

## Oszilloskopisches Messen

Studiengang/Set: ..... Praktikumsplatz-Nr.: ..... Datum: .....

Testat: .....

Teilnehmer 1: .....  
(Protokollant) (Blockschrift) (Unterschrift)

Datum: .....

Teilnehmer 2: .....  
(Blockschrift) (Unterschrift)

.....  
Unterschrift

### 0. Literatur

- Meyer, G.: Oszilloskope  
Heidelberg, Hüthig 1989
- Schultz, Elektrische Meßtechnik  
Berlin, Verlag Technik 1979
- Czech, I.: Elektronenstrahlröhren für Oszilloskope  
Heidelberg, Hüthig 1984

### 1. Grundlagen des oszilloskopischen Messens

Das immer noch wichtigste und häufigste in Mess- und Entwicklungslaboren von Forschungseinrichtungen anzutreffende Messgerät ist das **Oszilloskop** (Kurzform: **Oszi**). Diese Geräte existiert in den unterschiedlichsten technischen Ausführungen, mit den unterschiedlichsten technischen Parametern und den unterschiedlichsten Bedienkonzepten und -elementen. Das Erscheinungsbild des Oszilloskops hat sich in den letzten Jahren so dramatisch gewandelt, dass oszilloskopisches Messen heutzutage praktisch auch mit jedem Laptop möglich ist, wenn dieser über eine Schnittstellenkarte zur Datenerfassung und entsprechende Software verfügt. Gleich geblieben sind jedoch die Mess- und Analysemethoden, um die es in diesem Versuch dann auch gehen soll.

Voraussetzung für ein systematisches Arbeiten mit einer solchen Messtechnik ist jedoch der sichere Umgang mit der Vielzahl von Einstellelementen auf dem Frontpanel eines solchen Gerätes. Deren planvolle Benutzung ist wiederum nur möglich, wenn der Aufbau und das Wirkungsprinzip eines Oszilloskopes verstanden wurde und damit klar ist, welche Funktionsgruppen im Gerät durch welche Bedienelemente beeinflusst werden. Im ET-Labor steht hierfür ein klassisches Kathodenstrahloszilloskop der Fa. Hameg "HM 1004-3" zur Verfügung, das als Zweikanal-Oszilloskop für Signale mit einer maximalen Frequenz von 100 MHz verwendet werden kann.

Ein Oszilloskop ermöglicht in erster Linie das Beobachten und Messen zeitlich veränderlicher **Spannungen**, deren Verlauf dazu auf einem Bildschirm sichtbar gemacht wird. Das Herzstück eines jeden Oszilloskopes ist dabei die **Katodenstrahlröhre** (**BRAUNsche Röhre, cathode ray tube, CRT**). Im Zeitalter der Mikroelektronik, in dem festkörperelektronische Wirkprinzipien dominieren, hat sie als eines der wenigen vakuumelektronischen Bauelemente aus der Zeit vor der Erfindung des Transistors nichts von ihrer Bedeutung eingebüßt, auch wenn bereits Systeme mit Flüssigkristallbildschirmen o.ä. im Handel sind.

Katodenstrahlröhren arbeiten nach dem Prinzip der **elektrostatischen** Fokussierung und nachfolgender **elektrostatischer** Ablenkung eines **Elektronenstrahls** konstanter Intensität, der beim Auftreffen auf eine den Bildschirm bedeckende Leuchtstoffschicht diese lokal zur **Lumineszenz** anregt.

Im zeitlichen Nacheinander entstehende Bildpunkte erzeugen schließlich auf dem Bildschirm eine Leuchtspur, die quantitative Aussagen über alle interessierenden Signalparameter ermöglicht, wie z.B. Amplitude, Momentanwert, Periodendauer (Frequenz), Nullphasenwinkel, Impulsdauer, Impulsanstiegs- und -abfallzeit. Prinzipiell sind jedoch alle physikalischen Größen darstellbar, die über geeignete Wandlerelemente (Sensoren) als elektrische Spannung darstellbar sind. Das Oszilloskop ist und bleibt auf Grund seines Wirkprinzips aber immer ein **Spannungsmessgerät**, dessen Messgeräteeinwiderstand deshalb typisch für einen Spannungsmesser hochohmig ist (i.d.R. 1 MΩ)!

### 1.1. Die Katodenstrahlröhre CRT

Ihr schematischer Aufbau ist in Bild 1 dargestellt. Es handelt sich um eine Hochvakuumröhre, in deren Glaskolben eine Anzahl unterschiedlicher **Elektroden** untergebracht sind.

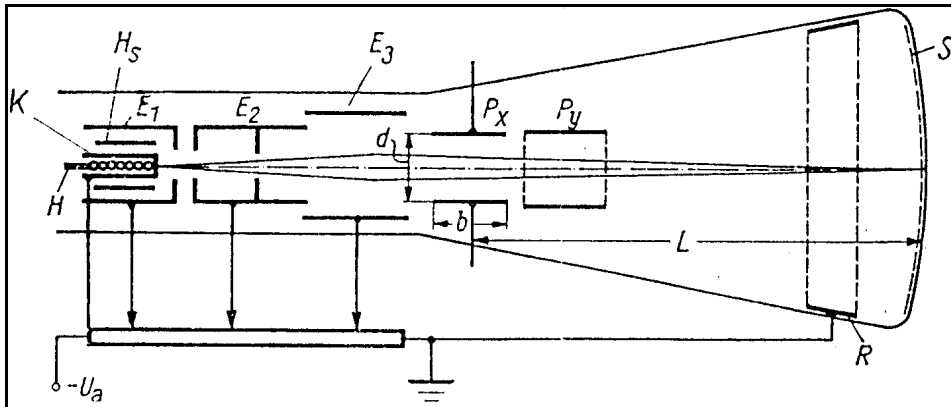


Bild 1 Aufbau einer Katodenstrahlröhre

Die von der geheizten **Rohrkatode K** austretenden Elektronen werden im elektrostatischen Feld der zwischen Anode und Katode vorhandenen Anodenspannung  $U_a$  (typ. 1 kV) zur **Anode E2** hin beschleunigt und durch eine Elektronenoptik (**Fokussierelektroden E2 und E3**) zu einem Strahl gebündelt. Anschließend durchläuft der Strahl zwei hintereinander angeordnete und um  $90^\circ$  zueinander verdrehte **Ablenkplattenpaare P<sub>x</sub> und P<sub>y</sub>**. Die Montage der Röhre im Oszilloskop erfolgt dabei so, dass das erste Plattenpaar, zwischen dem der

