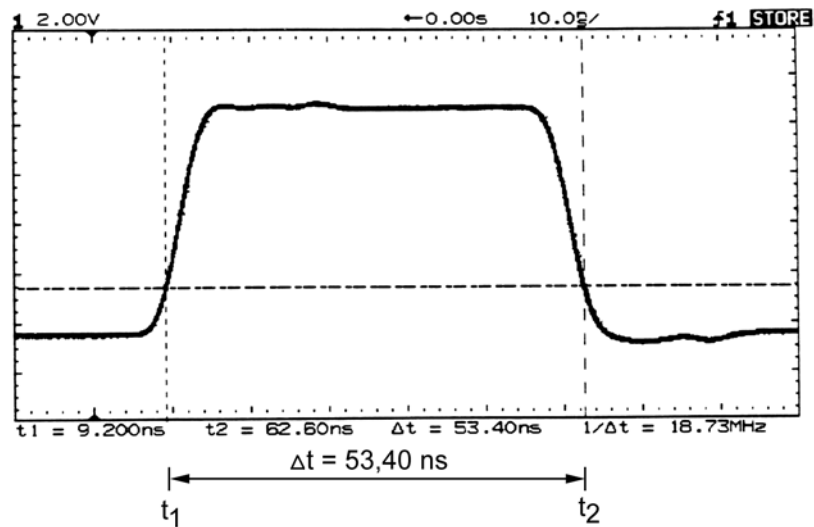


Abb. 8 Beispiel einer Cursor-Messung. Es wird die Impulsbreite gemessen. Der Wert kann unmittelbar abgelesen werden ($\Delta t = 53,40 \text{ ns}$). Die waagerechte Cursor-Linie kennzeichnet die gewünschte Amplitude (nach: Hewlett-Packard/Agilent Technologies)

Hinweise:

1. Wir messen grundsätzlich Spannungen, und zwar Momentan- bzw. Spitzenwerte. Vorsicht bei der Meßbereichswahl: die Spannung Spitze-Spitze (U_{SS}) beträgt oft mehr als das Doppelte des Effektivwertes (Netzwechselfspannung: $U_{SS} \cdot 650 \text{ V}$).
2. Zur Genauigkeit der Cursormessung: In den technischen Daten nachsehen. Manchmal ist die Genauigkeit deutlich geringer als man erwartet. Bei Digitaloszilloskopen auf die Auflösung des Bildschirmes achten. Man kann die Cursorlinien nur um ganze Pixel bewegen. Beispiel: eine LCD-Anzeige habe eine vertikale Auflösung von 128 Pixeln. Das Signal reiche von Spitze zu Spitze über 50 Pixel. Dann entspricht 1 Pixel $1/50 U_{SS}$, das heißt, die Auflösung beträgt 2% des Meßwertes. Beim Ausmessen kleinerer Amplituden ist der Fehler entsprechend größer. Holt man sich den Signalverlauf in einen PC, kann man mit einschlägiger Software meist genauer messen..
3. An den richtigen Stellen messen. Wird automatisch gemessen: darauf achten, was die Automatik wirklich leistet (Abb. 9).

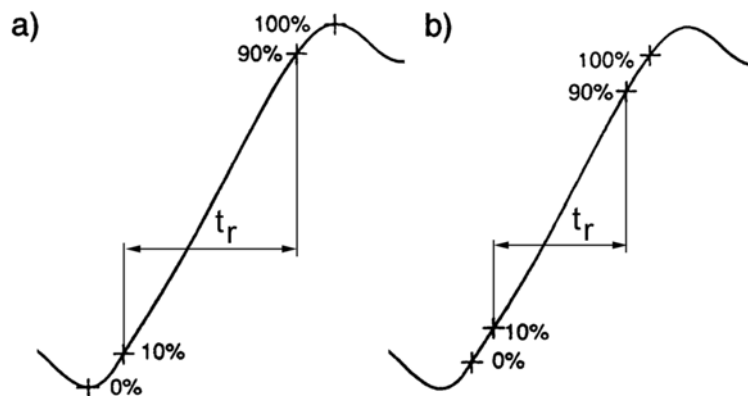


Abb. 9 Messen der Anstiegszeit t_r eines Impulses (nach: Tektronix)

Die Anstiegszeit wird beispielsweise zwischen 10 und 90% der Amplitude des Impulses gemessen.

