

Leitfaden zum Erstellen einer gelungenen Vorbereitung und Auswertung

- DAS OSZILLOSKOP ALS MESSINSTRUMENT -

- Aufgabenblatt und Vorbereitungshilfe enthalten praktisch alle relevanten Informationen zur Durchführung des Versuches
- Die Computer an den Arbeitsplätzen verfügen über keinen Internetzugang, das verzweifelte Suchen nach Informationen während der Durchführung ist folglich zwecklos!

- VORBEREITUNG -

- Überlegen Sie sich eine sinnvolle Einleitung, diese soll etwas zu den folgenden Punkten beinhalten:
 - Was ist ein Oszilloskop (auf Analog- und Digitaloszilloskope eingehen)?
 - Wofür wird es verwendet?
 - Info zu speziell in diesem Versuch verwendetem Oszilloskop.
- Schreiben Sie zu jeder Aufgabe auf:
 - den Kerngedanken
 - Was soll durchgeführt werden?
 - Ihre Erwartungen

*Die Vorbereitung ist am Versuchstag die Arbeitsgrundlage,
sie sollte also alles zur Durchführung des Versuches Wichtige enthalten!*

- Bei Aufgabe 2 werden verschiedene (einfache) Schaltungen aufgebaut, zugehörige Schaltskizzen sind **nicht** in der Vorbereitungsmappe zu finden, lassen sich aber anhand der fett hervorgehobenen Schaltungsamen finden (Internet, Bibliothek,...), aber **nicht alle** im Internet kursierenden Vorbereitungen beinhalten aktuelle bzw. funktionsfähige Schaltungen.
- Tipp: die aufzubauenden Schaltungen beinhalten jeweils nur **zwei** Bauteile (Ausnahme: Kondensator beim Gleichrichter ist drittes Bauteil und 1:1 Trafo bei den Kennlinien)
- Schaltskizzen sind Teil der Vorbereitung!

Einfache Struktur: Eingangsspannung U_E → verbaute Bauelemente → Ausgangsspannung U_A

- Führen Sie die nötigen Rechnungen schon im Vorfeld aus.
- Schreiben Sie zu den Aufgaben, die sich auf irgendwelche spezifische Bauteile beziehen, auch einige Worte zur eigentlichen Funktionsweise dieser Bauteile.
- Falls in der Aufgabenstellung eine besondere Betriebsweise des Oszilloskops benötigt wird, ist es sehr vorteilhaft, auch einige Wörter darüber auch in der Vorbereitung zu verlieren.

- DURCHFÜHRUNG -

- Das Messprotokoll ist ebenfalls ein Bestandteil des Protokolls!
- Vermerken sie die verwendeten Dateinamen im Messprotokoll, das erleichtert – zusammen mit eindeutigen Dateinamen – hinterher die Zuordnung der Bilder

- AUSWERTUNG -

- Man sollte, falls man falsche Ansichten bestimmter Sachlagen in der Vorbereitung hatte, diese nun widerlegen. Falls ein Ergebnis der Erwartung aus der Vorbereitung nicht entspricht, so sollte man darüber diskutieren und auf mögliche Ursachen hinweisen.
- Die aufgezeichneten Oszilloskopbilder sind die Grundlage der Auswertung, bitte darauf achten, dass die Skalierung aus dem Bild ersichtlich ist (also nicht abschneiden und die Bilder nicht zu stark verkleinern)
- Wenn man an Oszilloskopbilder irgendwelche markante Stellen im Kurvenverlauf sieht (z.B. bei Kennlinien) so sollte man diese ansprechen bzw. beschriften.

-REIHENFOLGE IM PROTOKOLL

Deckblatt, Aufgabenblatt, Vorbereitungen, Auswertung, Messprotokoll

Weitere Literaturhinweise:

- Tietze, Schenk: *Halbleiterschaltungstechnik*
- Weddigen, Jüngst: *Elektronik*

Hinweise für den Versuch “Verwendung des Elektronenstrahl-Oszilloskops”:

Da ich manchmal etwas vergesslich bin, gibt es die wichtigsten Hinweise hier noch einmal schriftlich:

- Allgemeine Hinweise
 - Bringt - wenn möglich - einen USB-Stick mit, wobei darauf zu achten ist, dass genügend freier Speicherplatz vorhanden ist, da die Oszi-Bilder (mit einer Ausnahme) nicht abgezeichnet werden müssen, sondern am PC direkt in die Auswertung eingefügt werden dürfen (zumindest bei LaTeX müssen die Dateien aber vorher in ein anderes Dateiformat umgewandelt werden).
 - Lest euch zumindest die Aufgabenblätter und die Vorbereitungshilfe durch, da steht das Allerwichtigste drauf.
 - Übersichtliche Schaltskizzen in eurer Vorbereitung erleichtern euch den Aufbau, sparen außerdem auch Zeit.
 - Soweit möglich BNC-/Koaxialkabel verwenden, da sie einen besseren Schutz vor störenden Einflüssen bieten.
 - Über den “Intens”-Regler könnt ihr die Intensität des Elektronenstrahls einstellen. Vermeidet **BITTE** stehende Punkte, indem ihr einfach die Intensität runterdreht.
 - Das P1 ist eine gute Gelegenheit, den Umgang mit LaTeX zu erlernen (z.B. unter Windows mit TexnicCenter).
- Hinweise zu den einzelnen Aufgaben bzw. Fragen, die ihr beantworten können solltet.
 1.
 - Was ist der Trigger und wie funktioniert er?
 - Wie kann ich ein Signal einkoppeln?
 2.
 - Unterschied Hoch-/ Tiefpass?
 - Warum werden diese Glieder auch Integrier- bzw. Differenzierglied genannt?
 - Frequenzmodulierte Schwingung: Das Oszi-Bild kann nicht gut eingelesen werden, deshalb bitte von Hand abzeichnen
 3. Auch die XY-Bilder können abgespeichert werden (Häkchen bei “XY” setzen).
 4. Auf den richtigen Tastkopf achten, die 10:1-Tastköpfe sind gesondert markiert.

21. Messungen mit einem Oszilloskop



Physikalische Grundlagen und Anwendungen des Oszilloskops.

Messung von Zeiten, Frequenzen und Spannungen. Darstellung des zeitlichen Verlaufs von Spannungen oder Darstellung einer Spannung als Funktion einer anderen Spannung. Beobachtung von Lissajous-Figuren.



Standardlehrbücher (Stichworte: Kathodenstrahlröhre, Braunsche Röhre, Oszilloskop, Lissajous-Figuren),

Bedienungsanleitung des verwendeten Oszilloskops,

Themenkreis 26: Elektronenbewegung in elektrischen und magnetischen Feldern.