Strahl hindurch läuft, horizontal ausgerichtet ist (**Y-Platten**) und das zweite entsprechend vertikal (**X-Platten**) orientiert ist. Die Strahlablenkung erfolgt nun im homogenen elektrostatischen Feld, das sich beim Anlegen einer Spannung zwischen den Platten eines Plattenpaares ausbildet, nahezu trägheitslos (Bild 1 zeigt den Strahlverlauf **ohne** eine solche Ablenkspannung!). Beim Auftreffen auf die Fluoreszenzstoffe, die den **Leuchtschirm S** bilden, entsteht ein heller Leuchtpunkt von wenigen Zehntel Millimeter Durchmesser. Dessen Lage ist streng proportional zur Spannung zwischen den Elektroden eines Plattenpaares. Der als **Empfindlichkeit e** bezeichnete Proportionalitätsfaktor ist neben der Anodenspannung ausschließlich von der Geometrie der

Anordnung (Plattenlänge  $b$ , Plattenabstand  $d$ , Abstand der Ablenkplatten zum Leuchtschirm  $L$ ) abhängig: 
$$e = \frac{bL}{2dU_a}$$

Eine noch unerwähnt gebliebene, aber für die Funktion eines Oszilloskops sehr wichtige Elektrode ist der **WEHNELT-Zylinder E1** (auch als WEHNELT-Topf bezeichnet). Er bildet mit der Kathode eine konstruktive Einheit und dient als Steuerelektrode zur Steuerung der Strahlintensität. Die Bedienung erfolgt extern über den Intensitätsstellknopf auf der Frontplatte des Oszis.

Bild 2 zeigt das Zusammenwirken der Elektronenstrahlröhre (symbolisches Schaltzeichen beachten!) mit den prinzipiellen Funktionseinheiten eines Oszilloskops.

### 1.2 X- und Y-Verstärker

Die Messspannungen gelangen i.d.R. über spezielle koaxiale Steckverbinder (sog. BNC-Buchsen (**B**ayonet-**N**orm-**C**onnector)) an die Ablenkplattenpaare. Häufig, so auch bei dem im Praktikum eingesetzten Oszilloskop, wird über einen "Trick", der die Trägheit des menschlichen Auges nutzt, die Darstellung eines zweiten Signals auf dem Bildschirm möglich gemacht, indem über einen elektronischen Umschalter abwechselnd das Signal  $y_1$  von Kanal 1 oder das Signal  $y_2$  von Kanal 2 an dasselbe Y-Plattenpaar gelegt wird. Geschieht die ausreichend schnell, kann unser Gehirn die zwei Bilder zeitlich nicht mehr auflösen und sie erscheinen uns gleichzeitig vorhanden zu sein. Man spricht dann von einem **2-Kanal-Oszilloskop** (Bild 2 und 3). Nach dem gleichen Prinzip funktionieren auch 4-Kanal-Oszilloskope!

Da die zu messenden Spannungen in der Regel zu gering sind, um den Elektronenstrahl messbar abzulenken ( $e \approx 0,5 \text{ mm/V}$ ), sind **breitbandige Verstärker** (Endverstärker in Verbindung mit einem in seinem

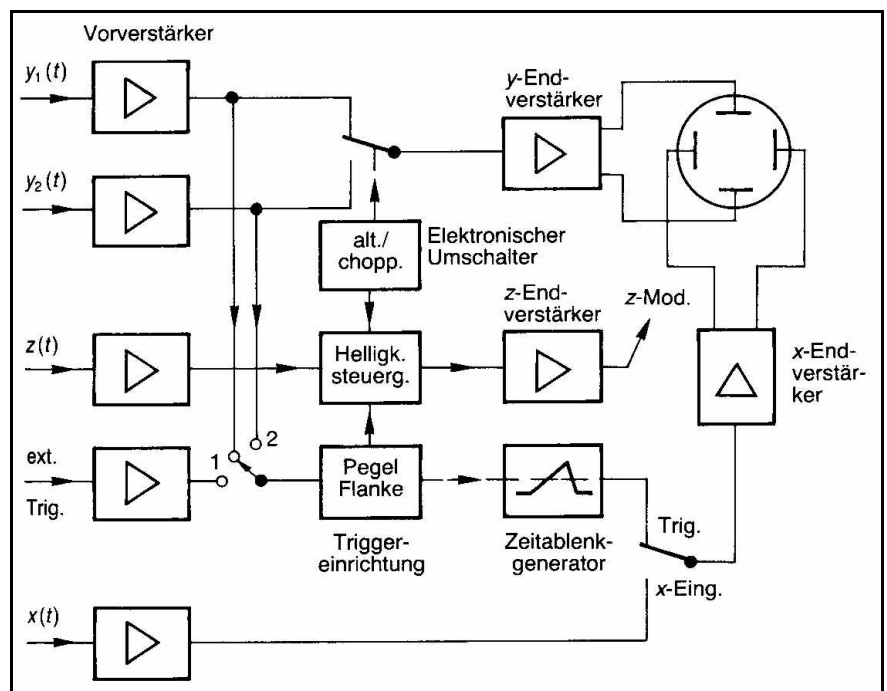


Bild 2 Blockschaltbild eines Zweikanal-Oszilloskops

Verstärkungsfaktor kalibriert einstellbaren Vorverstärker) in den Signalweg vor die Platten geschaltet. Damit lassen sich Ablenkempfindlichkeiten des Strahls bis zu etwa 500 cm/V am Bildschirm erreichen. Dieser Wert entspricht eine **Ablenkfaktor**  $1/e$  von 2 mV/DIV, wobei 1 DIV (engl.: *division* - Unterteilung) einem Intervall des Bildschirmrasters entspricht (i.d.R. 1 cm). Der Ablenkfaktor lässt sich getrennt für jeden Kanal über **Messbereichswahlschalter** kalibriert oder variabel einstellen.