- falsch! Die Messung wird auf die sichtbaren Spitzen bezogen (bei automatischer Messung: das Gerät interpretiert das Spannungsminimum als 0% und das Spannungsmaximum als 100%).
- richtig! Leichte Über- und Unterschwinger sind normal. Die 10 und 90% der Amplitude müssen auf den jeweils eingeschwungenen Zustand bezogen werden. Wenn wir „zu Fuß“ messen, erkennen wir die eingeschwungenen Zustände sofort, so daß es keine Mühe bereitet, die Skalenwerte abzulesen oder die Cursor-Linien entsprechend anzulegen. Eine Automatik hingegen müßte die Amplituden der eingeschwungenen Zustände aus den abgetasteten Signalwerten errechnen.

Anstiegszeiten und Impulsbreiten

Die Skalenteilungen haben typischerweise Amplitudenmarkierungen für 10 und 90%. Die (vertikale) Position auf dem Schirm und die Amplitude so einstellen, daß das Signal - im eingeschwungenen Verlauf - die waagerechten Rasterlinien a und b berührt. Dann die Anstiegszeit t_r zwischen den beiden punktierten Rasterlinien ablesen. Die Impulsbreite wird bei 50% der Amplitude gemessen (Abb. 10).

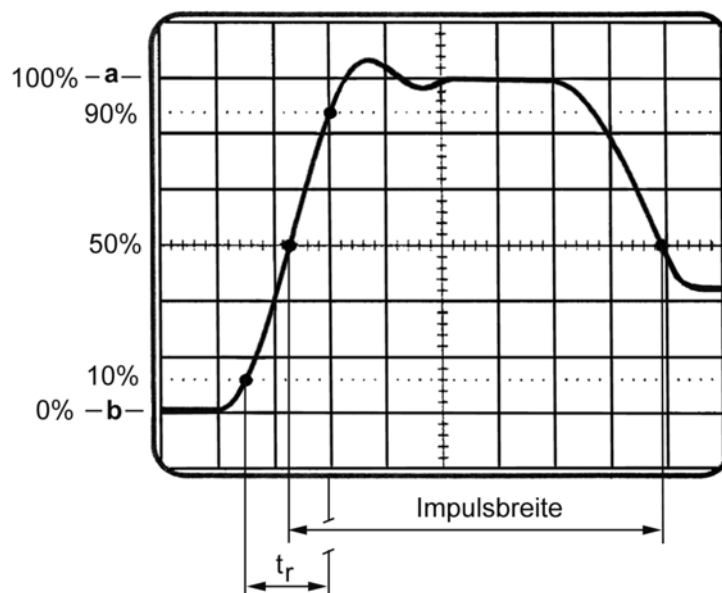


Abb. 10 Messung von Anstiegszeiten und Impulsbreiten

Abb. 11 Differenzspannungsmessung am Beispiel einer Strommessung. a) mittels Differenzmeßverstärker; b) Messung über 2 Kanäle

Frequenzmessung

Die Frequenz ergibt sich als Kehrwert der Periodendauer, die man unmittelbar an der Skalenteilung ablesen oder mit den vertikalen Cursor-Linien ausmessen kann (Abb. 12). Bei automatischer Messung werden die Abstände der Minima, der Maxima oder der Nulldurchgänge ausgewertet.