Aufbau und Funktionsweise des Kathodenstrahloszilloskops

Ein **Oszilloskop** ist ein universelles elektrisches Meßinstrument. Es dient zur Darstellung von elektrischen Spannungen, die sich zeitlich schnell verändern. Entsprechend lassen sich auch andere physikalische Größen y , die in Spannungen umgewandelt werden können, wie Stromstärken, Lichtleistungen, Temperaturänderungen usw. als Funktion der Zeit darstellen: $y(t)$. Besonders geeignet ist das Oszilloskop zur Darstellung zeitlich periodischer Funktionen. Mit einem *Speicheroszilloskop* können aber auch einmalige Vorgänge aufgezeichnet werden. Statt der Zeit sind auch andere physikalische Größen x als unabhängige Variablen möglich, so daß sich auf dem Oszilloskopschirm die verschiedensten physikalischen Zusammenhänge $y = f(x)$ darstellen lassen.

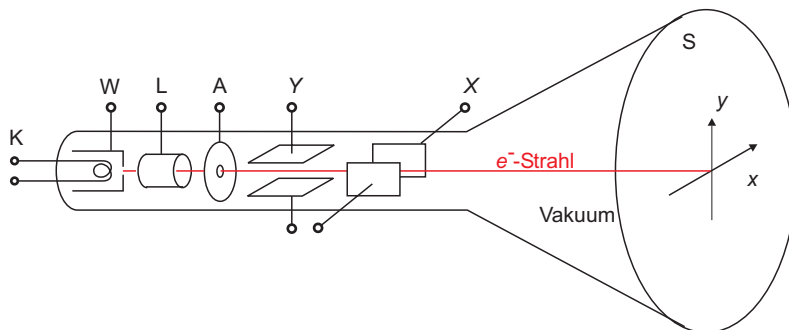
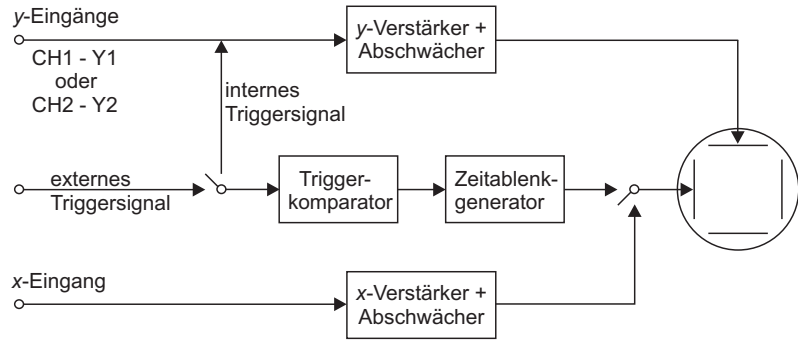


Bild 21.1. Aufbau einer Kathodenstrahlröhre:

K = Kathode,
W = Wehneltzylinder,
L = elektromagnetische Linsen,
A = Anode,
S = Leuchtschirm,
X, Y = Ablenkplatten

Bild 21.2. Blockschaltbild eines Oszilloskops



Aufgebaut ist ein Oszilloskop aus einer **Kathodenstrahlröhre**, Bild 21.1, sowie mehreren elektronischen Baugruppen, Bild 21.2, zur Erzeugung der Versorgungsspannungen für die Röhre, Spannungsteilern und Verstärkern, Zeitablenkgenerator mit Triggereinheit und einer Frontplatte, auf der sich die Bedienungselemente befinden, Bild 21.3.

Die durch Glühemission aus der indirekt geheizten Kathode K, Bild 21.1, austretenden Elektronen werden durch die Anodenspannung der Anode A von etwa 1 bis 10 kV in Richtung auf den Leuchtschirm S hin beschleunigt, auf dem sie beim Auftreffen einen Leuchtfleck erzeugen. Der *Wehnelt-Zylinder* W hat ein negatives Potential als die Kathode. Durch Änderung dieses Potentials und damit der Spannung zwischen Wehnelt-Zylinder und Kathode kann die Intensität des Strahlstromes und damit die Helligkeit des leuchtenden Punktes auf dem Schirm gesteuert bzw. eingestellt werden (*Intensity*-Bedienungsknopf in Bild 21.3). Der von dem Wehnelt-Zylinder kommende Elektronenstrahl wird durch ein elektrostatisches elektronenoptisches Abbildungssystem L gebündelt, so daß bei geeigneter Potentialregulierung der einzelnen Elektroden des Systems (*Focus*-Regler) ein scharfbegrenzter Leuchtfleck auf dem Leuchtschirm entsteht.

Elektronenstrahlablenkung

Der Elektronenstrahl, und damit der Leuchtfleck, werden mit Hilfe von zwei zueinander senkrecht angeordneten Plattenkondensatoren abgelenkt. Legt man an die Platten des Kondensators, dessen Feldstärkevektor in die vertikale Richtung (y -Richtung) weist, eine Spannung U_y an, so wird der Elektronenstrahl aus der Strahlachse in y -Richtung um eine zu U_y proportionale Strecke y abgelenkt. Dadurch ist es möglich, nach einer Kalibrierung aus der Messung von y (Abstandsmessung auf dem Bildschirm) die ablenkende Spannung U_y wie mit einem Voltmeter zu messen. Entsprechendes gilt für die x -Ablenkung.

Empfindlichkeitsregelung, Eingangsbuchsen

Praktisch werden die zu messenden Spannungen nicht direkt an die Platten gelegt, vielmehr wird ein kalibrierter Verstärker oder Abschwächer vorge-

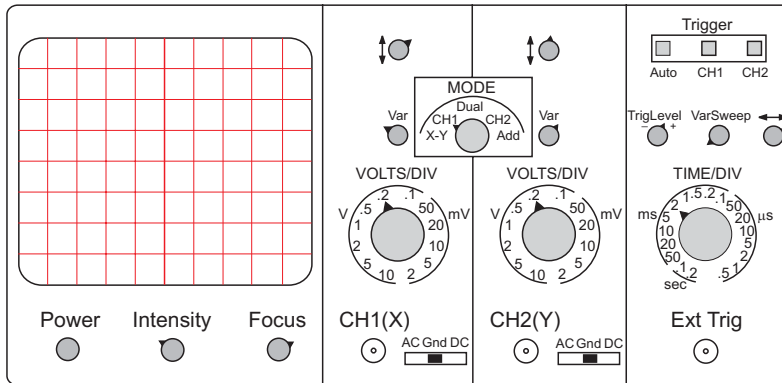


Bild 21.3. Frontplatte eines Oszilloskops, schematisch:
 Power = Hauptschalter,
 Intensity = Regler für Intensität des Leuchtflecks,
 Focus = Regler für Schärfe des Leuchtflecks,
 CH1 oder X = Anschlußbuchse für X-Spannung oder Kanal 1 im Zweikanalbetrieb,
 CH2 oder Y = Anschlußbuchse für Y-Spannung oder Kanal 2 im Zweikanalbetrieb,
 Ext Trig = Anschlußbuchse für externes Triggersignal

schaltet. Man kann dann wie bei einem Vielfachinstrument die Spannungsempfindlichkeit mit den Drehschaltern *VOLTS/DIV* in Stufen verändern. Die Stellung $0,2 \text{ V/DIV}$ bedeutet z. B. daß ein Teilabstand (engl. division) auf dem Schirm der Frontplatte nach Bild 21.3 einer Spannung von $0,2 \text{ V} = 200 \text{ mV}$ entspricht.