Mit Hilfe von **dreistufigen Schaltern** (DC/AC/GND) lassen sich außerdem die Eingänge der Vorverstärker noch galvanisch (d.h. elektrisch leitend) oder kapazitiv (d.h. **über einen reihengeschalteten Kondensator**) mit der Eingangsbuchse verbinden bzw. auch an Massepotential (engl.: *ground*) anschalten, um in letzterem Fall die "Nulllage" des Strahls (Strahlposition bei Spannung Null!) als Referenzort zu bestimmen. Bei kapazitiver Einkopplung gelangt ein evtl. im Signal vorhandener Gleichspannungsanteil **nicht** an die Ablenkplatten, d.h. es kommt nur der Wechsellspannungsanteil des Signals zur Darstellung (**AC-Betrieb**)! Bei galvanischer Einkopplung (**DC-Betrieb**) bewirkt ein im Signal vorhandener Gleichspannungsanteil eine polaritätsabhängige Verschiebung des Signals nach oben oder unten auf dem Bildschirm, die u.U. so groß sein kann, das der Strahl außerhalb der Leuchtschicht auftrifft und der Bildschirm dunkel bleibt!

Zur Positionierung des Kurvenzuges auf dem Bildschirm werden den Ablenkspannungen über die Verstärker noch einstellbare Gleichspannungen überlagert, die durch Einstellregler **X-Position, Y-Position** im Bedienfeld des Oszilloskops beeinflussbar sind. (Damit lassen sich im DC-Betrieb z.B. auch ganz bewusst evtl. vorhandene Gleichspannungsanteile im Signal kompensieren!)

### 1.3 Zeitablenkbetrieb

Ein besonders häufig anzutreffender Fall des Messens mit einem Oszilloskop ist die Analyse des zeitlichen Signalverlaufs. Zu diesem Zweck muss der Elektronenstrahl mit konstanter Geschwindigkeit (eben zeitproportional!) in horizontaler Richtung abgelenkt werden. Dadurch entsteht quasi die "Zeitachse" des Diagramms. Eine geeignete Spannung zur Auslösung dieses Vorganges ist eine zeitproportional ansteigende Spannung, die nach Erreichen eines Maximalwertes wieder zu ihrem Anfangswert zurückspringt ("zurückkippt"), weshalb sie auch als Kippspannung bezeichnet wird. Danach wiederholt sich der Vorgang i.d.R. periodisch. Die Kippspannung wird **im** Oszilloskop im Kippspannungs- oder auch Zeitablenkgenerator intern bereitgestellt und dann mit Hilfe eines Umschalters dem x-Endverstärker zugeführt (s. Bild 2). In diesem Fall wird die horizontale Strahlablenkung auch **Zeitablenkung** genannt. Die Frequenz der Kippspannung lässt sich mit einem Wahlschalter in kalibrierten Stufen einstellen, wodurch die Geschwindigkeit der Strahlablenkung und damit der Zeitmaßstab in x-Richtung festgelegt wird. Es besteht aber auch die Möglichkeit der variablen Frequenzeinstellung.

Ändert sich nun während der Strahlablenkung in x-Richtung die an dem Y-Plattenpaar anliegende Signalspannung, dann liefert die Kombination von vertikaler und horizontaler Strahlablenkung den exakten zeitlichen Signalverlauf  $y(t)$ .

Damit bei periodischen Messspannungen ein stehendes Bild der Messspannung zustande kommt (Bild 3), muss der Elektronenstrahl immer mit der Darstellung des gleichen Messpunktes innerhalb einer Periode am linken Bildschirmrand beginnen. Dazu muss die Frequenz der Zeitablenkspannung vom Messsignal selbst gesteuert werden. Prinzipiell ist zwischen **Synchronisieren** (Mitziehen) oder **Triggern** (Auslösen) zu unterscheiden.

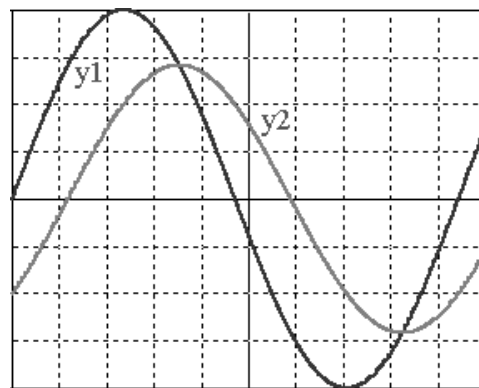


Bild 3 Bildschirmfigur im 2-Kanal-Betrieb (Triggerung auf Ch I, Triggerlevel = 0 V)

**Synchronisation** Die Frequenz der Zeitablenkspannung wird variiert, bis ein ganzzahliger Bruchteil der darzustellenden Messsignalfrequenz erreicht ist (heute kaum noch gebräuchlich).

**interne Triggerung** Der lineare Anstieg der Zeitablenkspannung beginnt erst, wenn das Messsignal (wählbar ob von Kanal 1 oder von Kanal 2!) einen mit dem **Level-Regler** auf der Frontplatte vorwählbaren Spannungswert (**Triggerlevel**) erreicht hat. Die Aufzeichnung des Messsignals beginnt dann von diesem Spannungswert ab am linken Bildschirmrand und endet, wenn der Strahl den rechten Bildschirmrand erreicht hat. Danach kehrt der Strahl zum linken Bildschirmrand zurück (in dieser Phase über den WEHNELT-Zylinder dunkelgetastet) und verharrt dort solange, bis in der nachfolgenden Signalperiode die Messspannung erneut die Triggerschwelle überschreitet und wieder eine "Zeitablenkung" auslöst.