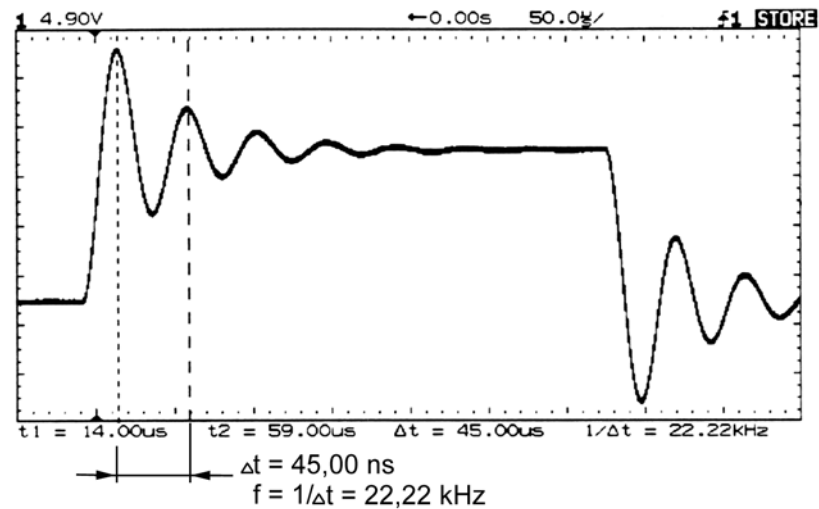


Abb. 12 Messung der Eigenfrequenz eines Überschwingers. Periodendauer und Frequenz sind direkt ablesbar ($t = 45,00 \mu\text{s}$, $f = 22,22 \text{ kHz}$). Nach: Hewlett-Packard/Agilent Technologies

Praxistip:

Zum Messen immer das am besten auswählbare Merkmal wählen. Manchmal sind Spitzenwerte (Minima oder Maxima), manchmal die Nulldurchgänge besser geeignet, manchmal (bei Impulsen) ist es eine der Signalfanken. Wir messen die Zeit zwischen zwei gleichartigen Spitzen (also von Minimum zu Minimum oder von Maximum zu Maximum) bzw. zwischen zwei Nulldurchgängen oder zwei gleichartigen Flanken und berechnen den Kehrwert.

Phasendifferenzmessung

Phasenverschiebungen zwischen zwei Signalen gleicher Frequenz kann man unmittelbar an der Skalenteilung ablesen (Abb. 13) oder mit den vertikalen Cursor-Linien ausmessen.

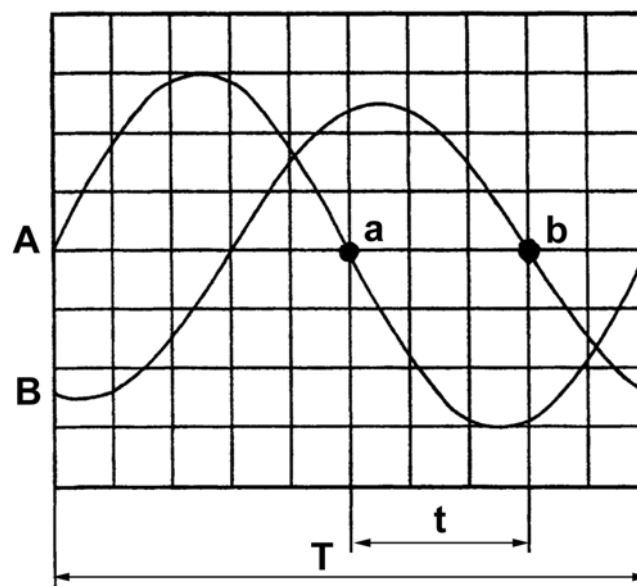


Abb. 13 Phasendifferenzmessung (hier werden die Nulldurchgänge als Bezugspunkte verwendet; nach Hameg)

Wir messen (1) die Periodendauer T und (2) den Versatz t , den zwei gleichartige Spitzenwerte oder Nulldurchgänge oder Flanken voneinander haben. Die Periodendauer T entspricht einem Phasenwinkel von 360° . Demzufolge ergibt sich der Phasenwinkel:

$$\varphi = \frac{t}{T} @ 360^\circ$$

Vorzeichen des Phasenwinkels (Vor- oder Nacheilung)

Aufpassen! Die Zeit läuft auf dem Schirm von links nach rechts; je weiter rechts also ein bestimmter Signalverlauf zu sehen ist, um so später hat er stattgefunden. Beispiel: in Abb. 13 beziehen wir uns auf Signal A. Der Bezugspunkt b liegt weiter rechts als der Bezugspunkt a, folglich kommt Signal B später (Verzögerung = Phasennacheilung = negatives Vorzeichen des Phasenwinkels). Bei einer Phasenvoreilung (positives Vorzeichen des Phasenwinkels) müßte b eher kommen als a, also links von a liegen.