Die zu messenden Spannungen werden an die Buchsen *CH1(X)* bzw. *CH2(Y)* angelegt, ein externes Triggersignal an die Buchse *Ext Trig*. Die zu messenden Spannungen werden dann je nach Stellung der Schiebeschalter entweder über einen Koppelkondensator (AC-gekoppelt) oder direkt (DC-gekoppelt) an die Vorverstärker gelegt. Die Stellung *Gnd* (ground) der Schiebeschalter bedeutet, daß die zugehörige Spannungsbuchse geerdet ist. Über den Empfindlichkeitsreglern *VOLTS/DIV* bzw. *TIME/DIV* befinden sich zwei Regler *Var* zur stufenlosen Variation der Empfindlichkeit sowie zwei weitere Regler \uparrow zur vertikalen bzw. horizontalen Positioneinstellung des Elektronenstrahls auf dem Bildschirm. Mit dem *Mode*-Regler wird die Betriebsart eingestellt: *y-t*-Betrieb bei Regler auf *CH1* (Channel 1) oder *CH2* (Channel 2), entsprechend *x-y*-Betrieb und Zweikanalbetrieb (*Dual*).

y-t-Betrieb, Zeitablenkung

Wenn eine **zeitabhängige Spannung** an den *y*-Platten liegt, dann bewegt sich der Leuchtpunkt auf dem Bildschirm in vertikaler Richtung, entsprechend dem jeweiligen Momentanwert der Ablenkspannung U_y . Bei schnell veränderlichen Wechselspannungen sähe man wegen der Trägheit des Auges allerdings nur einen senkrechten Strich auf dem Schirm. Um diesen Vorgang zeitlich aufzulösen, also den zeitlichen Verlauf der Spannung $U_y(t)$ darzustellen, wird intern eine zusätzliche Ablenkspannung, die sog. *Sägezahnspannung* oder *Kippspannung* an die *x*-Platten gelegt, Bild 21.4. Dies wird als *y-t*-Betrieb bezeichnet. Bei $t = 0$ und $U_x = -U_{x,\max}$ möge sich der Leuchtfleck am linken Ende des Leuchtschirmes befinden. Er wird dann mit ansteigender Spannung U_x in horizontaler Richtung nach rechts abgelenkt. Nach der Zeit τ bei Erreichen des größten Spannungswertes $U_{x,\max}$ befindet sich der Leuchtfleck am rechten Rand des Schirms.

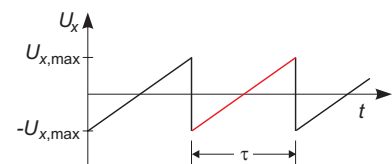


Bild 21.4. Sägezahnspannung als Zeitablenkspannung in einem Oszilloskop

Die Ablenkspannung geht jetzt wieder auf den Wert $-U_{x,\max}$, und der Strahl kehrt an seinen Ausgangspunkt zurück. Die dazugehörige Rücklaufzeit, in der die Spannung auf $-U_{x,\max}$ abfällt, ist wesentlich kleiner als die Anstiegszeit. Damit der Leuchtfleck während dieser Zeit unsichtbar bleibt, wird während des Rücklaufes an den Wehnelt-Zylinder ein genügend großes negatives Potential gelegt, das den Strahlstrom unterdrückt und damit den Rücklauf unsichtbar macht. In der Zeit τ bewegt sich also der Leuchtpunkt horizontal einmal über die gesamte Schirmbreite, so daß man nach einer Kalibrierung die Zeit, die während des Durchlaufens einer Längeneinheit (1 div \approx 1 cm) vergeht, als Zeitablenkfaktor (*TIME/DIV*) angeben kann (z. B. 1 ms/cm). Dieser kann stufenweise (*TIME/DIV*), zwischen zwei Stufen auch kontinuierlich (*VarSweep*), verändert werden.

Bei bekanntem Zeitablenkfaktor kann durch eine Längenmessung auf dem Schirm eine Zeit bestimmt werden. So ist es z. B. möglich, die Periodendauer T der untersuchten Spannung U_y durch Messen des Abstandes der Maxima zu ermitteln.

Triggern

Soll durch wiederholtes Schreiben des Elektronenstrahls auf dem Schirm ein *stehendes* Bild einer periodischen Wechselspannung, Bild 21.5a, erscheinen, dann muß die Zeitablenkung so erfolgen, daß der Leuchtfleck nach dem Rücklauf zum linken Bildschirmrand den erneuten Schreibvorgang bei der gleichen Phasenlage der Spannung U_y beginnt, bei der er auch beim ersten Durchlauf startete. Das erreicht man durch getriggerte Zeitablenkung (engl.: Trigger = Auslöser), d. h. indem man die Kippspannung und damit die x -Ablenkung immer dann einsetzen läßt, wenn die Spannung U_y eine vorgewählte Höhe (*Trigger-Level*) erreicht hat.

Das Triggersignal muß nicht identisch mit dem darzustellenden Spannungsverlauf, sondern kann auch eine dazu synchrone, d. h. die gleiche Periode besitzende Spannung, sein. Eine solche Triggerspannung kann von außen über die Buchse *Ext Trig* oder intern über die Stellung der Schalter *Trigger* (in Bild 21.3 rechts oben) angelegt bzw. ausgewählt werden.

Soll bei einer periodischen Wechselspannung wie in Bild 21.5 die Darstellung im Zeitpunkt A_1 z. B. bei der Spannung $U_y = 1$ V auf der ansteigenden (positiven) Flanke (engl. slope) beginnen, dann muß der Bedienungsknopf *TrigLevel* so eingestellt werden, daß die Kippspannung dann einsetzt, wenn die Spannung U_y einen Wert (Level) von 1 Volt erreicht hat. Der Kathodenstrahl beginnt dann den Kurvenzug im Punkt A_1 zu zeichnen und hat nach der Zeit τ (der Kippspannungsanstiegszeit) den Punkt B_1 am rechten Rand des Schirmes erreicht. Die Kippspannung springt auf $-U_{x,\max}$ zurück und steigt erst dann wieder an, wenn das Signal auf der positiven Flanke das vorgewählte Trigger-Niveau bei der nächsten Periode im Punkt A_2 erreicht hat: Der Kurvenzug wird dann auf dem Schirm wieder am selben Ort begonnen, usw. So entsteht auf dem Oszilloskopschirm ein scheinbar stehendes Bild.