**externe Triggerung** Es läuft der zur internen Triggerung analoge Vorgang ab, nur dass jetzt eine externe periodische Spannung zur Auslösung der Zeitablenkspannung benutzt wird, die im allgemeinen in einem definierten Zusammenhang zur Messgröße steht. Der Anschluss erfolgt über eine separate BNC-Buchse.

Die Vorteile der Triggerung sind:

- es lässt sich ein kalibrierbarer Zeitmaßstab angeben,
- es entstehen immer stehende Bilder,
- die Darstellung nichtperiodischer und einmaliger Signale (Impulse) wird möglich.

### 1.4 XY-Betrieb

Soll in x-Richtung nicht die Zeit, sondern ein zweites Signal aufgetragen werden, so ist das Oszilloskop im **X,Y-Mode** zu betreiben. In diesem Fall wird die Kippspannung von den X-Platten abgeschaltet und dafür die im x-Vorverstärker verstärkte zweite Messgröße an die X-Platten angeschlossen. Dies geschieht entweder über die separate x-Eingang-Anschlussbuchse oder häufig auch über den zweiten y-Messkanal beim Zweikanaloszilloskop.

- Frequenz- und Phasenmessung mittels LISSAJOUS-Figuren

Der y-Eingang erhält die harmonische Messspannung  $u_y(t) = \hat{u}_y \cdot \sin(2\pi f_y t + \varphi_y)$  und der X-Eingang die sinusförmige Vergleichsspannung  $u_x(t) = \hat{u}_x \cdot \sin(2\pi f_x t)$ . Die beiden Frequenzen sollen dabei im Verhältnis (kleiner) ganzer Zahlen stehen. In diesem Fall entsteht auf dem Bildschirm ein stehendes Bild, die sogenannte **LISSAJOUS-Figur**. Ihre Gestalt erlaubt Rückschlüsse auf das Frequenzverhältnis  $f_y/f_x$ , auf das Amplitudenverhältnis  $\hat{u}_y/\hat{u}_x$  und auf die Phasenverschiebung  $\varphi = \varphi_y - \varphi_x$  zwischen beiden Signalen.

Für den Fall **gleicher Frequenz** ergibt sich die in Bild 4 dargestellte Ellipse. Der Nullphasenwinkel bestimmt sich daraus zu  $\varphi = \arcsin a/A$ , das Amplitudenverhältnis unter Berücksichtigung der für die jeweilige Koordinate verwendeten Ablenkempfindlichkeit aus dem Verhältnis der maximalen Ausdehnung in x- und y-Richtung. (Bild 4 spiegelt die Verhältnisse in Bild 3 wieder!)

Im Falle ungleicher Frequenzen lässt sich die Frequenz  $f_y$  aus der bekannten Frequenz  $f_x$  und der Anzahl  $n_y$  bzw.  $n_x$  der Maxima der y- bzw. x-Schwingung berechnen, die sich als Berührungspunkte  $n_y$  bzw.  $n_x$  der Seiten eines gedachten, die LISSAJOUS-Figur einhüllenden Rechtecks ergeben. Es gilt dann:  $f_y/f_x = n_y/n_x$ .

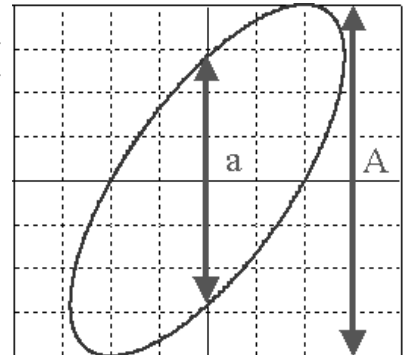


Bild 4 Phasenellipse nach LISSAJOUS

- Kennliniendarstellung

Es wurde bereits erwähnt, dass mit einem Oszilloskop prinzipiell jede in eine proportionale Spannung wandelbare physikalische Größe dargestellt werden kann. Dies soll nun genutzt werden, um mit dem Oszilloskop die *I,U*-Kennlinie einer Diode. Alles was benötigt wird, ist eine zeitveränderliche Spannungsquelle (z.B. Sinusspannungsquelle) und ein Widerstand, an dem die Wandlung des Diodenstroms in eine proportionale Spannung erfolgt. Die Messanordnung zeigt Bild 5.

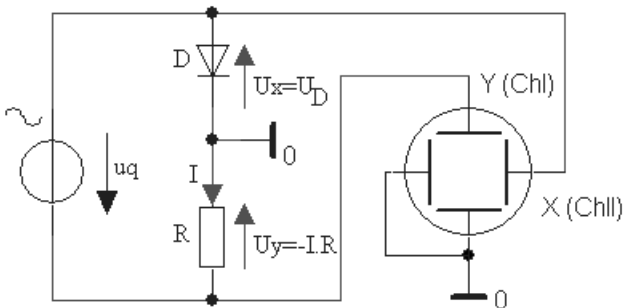


Bild 5 Messanordnung zur Darstellung der *I,U*-Kennlinien einer Diode

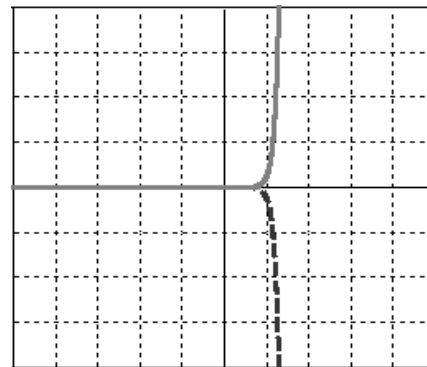


Bild 6 Oszillogramm der *I,U*-Kennlinie einer Diode  
(--- Kurve vor Invertierung)