Triggern

Normaltriggerung

Der Strahl ist nur zu sehen, wenn Triggereinstellung (Pegel, Flanke, Kopplung) und Signalverlauf zusammenpassen. Bei Triggerung auf die steigende Flanke wird getriggert, wenn das Signal bei ansteigendem Verlauf (negativ => positiv) den Triggerpegel erreicht und überschreitet; bei Triggerung auf die fallende Flanke wird getriggert, wenn das Signal bei abfallendem Verlauf (positiv => negativ) den Triggerpegel erreicht und unterschreitet. Durch passende Wahl von Kopplungsart und Flanke sowie (vor allem) durch gefühlsvolles Einstellen von Pegel und Holdoff sind Feinheiten komplizierter Signalverläufe darstellbar.

Automatische Triggerung

Es ist ein Strahl zu sehen, auch wenn kein Meßsignal anliegt, und man muß sich nicht um die Pegelinstellung kümmern. Die Nachteile: (1) bei niederfrequenten Signalverläufen (typischerweise unterhalb 10...20 Hz) funktioniert die automatische Triggerung nicht, (2) meistens wird mit dem Nulldurchgang des Triggersignals getriggert; damit können kompliziertere Signalverläufe oft nicht so dargestellt werden, wie man sie sehen möchte, und manchmal erhält man gar kein halbwegs stabiles Bild.

Triggerkopplung

Ausprobieren. Die Bezeichnungen sind selbsterklärend, man muß aber gelegentlich in der Betriebsanleitung nachsehen, welche genauen Kennwerte spezifiziert sind:

- DC: Gleichstromkopplung des Triggersignals,
- AC: Wechselstromkopplung des Triggersignals (bis zur oberen Grenzfrequenz; die untere liegt typischerweise bei 10 Hz),
- HF: Hochpaß-Wechselstromkopplung (= NF-Unterdrückung), wobei typischerweise Signale von einigen kHz an durchgelassen werden,
- LF (NF): Tiefpaß-Wechselstromkopplung (= HF-Unterdrückung), wobei die Bandbreite typischerweise auf 20...50 kHz begrenzt wird.

Herkömmliche Triggerbetriebsarten

Intern, jeder Kanal einzeln

Jeder Kanal sollte als Triggerquelle auswählbar sein, wobei die Auswahl unabhängig davon sein muß, welcher Kanal dargestellt wird.

Intern, alternierend (ALT oder COMPOSITE)

Die Triggersignale stammen abwechselnd von den zur Darstellung ausgewählten Kanälen (der Kanal, der zur Zeit auf den Y-Verstärker geschaltet ist, liefert auch das Triggersignal). In der Fehlersuchpraxis ist das nur selten zu gebrauchen, da es oft darum geht, zu prüfenden Signale zusammen mit dem als Zeitbezug dienenden Triggersignal darzustellen (Signalverfolgung). *Achtung:* Es gibt Oszilloskope, die in der Y-Betriebsart ALT (mit jedem Strahlhinlauf wechselnde Kanaldarstellung) auch die Triggersignalauswahl auf ALT schalten.

Extern

Diese Betriebsart ermöglicht es, auf Bezugssignale zu triggern, ohne einen Y-Kanal zu belegen, sowie Prüfhilfsmittel (Triggervorsätze) vorzuschalten, um die Triggerbedingung selektiv zu erfassen (Triggerung auf Adreßvergleich, auf Impulse, die kürzer oder länger sind als eine vorgegebene Dauer usw.).

Triggerbetriebsarten digitaler Oszilloskope

Die Datenerfassung beim digitalen Oszilloskop beruht darauf, daß ein Speicher adressiert wird. Dies ermöglicht es, auch den Signalverlauf *vor* dem Eintreffen der Triggerbedingung zu erfassen. Hierzu wird die Digitalisierung mit Eintreffen der Triggerbedingung nicht gestartet, sondern angehalten. Abb. 14 veranschaulicht die verschiedenen Betriebsarten.