Durch Änderung der Anstiegszeit der Kippspannung (der Ablenkzeit) können also verschiedene Teile oder Vielfache der Spannungsperioden

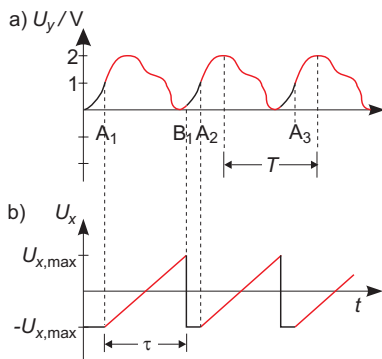


Bild 21.5. (a) Beispiel für den Zeitverlauf einer Spannung, (b) Verlauf der Zeitablenkspannung bei getriggertem Betrieb. Auf dem Bildschirm werden nur die Kurvenstücke $A_i - B_i$ dargestellt, d. h. phasenrichtig übereinander geschrieben

auf dem Oszilloskopschirm als Kurvenzug sichtbar gemacht werden (hier also vom Punkt A_i bis zum Punkt B_i). Ist die Ablenkzeit τ kleiner als die Periodendauer T , so sieht man auf dem Schirm nur einen Teil des periodischen Vorganges. Ist τ größer als T , so erscheint mehr als eine Periode. Durch geeignete Wahl des Einsatzpunktes und der Ablenkzeit kann man also beliebige Ausschnitte der periodischen Wechselspannung sichtbar machen.

Zwei- oder Mehrkanalbetrieb

Um zwei verschiedene Spannungen gleichzeitig darzustellen, haben einige Oszilloskope zwei Elektronenstrahlsysteme, die zwei getrennte Spuren auf dem Leuchtschirm erzeugen. Man erreicht einen derartigen 2-Kanalbetrieb allerdings auch durch schnelle elektrische Umschaltung eines Elektronenstrahls zwischen zwei Spuren, die als Kanal (engl. Channel) *CH1* und Kanal *CH2* bezeichnet werden, Bild 21.3. Dazu ist der Stellknopf *MODE* auf *Dual* zu schalten. In Stellung *CH1* oder *CH2* wird entweder der Eingang 1 oder der Eingang 2 auf dem Schirm dargestellt.

Durch Kombination mehrerer Umschalter oder Elektronenstrahlsysteme ist es auch möglich, z. B. vier zeitlich unterschiedliche Spannungsverläufe gleichzeitig darzustellen (4-Strahloszilloskop, Mehrkanalbetrieb).



Überlagerungsellipsen zweier Wechselspannungen

An die x -Achse kann statt einer zeitlinearen Sägezahnspannung auch eine andere zeitveränderliche Spannung U_x gelegt werden. Der Stellknopf *MODE* wird dazu auf *X-Y* gestellt. Wird gleichzeitig an die y -Achse eine Spannung U_y gelegt, die von U_x abhängt, so entsteht auf dem Oszilloskopschirm die Funktion $U_y = f(U_x)$. Dies kann z. B. zur Darstellung von Kennlinien von elektronischen Bauelementen, z. B. einer Diode, verwendet werden. Dazu wird die variable Spannung an der Diode als U_x an den x -Eingang gelegt und mit einem Widerstand eine Spannung U_y erzeugt, die dem Strom proportional ist.

Der x - y -Betrieb kann auch zur Bestimmung der Phasendifferenz φ zwischen zwei Sinusspannungen gleicher Frequenz f verwendet werden. Die beiden Spannungen werden an den x - bzw. y -Eingang gelegt, Bild 21.6:

$$x = a \sin(2\pi ft) \quad \text{und} \quad y = b \sin(2\pi ft + \varphi) \quad .$$

Es ergeben sich je nach Phasendifferenz φ unterschiedliche Bilder auf dem Oszilloskop. Aus der Mathematik ist bekannt, daß diese beiden Gleichungen die Parameterdarstellung einer Ellipse darstellen. Für $\varphi = 0^\circ$, Bild 21.7a,d, ergibt sich eine Gerade mit dem Anstieg b/a . Für $\varphi = 90^\circ$, Bild 21.7c, erscheint eine Ellipse mit den Halbachsen a und b parallel zur x - bzw. y -Achse. Für eine beliebige Phasendifferenz φ ergeben sich ebenfalls Ellipsen, deren Halbachsen jedoch von a und b verschieden sind und nicht zu den Koordinatenachsen parallel liegen, Bild 21.7b,e.

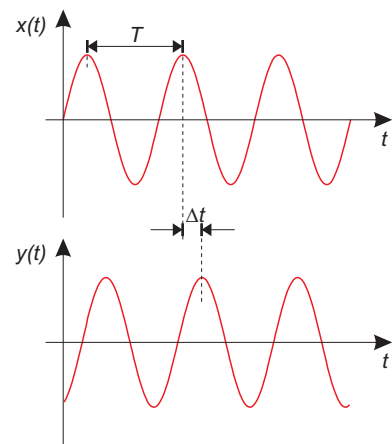


Bild 21.6. Sinusspannungen gleicher Frequenz mit Phasenverschiebung $\varphi = -2\pi f \Delta t$



Bild 21.7. (a)-(c) Oszilloskop-Bilder für unterschiedliche und (d)-(f) für gleiche Amplituden a und b bei verschiedenen Phasenverschiebungen

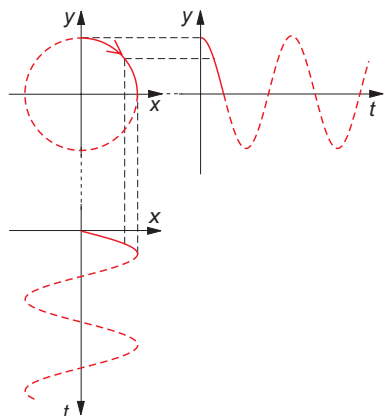
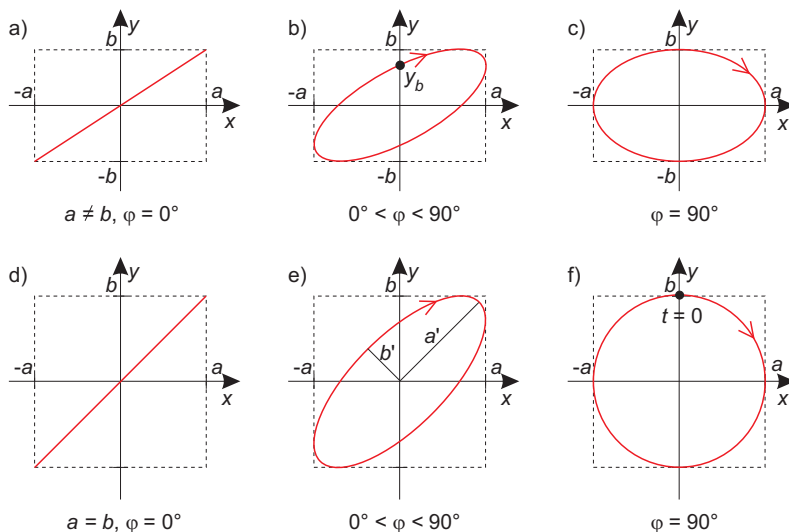