Die Spannung, die die Ablenkung des Elektronenstrahls in x-Richtung bewirkt, ist die momentane Spannung an der Diode D. Die Spannung, die die Auslenkung in y-Richtung bewirkt, ist die Spannung am Widerstand R, die aber dem momentan durch die Diode fließenden Strom I proportional ist. Proportionalitätsfaktor ist der Widerstand R! Die Tatsache, dass die Oszi-Messanschlüsse unsymmetrisch sind (ein Pol jeder Messleitung ist immer mit *Ground* (Masse, Null-Potential) verbunden), erzwingt zur Vermeidung von Kurzschlüssen das gemeinsame Massepotential zwischen Diode und Widerstand zu legen! Das hat zur Folge, dass nun die Spannung am Widerstand entgegengesetzt zur gültigen Stromrichtung gemessen wird. Die Folge davon ist, dass die Kurve auf dem Oszi-Bildschirm an der x-Achse gespiegelt wird! Für solche Fälle hat der Gerätehersteller vorgesorgt, indem er jedem Y-Kanal einen Schalter spendiert hat, mit dem das Signal invertiert werden kann (aus + wird - und umgekehrt). Das Ergebnis sollte dann wie in Bild 5 aussehen. Was hier am Beispiel der Diode demonstriert wurde, ist natürlich mit jedem stromleitenden Objekt möglich. Durch Einsatz entsprechender Wandler lassen sich nahezu beliebige Kennlinien anderer Objekte aufnehmen, z.B. Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien von Motoren, oder den Druck-Temperatur-Zusammenhang in der Düse einer Spritzdruckmaschine, um nur zwei Beispiele zu nennen.

## 2. Vorbereitungsaufgaben

1. Studieren Sie an Hand der Versuchsanleitung und der Fachliteratur das Funktionsprinzip eines Oszilloskops und erarbeiten Sie sich insbesondere folgende Messmethoden: Amplitudenmessung (mit und ohne Gleichanteil im Signal), Periodendauermessung, Phasenmessung und Frequenzmessung (*Meyer, G.: Oszilloskope, S. 4-22 sowie 285-305*).
2. Laden Sie sich die Kurzbeschreibung des im Praktikum eingesetzten HAMEG-Oszilloskops aus dem Internet herunter und studieren Sie diese. Erkunden Sie außerdem die wichtigsten Bedienvorgänge eines Oszilloskops mit Hilfe der unter <http://www.virtuelles-oszilloskop.de/simulation.html#> im Netz verfügbaren Simulation eines virtuellen Oszilloskops! Welche Signale gehören zu den 4 verschiedenfarbigen Messkabeln?
3. Bezeichnen Sie die in Bild 7 markierten wichtigsten Komponenten eines Oszilloskops.

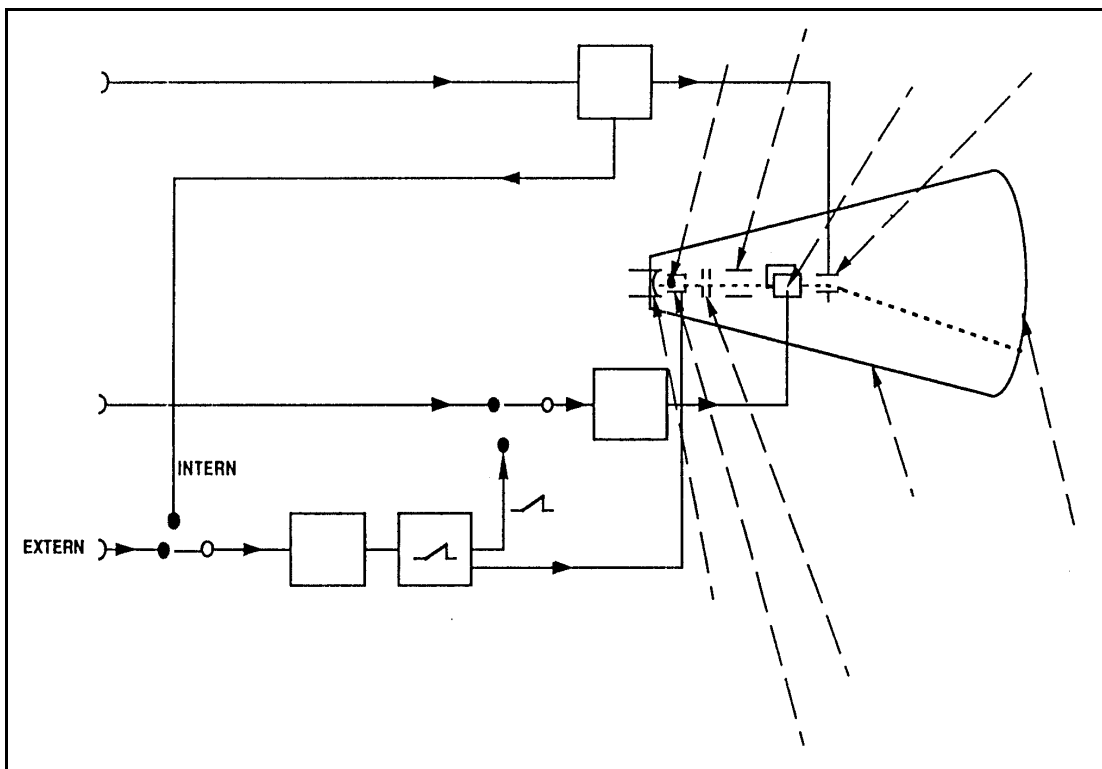
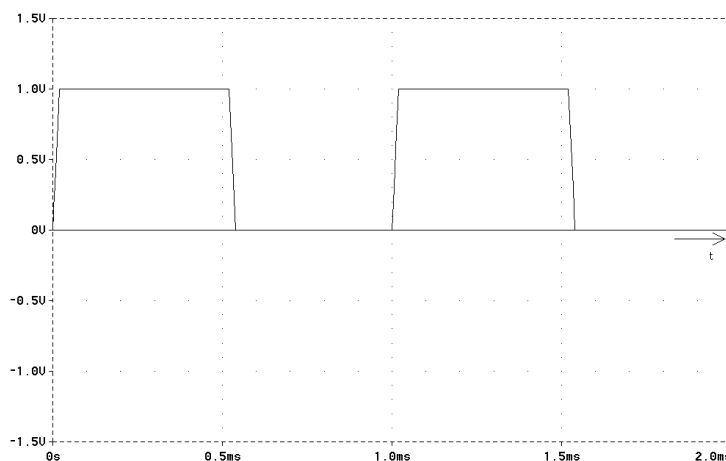