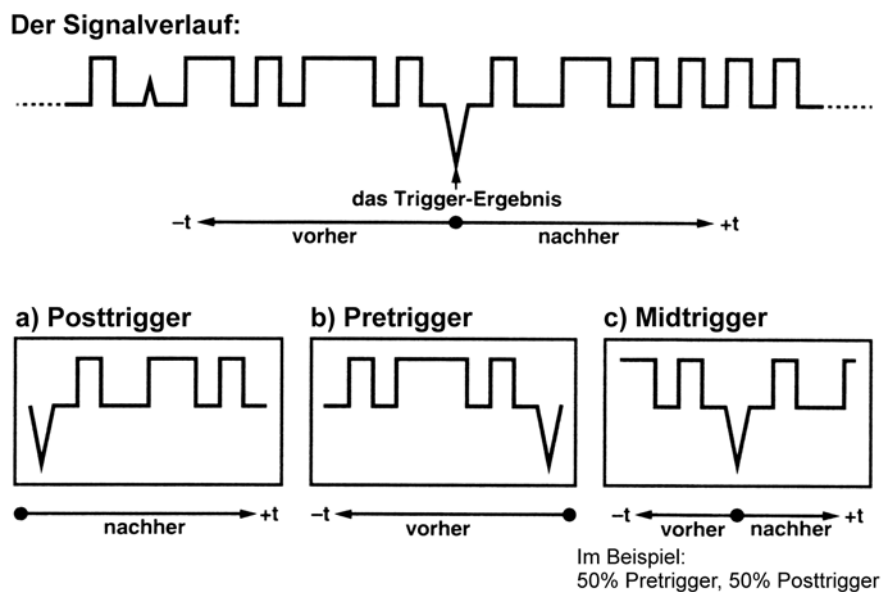


Abb. 14 Triggerbetriebsarten

- Triggerbedingung löst Erfassung aus (Posttrigger). Diese Betriebsart entspricht jener des Analogoszilloskops. Sobald die Triggerbedingung auftritt, wird der Speicher gefüllt. Von der Startadresse an werden solange Signalwerte erfaßt, bis die Speichertiefe ausgeschöpft ist.
- Triggerbedingung hält Erfassung an (Pretrigger). Der Speicher wird zyklisch immer wieder gefüllt. Sobald die Triggerbedingung eintritt, wird die Erfassung angehalten. Der gesamte Speicher enthält demzufolge Signalwerte der Vorgeschichte des Trigger-Ereignisses. Die Endadresse, die sich durch das Anhalten ergeben hat, bezeichnet den Triggerzeitpunkt.
- Mischung zwischen Pre- und Posttrigger (Midtrigger). Hierfür muß die Speichertiefe aufgeteilt werden. Manche Geräte haben eine einzige feste Aufteilung, z. B. 10% der Speichertiefe für die Vorgeschichte (Pretrigger) und 90% für die Signalerfassung nach Eintreffen der Triggerbedingung (Posttrigger), manche haben entsprechende Wahlmöglichkeiten (so daß man Mischungsverhältnisse von z. B. 30%:70 % oder 50%:50% einstellen kann).

Moderne digitale Oszilloskope stellen eine Vielzahl von auswählbaren Triggerbedingungen zur Verfügung (Tabelle 1, Abb. 15). Je höher entwickelt (sophisticated) die Triggervorkehrungen, um so größer die Chance, tückische Fehler aufzufinden (Glitches, Signalwechsel innerhalb der Setup- und Haltezeiten von Flipflops, metastabile Zustände usw.).