Bild 21.8. Die Überlagerung zweier Sinusspannungen gleicher Amplitude und Frequenz, die um 90° phasenverschoben an den x - bzw. y -Eingang eines Oszilloskops gelegt werden, ergibt einen Kreis

Sind a und b gleich, so erhält man bei einer Phasenverschiebung von $\varphi = 90^\circ$ einen Kreis, Bild 21.7f. Man erhält dies auch rechnerisch indem man die beiden oben angegebenen Gleichungen quadriert und addiert:

$$x^2 + y^2 = a^2 \sin^2(2\pi f t) + a^2 \cos^2(2\pi f t) = a^2 \quad \text{für } a = b, \varphi = 90^\circ.$$

Dies ist die Darstellung eines Kreises in kartesischen Koordinaten. Die in Bild 21.7 dargestellten Überlagerungsbilder können im übrigen auch durch die in Bild 21.8 dargestellte geometrische Konstruktion gewonnen werden.

Gleichzeitiges Anlegen zweier Sinusspannungen gleicher Frequenz aber unterschiedlicher Amplitude und Phase an den x - und y -Eingang ergibt also Geraden oder Ellipsen als Bilder auf dem Oszilloskopschirm.

Hinweis: In analoger Weise setzen sich zwei senkrecht zueinander linear polarisierte Lichtwellen gleicher Frequenz zu linear, zirkular oder elliptisch polarisiertem Licht zusammen.

Die Überlagerungsfiguren von zwei zueinander senkrecht stehenden Schwingungen, die auch unterschiedliche Frequenz besitzen können, werden als *Lissajous-Figuren* bezeichnet (nach J. A. Lissajous).



Messung von Phasendifferenzen

Betrachtet man zwei sinusförmige Signale gleicher Frequenz, so ist eine Möglichkeit zur Bestimmung einer Phasendifferenz φ zwischen ihnen die gleichzeitige Darstellung ihrer Zeitverläufe, siehe auch Bild 21.6, auf dem Schirm eines Zweikanal-Oszilloskops. Aus der Messung der Zeitverschiebung Δt zwischen gleichartigen Phasenlagen der beiden Kurven wie z. B. Nulldurchgang oder Maximalwert und der Periodendauer $T = 1/f$ läßt sich die Phasenverschiebung dann berechnen aus:

$$\varphi = -2\pi \Delta t / T \quad .$$

Eine Methode, die ohne Zweikanaloszilloskop auskommt, ist die Erzeugung einer **Lissajous-Figur**. Hierzu legt man das eine Signal an die Horizontal(X)-, das andere an die Vertikal(Y)-Ablenkplatten eines Oszilloskops und zwingt damit dem Elektronenstrahl zwei senkrecht aufeinander stehende Schwingungen gleicher Frequenz, aber unterschiedlicher Phase auf. Das Ergebnis als Leuchtspur auf dem Oszilloskopschirm ist im allgemeinen Fall eine Ellipse, deren Exzentrizität und Lage im Koordinatensystem vom Amplitudenverhältnis a/b und vom Phasenwinkel φ bestimmt werden, Bild 21.7.

Für die experimentelle Bestimmung des Phasenwinkels benötigt man lediglich die Werte für b sowie den Schnittpunkt y_b der Ellipse mit der y -Achse. Denn auf der positiven y -Achse ist $x(t) = 0$ für $\omega t = 0, 2\pi$ usw. Daraus folgt $y_b = b \sin \varphi$ bzw.

$$\sin \varphi = \frac{y_b}{b} \quad .$$

21.1 Grundfunktionen des Oszilloskops (1/3)



Einarbeitung in die grundlegende Benutzung eines Oszilloskops. Darstellung von periodischen Zeitfunktionen und Triggerung.



Funktionsgenerator, der sinus-, rechteck-, und dreieckförmige Ausgangsspannungen (Wellenformen) mit einstellbarer Frequenz und Amplitude abgibt. Zusätzlich soll ein Rechtecksignal gleicher Frequenz zur Triggerung eines Oszilloskops abgenommen werden können. Zweikanal-Oszilloskop. Dioden, Widerstand, Operationsverstärker und Verbindungskabel.



Man stelle die verschiedenen Funktionen, die vom Generator erzeugt werden, nämlich Sinusspannung, Rechteck- und Dreiecksspannung als stehende Bilder auf dem Oszilloskop-Schirm dar, und erprobe dabei die interne und externe Triggerung.



Man skizziere den zeitlichen Spannungsverlauf einer Sinusfunktion bei unterschiedlicher Einstellung des Trigger-Level.



Zur Erzeugung einer intern nicht eindeutig triggerbaren Funktion wird eine Gleichrichterschaltung mit unterschiedlichen Dioden aufgebaut, siehe Bild 21.9. An den Gleichrichter wird eine Sinusspannung angelegt. Man mache den Anfang der auf dem Oszilloskop erhaltenen Ausgangsspannung nach Bild 21.10 sichtbar und teste den Einfluß der Schwellspannung (Trigger-Level). Man stelle bei interner Triggerung auf eine Schwellspannung U_T ein, die pro Periode nicht eindeutig ist (also einem Spannungswert, der kleiner als das kleinere Maximum der Kurve ist). Es entsteht dann im allgemeinen kein stehendes Bild mit einer Spur, es sei denn, daß zufällig die Periode der Sägezahnspannung (Zeitablenkung) ein ganzzahliges Vielfaches der Periode der Signalspannung ist.

Bei genügend hohem Trigger-Level U_T oder bei externem Triggern entsteht ein stehendes Bild mit einer eindeutigen Spur.

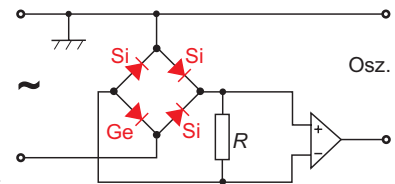


Bild 21.9. Gleichrichterschaltung mit unterschiedlichen Dioden zur Erzeugung einer Wechsellspannung nach Bild 21.10

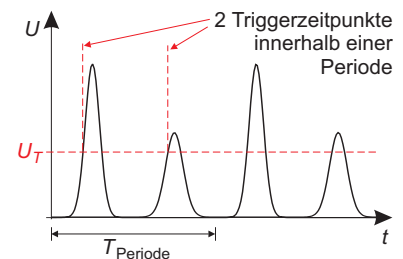


Bild 21.10. Ausgangsspannung der Gleichrichterschaltung nach Bild 21.9. Bei niedriger Triggerschwelle ist diese Funktion nicht eindeutig triggerbar



21.2 Zeit- und Frequenzmessung (1/3)



Bei bekanntem Zeitablenkfaktor eines Oszilloskops kann eine Zeitmessung durch eine Längenmessung auf dem Oszilloskopschirm erfolgen. Mit diesem Verfahren soll die Frequenzskala eines Wechselspannungsgenerators, der auch als Frequenzgenerator bezeichnet wird, kalibriert werden.