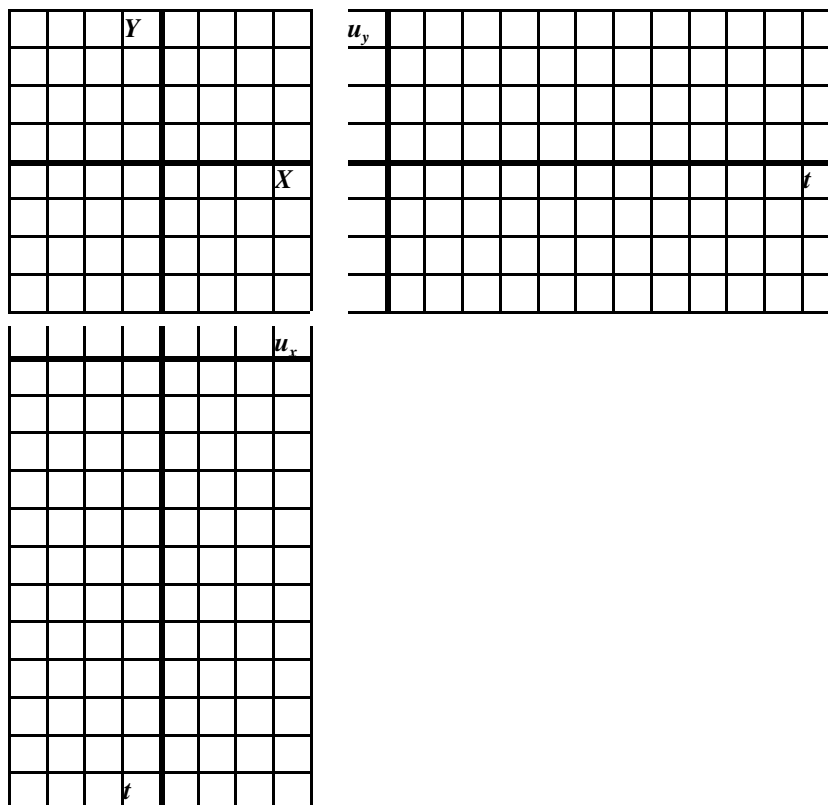
Bild 7 Schematische Darstellung eines Oszilloskops

4. Welche Wirkung hat der Einkoppelkondensator eines Oszilloskops in Verbindung mit dem Eingangswiderstand des Oszilloskops (**AC-Betrieb**)?

Angenommen, es soll nachfolgendes Signal mit dem Oszilloskop im AC-Betrieb registriert werden. Wie stellt es sich dann auf dem Bildschirm dar? Skizzieren Sie dessen Verlauf in das gleiche Diagramm (Impulsflanken beachten!).



5. **Konstruieren** Sie in das nachfolgende Diagramm Punkt für Punkt die LISSAJOUS-Figur, indem Sie durch Projektion der Momentanwerte zweier harmonischer Signale zum gleichen Zeitpunkt in ein gemeinsames X,Y-Diagramm dort die zugehörigen Schnittpunkte feststellen. Nehmen Sie dafür die Amplitude jeweils zu 4 DIV und die Phasendifferenz zu  $\varphi = \varphi_y - \varphi_x = +45^\circ$  an!



### 3. Versuchsdurchführung

#### 3.1 Darstellung zeitlicher Signalverläufe mit dem Oszilloskop - Messung von Kenngrößen periodischer Signale

##### Aufgabe: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Amplitude und Effektivwert von Wechselspannungen und Frequenzbestimmung über die Messung der Periodendauer

Voltmeter messen prinzipiell nur Mittelwerte von zeitveränderlichen Spannungen! Das Erfassen von Momentanwerten lässt ihr Messprinzip gar nicht zu! Insbesondere sind sie in der Lage den arithmetischen Mittelwert (**Gleichwert**) und die Wurzel aus dem quadratischen Mittelwert (**Effektivwert**) periodischer Spannungen anzuzeigen, die aus der Überlagerung einer Gleichspannung  $U_0$  und einer Wechselspannung  $u_0$  bestehen kann. Umgekehrt werden Oszilloskope gerade zum Messen der **Momentanwerte** eingesetzt, da auf ihrem Bildschirm der genaue zeitliche Spannungsverlauf darstellbar ist. Das schließt auch eine genaue Zeitmessung mit ein. Darüber hinaus lassen sich auch Gleichwerte mit dem Oszilloskop erfassen (dies wird in Aufgabe 3.2 genutzt!), den Effektivwert können Oszilloskope auf Grund ihres Messprinzips jedoch nicht anzeigen. (Moderne digitale Oszilloskope können diesen allerdings aus den gemessenen Momentanwerten **berechnen**!)