Triggerbedingung	Triggerereignis	Wahlmöglichkeiten und Einstellungen
Signalflanke	das Signal über- oder unterschreitet einen eingestellten Schwellwert (Triggerpegel)	Triggerpegel, Flanke (ansteigend oder abfallend), verschiedene Kopplungsarten (Gleichspannungskopplung, Wechselspannungskopplung), elementare Filterfunktionen (HF-Unterdrückung, NF-Unterdrückung usw.)
Impulsbreite (Abb. 15a)	ein Impuls ist breiter als ein eingestellter Schwellwert	Mindestimpulsbreite, Polarität (positiv/negativ/beides)
Flankensteilheit (Abb. 15b)	eine Signalflanke ist steiler oder weniger steil als vorgegeben	Flankensteilheit (Slew Rate), Bedingung (steiler als/weniger steil als)
Glitch (Abb. 15c)	ein Impuls ist schmaler als ein eingestellter Schwellwert	maximale Impulsbreite, Polarität (positiv/negativ/beides)
Time Out (Abb. 15d)	ein Triggersignal bleibt für eine bestimmte Zeit ständig auf High oder auf Low	Timeout-Intervall, Ereignis-Auswahl, überwachter Pegel (High/Low)
zu kleine Impulse (Runt Pulses; Abb. 15e)	Impuls überschreitet nur einen Logikpegel, erreicht aber nicht den anderen	Low-Impulse oder High-Impulse oder beide
logische Signalkombination	eine bestimmte Kombination binärer Signale ist eingetroffen (manchmal noch: ...und eine gewisse Zeit lang aktiv)	Verknüpfungsbedingung (im Sinne einer Booleschen Gleichung), ggf. zusätzlich die Mindestzeit
logische Zustandskombination	eine bestimmte Kombination binärer Signale ist mit Bezug auf einen Takt eingetroffen	Verknüpfungsbedingung (im Sinne einer Booleschen Gleichung), Taktflanke (positiv/negativ)
Impulse in Setup-Hold-Intervall (Abb. 15f)	ein Triggersignal ist im „Umkreis“ einer Taktflanke eingetroffen (kurz vorher...kurz nachher)	Zeitbereich vor und nach Taktflanke, Taktflanke (positiv/negativ)
Signalmuster	ein Stück des Signalverlaufs entspricht einem vorgegebenen Muster (Beispiel: Horizontal- oder Vertikal- Synchron-Impulse in einem FBAS-Signal)	Musterauswahl, Pegeleinstellung

Tabelle 1 Triggerbedingungen (Auswahl)

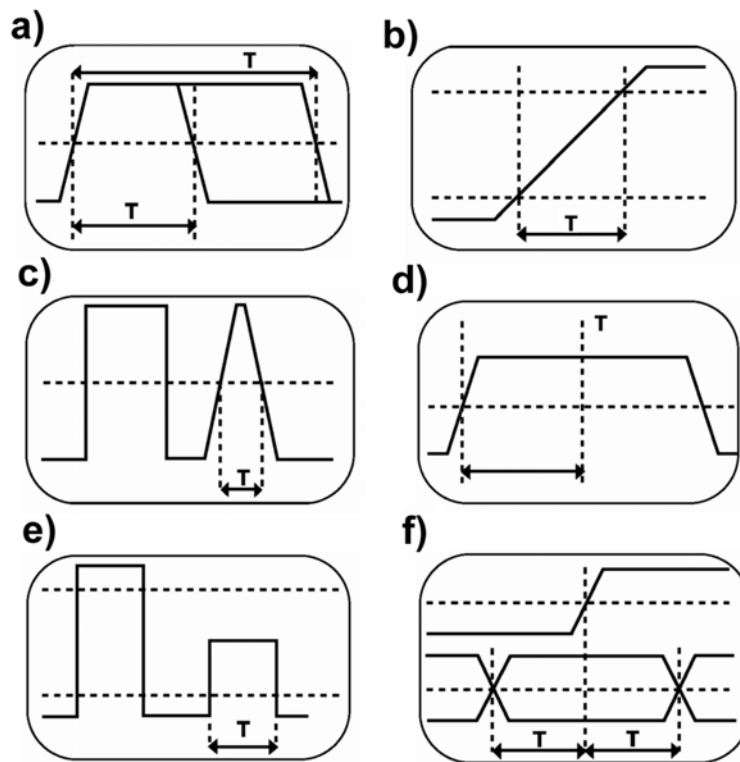


Abb. 15 Triggerbedingungen (Auswahl). Erklärung in Tabelle 1 (Tektronix)