Oszilloskop, Frequenzgenerator (unkalibriert).



Für eine zunächst beliebige Einstellung der Frequenzskala des Generators wird die Frequenz mit Hilfe des Oszilloskops bestimmt. Hierzu wird die Zeitablenkung am Oszilloskop so eingestellt, daß mehrere Schwingungen der sinusförmigen Wechselspannung auf dem Bildschirm sichtbar sind, Bild 21.11. Die Wechselspannungsamplitude aus dem Generator und der Ablenkungsfaktor des y -Kanals werden so aufeinander abgestimmt, daß das Signal mindestens $2/3$ des Bildschirmhöhe einnimmt. Die richtige Triggereinstellung sorgt für ein stehendes Bild. Nun wird die Strecke s einer möglichst großen Zahl n von Schwingungsperioden auf dem Bildschirm bestimmt.

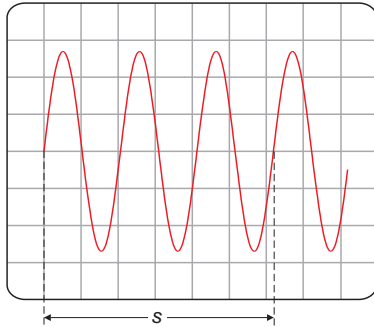


Bild 21.11. Frequenzmessung am Oszilloskop



Aus dem Zeitablenkfaktor α , z. B. 1 ms/cm der Zeitbasis, und der Strecke s , über die sich n Schwingungsperioden erstrecken, wird die Dauer einer Schwingung $T = \alpha s / n$ bzw. die Frequenz $f = 1/T$ der Wechselspannung berechnet.



Die Messung wird für weitere Frequenzen wiederholt, die sinnvoll über den gesamten Verstellbereich ϕ (Drehknopfeinstellung) des Generators verteilt sind.



Für die grafische Auswertung $f(\phi)$ wird wegen des über mehrere Dekaden reichenden Frequenzbereichs doppelt-logarithmisches Papier verwendet. Die Streuung der Meßpunkte der Kurve (z. B. etwa eine Gerade) wird durch Fehlerbalken gekennzeichnet. Zur Berechnung der Meßunsicherheit für die Frequenzskala muß zusätzlich noch der mögliche systematische Fehler des Zeitablenkfaktors α berücksichtigt werden (in der Regel $\pm 3\%$).

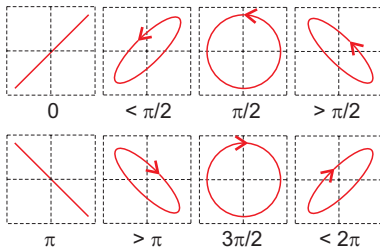


Bild 21.12. Lissajous-Figuren aus zwei Sinusspannungen mit gleicher Frequenz und gleicher Amplitude bei verschiedenen Phasendifferenzen

21.3 Lissajous-Figuren – Gleiche Frequenzen (1/3)



Darstellung von Lissajous-Figuren bzw. Überlagerungsellipsen bei gleichen Frequenzen von x - und y -Spannung. Anwendung zur Phasenmessung.



Wie 21.2, zusätzlicher Frequenzgenerator, Widerstände und Kondensatoren zum Aufbau eines Tiefpasses (vgl. Themenkreis 22: Wechselspannungen).



Bei gleicher Frequenz der am x - und y -Eingang anliegenden Spannungen entstehen als Lissajous-Figuren Geraden, Ellipsen oder Kreise, Bild 21.12.



Man diskutiere die Entstehung der Überlagerungsfiguren zweier Sinusspannungen und bestimme als Anwendung die Phasenverschiebung von Eingangs- und Ausgangsspannung z. B. bei einem Tiefpaß.

21.4 Lissajous-Figuren – Ungleiche Frequenzen (1/3)



Die Überlagerungsfiguren zweier Wechselspannungen unterschiedlicher Frequenz, die an den x - und y -Eingang eines Oszilloskops gelegt werden, sind darzustellen und zu diskutieren. Anwendung der Lissajous-Figuren zur Frequenzmessung.



Wie 21.2; zusätzlicher Frequenzgenerator.



Legt man an den x - und den y -Eingang des Oszilloskops Wechselspannungen mit unterschiedlichen Frequenzen, erscheinen auf dem Schirm Lissajous-Figuren. Im allgemeinen Fall scheinen sich diese Figuren um eine Achse zu drehen. Dies geschieht häufig so schnell, daß ihre genaue Struktur nicht ohne weiteres erkennbar ist. Stehen die Frequenzen der beiden angelegten Wechselspannungen jedoch in einem rationalen Verhältnis m/n zueinander, ergeben sich stehende Figuren, z. B. Bild 21.13. In Bild 21.14 sind weitere Beispiele dargestellt. Allerdings läßt sich aufgrund der begrenzten Frequenzstabilität von zwei unabhängigen Spannungsquellen ein stehendes Bild meistens nur kurzzeitig erreichen.

Das Meßsignal, d. h. die Sinusspannung, deren Frequenz f zu messen ist, wird an die y -Platten gelegt; an die x -Platten legt man die Wechselspannung mit der bekannten Vergleichsfrequenz f_0 . Die Verstärkungen werden so eingestellt, daß die Fläche des Leuchtschirms gut ausgenutzt wird. Auf die Genauigkeit der Messung haben die x - und y -Auslenkungen allerdings keinen wesentlichen Einfluß, da die unbekannte Frequenz aus der Form und nicht der Größe der Lissajous-Figur bestimmt wird. Es stehen Vergleichsspannungen mit z. B. $f_0 = 50$ Hz und 1000 Hz zur Verfügung. Ist das Verhältnis $f/f_0 = m/n$ aus der unbekannten Frequenz f und der bekannten Frequenz f_0 durch m und n bestimmt (m, n ganze Zahlen), so ergibt sich auf dem Leuchtschirm eine in sich geschlossene und stehende Lissajous-Figur, die in x - und y -Richtung eine Reihe von Umkehrpunkten aufweist.

Die Zahl m ergibt sich, indem man die Anzahl der Umkehrpunkte am oberen und unteren Rand der Lissajous-Figur abzählt. Ebenso bestimmt man die Zahl n durch Abzählen der Umkehrpunkte am rechten oder linken Rand der Figur. Bild 21.14 zeigt mehrere solcher Figuren, die während der Kalibrierung eines solchen Sinusgenerators aufgenommen wurden. Man zählt z. B. in Bild 21.14a am oberen (oder am unteren) Rand $m = 5$ Umkehrpunkte, am linken (oder rechten) Rand $n = 2$ Umkehrpunkte.