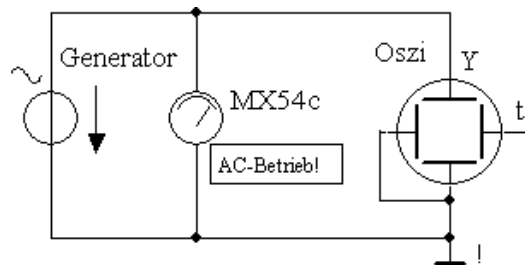


Bild 8 Messung von Amplitude und Periode mit dem Oszi

Verbinden Sie, wie im Schema von Bild 8 gezeigt, in geeigneter Weise (Schaltbrett verwenden) den Oszilloskopeingang mit dem in der Konsole des Versuchsaufbaus eingebauten Funktionsgenerator (Ausgang **OUT**). Stellen Sie am Generator zunächst ein **Sinussignal** mit  $\hat{u} = 2 \text{ V}$  und  $f = 200 \text{ Hz}$  ein. Da der Generator keine Anzeige für die Amplitude aufweist, überprüfen Sie deren Wert mit Hilfe des Oszilloskops. Parallel zum Oszilloskopeingang schalten Sie das Digitalmultimeter MX 54c und betreiben dieses im **AC-Betrieb**! Notieren Sie sich den im Display angezeigten Messwert, der die Bedeutung eines Effektivwertes hat. Nutzen Sie auch den Frequenzmessbetrieb zur Überprüfung der Generatorfrequenz. Schalten Sie danach den Generator auf Dreiecksignal um, justieren Sie ggf. die Amplitude wieder auf 2 V (die Frequenz wird nicht geändert!) und wiederholen Sie die Messung sinngemäß!

##### Hinweis:

Nehmen Sie die Einstellungen am Oszilloskop dabei so vor, dass die Messabweichungen am geringsten werden, d.h. Ausnutzung des Messbereichs in x- und y-Richtung, indem durch geeignete Wahl des y-Ablenkfaktors der Bildschirm in y-Richtung möglichst für den gesamten Signalhub genutzt wird. Analoges gilt für die x-Richtung. Hier sollte möglichst eine Signalperiode den Bildschirm ausfüllen! Achten Sie auf eine korrekte Lage der Nulllinie in der Bildschirmmitte (dazu Eingang erden (auf GRND schalten))! Triggern Sie außerdem das Oszilloskop so, dass das Signalbild mit dem Nulldurchgang (positiver Anstieg!) am linken Rand des Bildschirms beginnt!

**ACHTUNG!** Vermeiden Sie zu helle Leuchtspuren des Elektronenstrahls (Einbrennengefahr)!

Auswertung:

- Bestätigen Sie aus dem gemessenen Effektivwert  $U$  den für harmonische Spannungsverläufe gültigen Zusammenhang  $\hat{u} = \sqrt{2} \cdot U$ . Wie genau entspricht die Messung der Theorie? Welcher Proportionalitätsfaktor ergibt sich für das Dreieckssignal?
- Welche Maßnahmen dienen der Fehlerminimierung bei der Verwendung eines Oszilloskopes? Schätzen Sie den damit minimal erreichbaren Fehler (z.B. für die Spannungsmessung) ab und ordnen Sie darauf hin dem Oszilloskop eine Fehlerklasse zu!

**3.2 DC- und AC-Betrieb des Oszilloskopes - Messung des Gleichwertes und Ermittlung von Effektivwerten**

Die Vertikalverschiebung der Signalkurve bei AC/DC-Umschaltung entspricht dem Gleichanteil im Signal.

Erzeugen Sie sich durch Überlagerung (Addition) einer von der Monozelle gelieferten Gleichspannung, mit einer vom der Funktionsgenerator gelieferten harmonischen Wechselfspannung ein Mischsignal (Werte des Wechselfsignals und Messaufbau s. Bild 9).

Stellen Sie den y-Ablenkfaktor nun so ein, dass in der Betriebsart **DC** eine Signalperiode vollständig auf dem Bildschirm dargestellt wird, wobei die Nulllinie wieder in der Bildschirmmitte liegen sollte. Zeichnen Sie das Signal maßstäblich vom Bildschirm ab (Achsen beschriften!). Anschließend betreiben Sie das Oszilloskop in der Betriebsart **AC** und skizzieren das sich ergebende Schirmbild in das **gleiche** Diagramm!

**Bestimmen Sie aus der AC/DC-Umschaltung den Gleichwert des Signals!**

Messen Sie dann noch mit dem Digitalmultimeter den Effektivwert der Mischspannung in der Betriebsart **AC+DC**. Diese ist durch Betätigung der SEL/ON-Taste zu aktivieren (achten Sie auf die Anzeige im Display!).

Auswertung:

- Bestätigen Sie an Hand der Messergebnisse die Gültigkeit der Beziehung für den Effektivwert eines Mischsignals

$$U = \sqrt{U_{-}^2 + U_{\sim}^2}$$

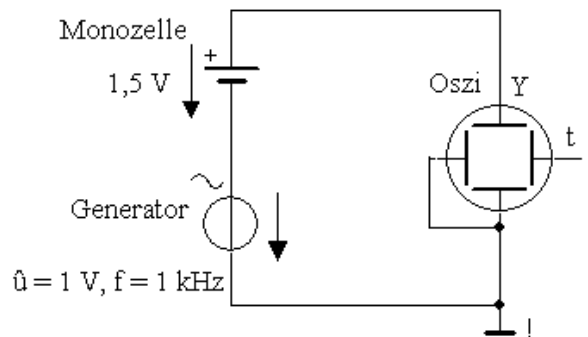


Bild 9 Erzeugung und Messung einer Mischspannung

**3.3 2-Kanalbetrieb: Messung des Spannungsübertragungsfaktors eines Übertragungssystems nach Betrag und Phase**

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 10 auf.

Bei dem Übertragungssystem handelt es sich dabei um ein sogenanntes **lineares** Übertragungssystem. Es zeichnet sich dadurch aus, dass ein harmonisches Eingangssignal zu einem wiederum harmonischen Ausgangssignal führt. Als Spannungsübertragungsfaktor ist nun das Verhältnis von Ausgangsspannung  $u_{II}$  zur Eingangsspannung  $u_I$  bei Ansteuerung mit Sinusspannung definiert. Diese Größe besitzt zwei Komponenten: einmal das Amplitudenverhältnis  $k_u$  und zum anderen die Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung.