Ist die Vergleichsfrequenz $f_0 = 50$ Hz, ergibt sich für die eingestellte Frequenz

$$f = \frac{m}{n} f_0 = \frac{5}{2} 50 = 125 \text{ Hz.}$$

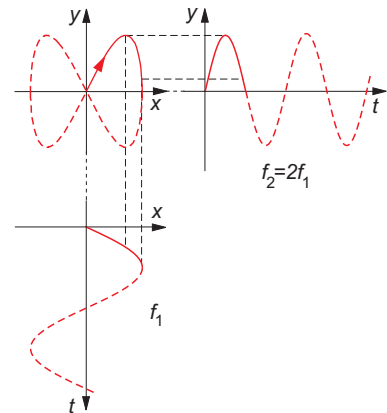


Bild 21.13. Konstruktion einer Lissajous-Figur mit $m/n = 2/1$

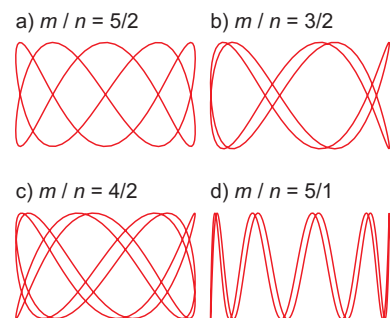


Bild 21.14a-d. Einige Lissajous-Figuren. Bei exakt ganzzahligem Verhältnis der Frequenz ergeben sich stabile Figuren wie in (a). Bei Verwendung zweier unabhängiger Spannungsgeneratoren für die x - und y -Ablenkung ergeben sich instabile Figuren, d. h. Vor- und Rücklauf sind verschieden (Doppelspur) und auch die Form der Figur ändert sich



Wovon hängt bei diesem Verfahren die Genauigkeit ab? Was bestimmt die scheinbare Drehgeschwindigkeit und den Umlaufsinn der Lissajous-Figuren?



Es sollen einige Lissajous-Figuren erzeugt und skizziert werden; die abgebildeten kennen wir schon, was gibt es sonst noch für welche?

23. Speicheroszilloskop



Verständnis für Funktionsweise und Benutzung eines Speicheroszilloskops. Messung nichtperiodischer Signale als Anwendung, z. B. Kondensatorentladung, gedämpfte Schwingungen, Laufzeitmessung von Schallimpulsen, Herzschlagmonitor, Nachweis von Leitfähigkeitsquanten in Nanodrähten.



Standardlehrbücher (Stichworte: Oszilloskop, Kondensatorentladung, gedämpfte Schwingungen),

Betriebsanleitung des verwendeten Oszilloskops,

Garcia/Costa-Krämer: Quantum-Level Phenomena in nanowires,

Ott/Lunney: Quantum Conduction: A Step-by-Step Guide.



Digital-Speicheroszilloskop

Ein **Speicheroszilloskop** kann einmalige oder auch periodisch wiederkehrende Signale speichern und als stehendes Bild, z. B. auf dem Schirm einer Elektronenröhre darstellen. Ebenso wie ein gewöhnliches Oszilloskop dient auch ein Digital-Speicheroszilloskop zur Erfassung und Darstellung analoger Signale, d. h. zeitveränderlicher Spannungen. Allerdings erfolgt die Speicherung der analogen Signale digital. Gibt man dieses gespeicherte einmalige Signal öfter als 25 mal pro Sekunde auf dem Schirm des Speicheroszilloskops aus, so entsteht ein stationäres und flimmerfreies Bild.

Die Funktionsweise und typische Betriebsarten eines Speicheroszilloskops sollen an einem Beispielgerät, dem Gould Digital Storage Oscilloscope, Typ DSO 1421, erläutert werden.

Funktionsweise

Das Blockschaltbild eines Speicheroszilloskops ist in Bild 23.1 dargestellt. Die analogen Signale Y_1 und Y_2 , die an den Kanälen CH1 bzw. CH2 anliegen, werden durch Eingangsverstärker verstärkt. Je nach Stellung des **Normal-** und **Speicher-**Schalters wird das verstärkte Signal entweder direkt über den **Normal-Kanal** auf den **Y-Ausgangsverstärker** gegeben, oder es durchläuft vorher auf dem **Speicher-Kanal** die digitale Zwischenspeicherung. Im Speicherbetrieb werden die analogen Signale mit *Analog-Digital-Wandlern*, *A/D-Wandlern*, in digitale Signale umgewandelt. Diese können dann in einem *Halbleiterspeicher* abgespeichert werden. Der Spei-

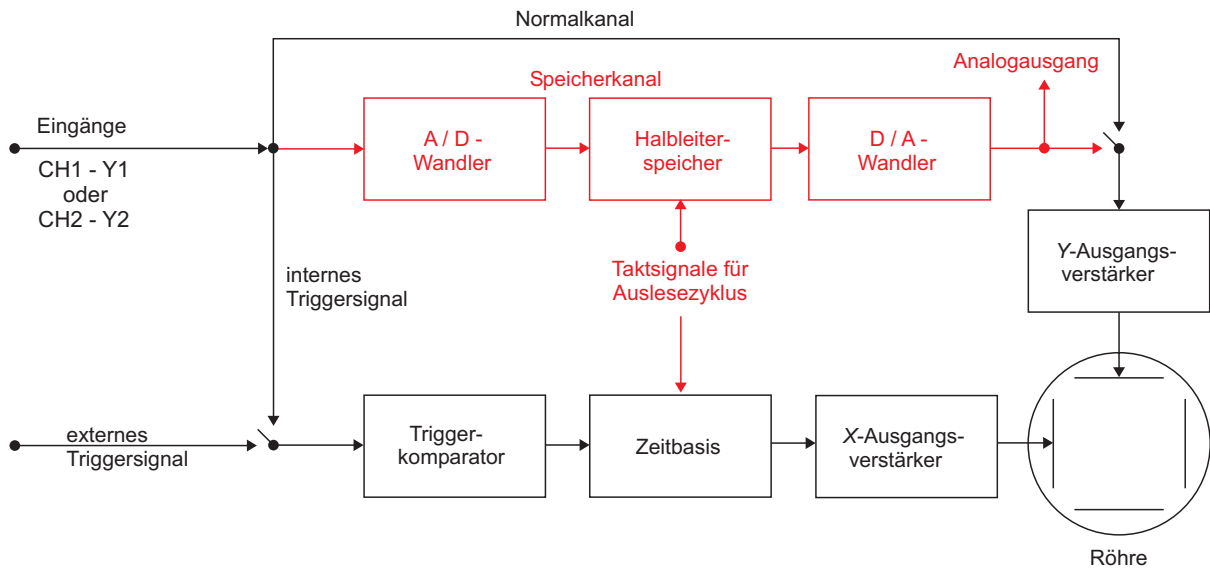


Bild 23.1. Blockschaltbild eines Speicheroszilloskops

cher wird, gesteuert durch eine interne Taktfrequenz, periodisch ausgelesen, die Digitalsignale mit einem Digital-Analog-Wandler, *D/A-Wandler*, wieder in Analogsignale umgewandelt und auf den *Y*-Ausgangsverstärker geschaltet. Das so verstärkte Signal wird an die horizontal angeordneten Platten der Oszilloskopröhre gelegt und erzeugt die *Y*-Ablenkung des Elektronenstrahls.

Die *X*-Ablenkung des Elektronenstrahls ist unabhängig von der Stellung des *Normal-/Speicher*-Umschalters. Im Normalbetrieb startet der *Triggerkomparator* das Ablaufen der *X*-Ablenkung, sobald das anliegende Analogsignal einen bestimmten Flankenwert, der extern über den *Trigger-Level* eingestellt werden kann, übersteigt. Dann wird der Elektronenstrahl freigegeben und kann den Schirm der Röhre in horizontaler Richtung durchlaufen. Der Triggerkomparator kann alternativ auch mit einem externen Triggersignal freigeschaltet werden. Die Zeit, die benötigt wird, um den Schirm einmal in der *X*-Achse zu durchlaufen, kann mit der *Zeitbasis* voreingestellt werden. Die *Sägezahnspannung*, die den Strahl in *X*-Richtung ablenken soll und deren Rampensteigung die Zeitbasis vorgibt, wird im *X*-Ausgangsverstärker verstärkt und an die vertikal angeordneten Platten der Oszilloskopröhre gelegt.

Im Speicherbetrieb können *Speichern* und *Auslesen* unabhängig voneinander, d. h. mit unterschiedlichen Frequenzen, erfolgen. Wichtig für den Speichervorgang ist die Angabe des Startzeitpunktes (Trigger-Signal) und des Speicherzeitraumes (Zeitbasis). Nach dem Triggersignal wird das Eingangssignal innerhalb des Speicherzeitraums in n gleichen Zeitabschnitten abgetastet und in die n zur Verfügung stehenden Speicherplätze geschrieben. Bei dem zur Verfügung stehenden Gerätetyp ist $n = 1024$. Die ma-



ximale Abtastrate des Eingangssignals beträgt 2 MHz, was eine untere Grenze der Zeitbasis zur Folge hat. Beim Auslesevorgang entspricht ein Strahldurchlauf von links nach rechts auf dem Oszilloskopschirm dem Auslesen und Darstellen der 1024 gespeicherten Spannungswerte.



Betriebsarten eines Speicheroszilloskops

Normalbetrieb: Schalterstellung auf Norm

In dieser Betriebsart (Echtzeitbetrieb) kann das Gerät ohne Speicher verwendet werden wie ein normales Oszilloskop.

Speicherbetrieb: Schalterstellung auf Store

Beim DSO 1421 sind alle für den Speicherbetrieb benötigten Bedienelemente orange gekennzeichnet. Bei allen Speicherbetriebsarten muß der *Auto-Trigger* ausgeschaltet sein (Stellung *Normal*). Dies macht sich z. B. in der normalen Betriebsart dadurch bemerkbar, daß der Strahl erst losläuft, wenn ein Triggersignal anliegt; d. h. ohne Signal erscheint auch kein Strahl (waagerechte Linie) auf dem Oszilloskopschirm.

Datenerneuerung: Schalterstellung auf Refresh

In dieser Betriebsart wird nach jedem Triggersignal der Speicher hintereinander voll geschrieben. Gleichzeitig wird der alte Speicherinhalt gelöscht. Unabhängig vom Einlesen wird die gespeicherte Information ständig ausgegeben. Bei sehr langsamen Löschvorgängen (z. B. Zeitbasis 10 s) kann das Überschreiben deutlich beobachtet werden.

Schalterstellung Refresh + Arm

Diese Betriebsart ermöglicht einen *single shot*-Betrieb: Nach dem Drücken der Taste *Arm* befindet sich das Gerät in Speicherbereitschaft (die Kontroll-Lampe *Armed* blinkt). Das nächste vom Trigger akzeptierte Signal startet dann den einmaligen Speichervorgang, der beendet ist, wenn die Lampe *Stored* leuchtet. Dieser Zustand bleibt bei qualitativ unverändertem Bild solange erhalten, bis entweder ein neuer Speicherbefehl erteilt oder durch Drücken der *Release*-Taste auf reinen Refresh-Betrieb geschaltet wird.

Schalterstellung: Roll

Eine andere Art der Speicherung wird durch Drücken der Taste *Roll* ermöglicht. Der gesamte Speicher funktioniert jetzt wie ein *Schieberegister*, Bild 23.2. Die aktuellen Daten (in Bild 23.2 beispielsweise 10110100) werden von einem Speicherplatz zum nächsten weitergeschoben, wobei der neueste Wert am Speicheranfang eingegeben wird und der älteste Wert am Ausgang den Speicher verläßt und verlorengeht. Auch hier wird unabhängig vom Schiebeprozess der ganze Speicher periodisch auf den Bildschirm ausgegeben.

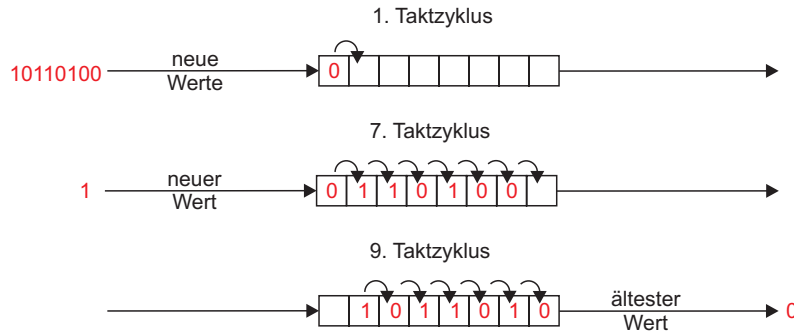


Bild 23.2. Schematische Funktionsweise eines Schieberegisters

Schalterstellung: Roll + Arm, Funktion des Pretriggers

Bei Schalterstellung Roll und nach Drücken der Taste Arm (Kontroll-Lampe blinkt) wird beim nächsten Triggersignal der Schiebevorgang der Daten gestoppt. Je nach Stellung der Pretriggertaste ist so das Signal vor dem Eintreffen des Triggersignals im Speicher. Das Eingangssignal kann dabei um 0 %, 25 %, 75 % und 100 % vor der Zeit, die an der Zeitbasis eingestellt wird, dargestellt werden; d. h. um den angegebenen Prozentsatz vor dem Eintreffen des Triggersignales.

Schalterstellung: Hold

Durch Drücken der Hold-Taste kann man den Speicherinhalt „einfrieren“. Es können damit entweder beide Kanäle oder nur Kanal CH 2 festgehalten werden. Diese können dann z. B. auf einem X-Y-Schreiber ausgegeben werden. Wird nur Kanal 2 abgespeichert, kann dieses Signal mit dem fortlaufenden Signal auf Kanal 1 verglichen werden.