Theoretisch ermittelt sich in diesem Fall das Amplitudenverhältnis zu  $k_u = \frac{\hat{u}_{II}}{\hat{u}_I} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$  und die Phasenverschiebung

zu  $\varphi = \varphi_{II} - \varphi_I = -\arctan(\omega RC)$  mit  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ . Wie den Formeln zu entnehmen ist, sind beide Kennwerte frequenzabhängig!

In diesem Experiment bestimmen Sie die Kennwerte für eine Frequenz  $f = 1060$  Hz.

Hinweis:

Für die Zeichnung ist es sinnvoll, auf dem Millimeterpapier den gleichen Maßstab wie am Oszi selbst zu verwenden, d.h. 1 cm/1 DIV. Übertragen Sie dann die Schnittpunkte des Elektronenstrahls mit den Rasterlinien!

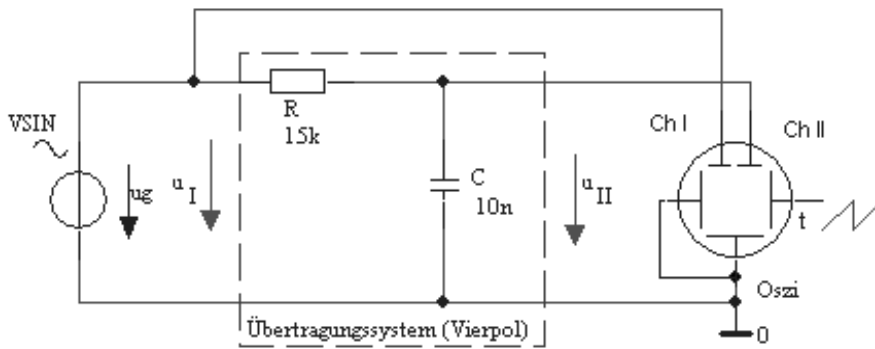


Bild 10 Messung des Spannungsübertragungsfaktors

Stellen Sie die Zeitfunktionen **beider** Spannungen gleichzeitig auf dem Bildschirm dar und wählen Sie die **Zeitablenkung** so, dass exakt eine Signalperiode dargestellt wird (ggf. Feineinstellung der Zeitablenkung betätigen)! Triggern Sie das Oszilloskop auf den Nulldurchgang des Signals von Channel I und stellen Sie beide Kanäle auf gleiche Ablenkempfindlichkeit, so dass die Messgenauigkeit maximal ist.

Sorgen Sie bei gleichen Vertikalablenkfaktoren 1 V/DIV in beiden Messkanälen durch Einstellen der Generatorspannung dafür, dass die Amplitude des Generatorsignals gerade  $\hat{u}_G = 4 \text{ V}$  ist! Das Bildschirmbild sollte nun in etwa wie Bild 3 aussehen! Übertragen Sie das Diagramm auf Millimeterpapier. Skalieren Sie die Abszisse in Grad ( $\alpha = \omega t$ )! Behalten Sie den Messaufbau bei!

Auswertung:

- Ermitteln Sie die Phasenverschiebung  $\varphi = \varphi_{II} - \varphi_I = \varphi_C - \varphi_R$  **vorzeichenbehaftet**.
- Ermitteln Sie das Amplitudenverhältnis  $k_u$ .
- Vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Theorie!

### 3.4 X,Y-Betrieb

- **Ausmessen der Phasenellipse (LISSAJOUS-Figur)**

Überprüfen Sie die Ergebnisse Ihrer Phasenmessung von 3.3. durch Ausmessen der LISSAJOUS-Figur. Zur Darstellung der dabei entstehenden "Phasenellipse" ist die Taste **DUAL** lange zu betätigen! Mit ihr wird das Oszilloskop in den X,Y-Betrieb geschaltet. Beachten Sie, dass in diesem Fall das Signal an Kanal I in y-Richtung und das Signal an Kanal II in x-Richtung dargestellt wird! Erden Sie zunächst beide Eingänge und justieren den so entstehenden Leuchtpunkt (Helligkeit minimieren!) auf die Bildschirmmitte. Nach Aufheben der Erdverbindungen sollte auf dem Bildschirm die Phasenellipse erscheinen, ggf. Ablenkfaktoren oder die Amplitude der Wechselspannung korrigieren, so dass die Ellipse möglichst das ganze **Raster ausfüllt**.

Übertragen Sie das Oszillogramm für  $f = 1060 \text{ Hz}$  auf Millimeterpapier (ca. 7...9 Punkte, dort wo sich Figur und Raster kreuzen, insbesondere natürlich die Schnittpunkte mit den Achsen!) und ermitteln Sie den Phasenwinkel! Zeichnen Sie dazu  $a$  und  $A$  gemäß Bild 4 in das Bild ein!

Auswertung:

- Vergleichen Sie die durch die beiden Methoden erhaltenen Ergebnisse!
- **Darstellung der U,I-Kennlinie einer Diode**

Bauen Sie nun noch die Schaltung nach Bild 5 auf. Als Diode verwenden Sie diesmal die am Platz vorhandene Leuchtdiode (LED). Die Sinusspannung zur Ansteuerung entnehmen Sie dem Wechselspannungsnetzteil (Stelltransformator) in der Konsole des Messplatzes.

**Wichtig!!!**

**Bevor Sie die Diode einbauen, stellen Sie sicher, dass die Amplitude der Sinusspannung nicht größer als 5 V ist, ansonsten besteht die Gefahr der Zerstörung der LED!**

Der Messwiderstand soll 1 k $\Omega$  betragen. Wählen Sie die Ablenkfaktoren in x-Richtung zu 0,5 V/DIV und in y-Richtung zu 1 V/DIV. Übertragen Sie maßstäblich das Schirmbild auf Millimeterpapier!

Auswertung:

- Skalieren Sie die y-Achse in Stromeinheiten!
- Geben Sie die Schleusenspannung der LED an!