



~~X~~/WS 20.11../12..

Praktikum: (P1/~~X~~) (~~X~~o/Di/~~X~~/1/~~X~~) Gruppe-Nr: ..11..

Name: ..... Fleig ..... Vorname: ..... Georg .....

Name: ..... Krause ..... Vorname: ..... Marcel .....

Versuch: ..... Oszilloskop ..... (~~X~~t/ohne) Fehlerrechnung

Betreuer: ..... Markus Feifel ..... Durchgeführt am: 20.12.11.

Abgabe am: .....

Rückgabe am: .....

Begründung:

2. Abgabe am: .....

Ergebnis: ( + / 0 / - )

Fehlerrechnung: ja / nein

Datum: .....

Handzeichen: .....

Bemerkungen:



## Versuche P1-32, 33, 34: Das Oszilloskop als Messinstrument

Raum F1-15

Wesentlicher Inhalt des Versuchs ist das Kennenlernen des universellen Messinstruments „*Oszilloskop*“ und seiner vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten. Ein Oszilloskop ermöglicht es, elektrische Größen zeitabhängig zu untersuchen. Dies erfolgt in einer zweidimensionalen Darstellung der Messgröße als Funktion der Zeit. Die Zeitbasis wird dabei durch eine zeitlineare Sägezahnspannung realisiert. Wird diese Zeitbasis durch eine andere variable Spannung gebildet (X-Y-Betrieb), so kann man auch  $U_Y = f(U_X)$  darstellen.

Das klassische Oszilloskop, *Analogoszilloskop*, besteht im Wesentlichen aus einer Elektronenstrahlröhre als Anzeigeelement, Verstärkern für die Eingangssignale, einer Zeitablenkung und einer Triggereinheit. Die analog verstärkte Eingangsspannung und die zeitlineare Sägezahnspannung steuern die Elektronenstrahlröhre (siehe Blockschaltbild). Analoge Oszilloskope werden mehr und mehr von Digitaloszilloskopen verdrängt.

Mit der Entwicklung von Analog/Digital-Wandlern (converter: ADC) können analoge Signale in digitale gewandelt werden. Wird ein analoges Signal vielfach – in festen Zeitschritten – abgetastet und digitalisiert, so erhält man ein digitales Abbild des analogen Signals (siehe Blockschaltbild).

Beim *Combiscope* wird das im Speicher abgelegte digitale Abbild wieder ausgelesen, in ein analoges Signal zurück gewandelt und zur Ansteuerung der Kathodenstrahlröhre eingesetzt. Die Speicherung des digitalen Abbilds gibt dem *Combiscope* einige interessante Vorteile. Da das Einschreiben und Auslesen des Speichers nicht synchron erfolgt, ist es möglich, langsame Signale, die sonst nur als laufende Leuchtpunkte zu betrachten sind, als geschlossene Signalform darzustellen. Außerdem kann das digitalisierte Signal noch ausgewertet werden, auch wenn die Quelle nicht mehr anliegt (Einzelereignis oder Single). Ein typischer Vertreter dieser Kategorie ist das HAMEG HM507, das bei diesem Experiment zu Einsatz kommt.

Die ständige Weiterentwicklung der A/D-Wandler führt zu immer höheren **Abtastraten**, Raten von 1 GS/s (S/s = Samples pro Sekunde = Abtastungen pro Sekunde) und mehr sind heute möglich, so dass reine *Digitaloszilloskope* für den Anwender interessant geworden sind. Die Kathodenstrahlröhre samt HV-Baugruppe wird durch eine preiswerte LCD-Anzeige ersetzt. Dadurch sind sehr kompakte und leichte Geräte herzustellen. Zudem stellen die immer schnelleren Prozessoren und geeignete Software einen nutzbaren Mehrwert dar, insbesondere für exotische **Triggerbedingungen** oder mathematische Weiterverarbeitung der „gesampten“ Signalformen. Inzwischen ist die **Bandbreite**, also die maximal auflösbare Signalfrequenz, weit in den Gigahertz Bereich vorgedrungen. Durch immer schnellere Speicherbausteine ist auch die **Erfassungsrate** nahe an die der Analogtechnik herangekommen. Letztlich ermöglichen es die gesunkenen Preise, dass man sogar im Anfängerpraktikum hier und da ein Digitaloszilloskop finden kann ☺.

**Allgemeiner Hinweis:** Ein heller ruhender Leuchtpunkt am Schirm des Oszilloskops ist zu vermeiden, da sonst nach kurzer Zeit an dieser Stelle der Schirm einbrennt, d.h. die Leuchtschicht dauerhaft zerstört wird.

Nach dem Einschalten des Oszilloskops oder bei total verstellten Einstellparametern können Sie durch Drücken der „*Autoset*“- Taste wieder zu einem brauchbaren Satz von Parameterwerten gelangen.

### Aufgaben:

#### 1. Kennenlernen der Bedienelemente:

Machen Sie sich zunächst mit den wichtigsten Einstellschaltern auf der Frontplatte des Gerätes und der Menüsteuerung vertraut.

- Eingangsempfindlichkeit (Volt/Division) des Verstärkers,
- Signaleinkopplung (AC, DC, GND)
- Zeitablenkung (Time/Division)
- Triggerkopplung, Triggerlevel, Slope (positive oder negative Flanke)

**Stellen Sie auf einem der beiden Eingangskanäle ein stehendes Bild eines Sinussignals dar.** Verwenden Sie die im Menü zur Verfügung stehenden Werkzeuge zur Messung Anstiegszeit, Frequenz und Amplitude. Beobachten Sie ein 10 Hz Signal im Analog- und Digitalbetrieb des Oszilloskops.

*Hinweis:* Die Taste *hold* schaltet bei „Langtastung“ zwischen Analog- und Digitalbetrieb um.

Messwerkzeuge können durch Drücken der Tasten *Select Cursor* und *Measure* angewählt werden.

## 2. Messungen im Zweikanalbetrieb:

**Stellen Sie jeweils zwei Signale über derselben Zeitachse dar.** Erproben und diskutieren Sie dabei die Bedeutung von CHOP, DUAL, ADD und TRIG-I/II.

**2.1** Eingangssignal (Sinus) und Ausgangssignal eines **Si-Dioden-Einweggleichrichters** mit  $1\text{k}\Omega$  Lastwiderstand und mit / ohne Ladekondensator. Untersuchen Sie die Wirkung des Gleichrichters bei verschiedenen Eingangsspannungen ( $V_{SS}$  etwa  $0,5\text{V}$ ;  $1\text{V}$ ;  $8\text{V}$ ).

**2.2** Eingangssignal (Dreieck, Periodendauer  $T$ ) und Ausgangssignal eines **RC-Differenziergliedes** ( $T \ll RC$ ,  $T \approx RC$ ,  $T \gg RC$ ).

**2.3** Eingangssignal (Rechteck, Periodendauer  $T$ ) und Ausgangssignal eines **RC-Integriergliedes** ( $T \ll RC$ ,  $T \approx RC$ ,  $T \gg RC$ ).

**2.4** Eingangssignal (Sinus an der Reihenschaltung von  $R = 1\text{k}\Omega$  und  $C = 0,47\mu\text{F}$ ) und Ausgangssignal (an  $R$ ) eines **RC-Phasenschiebers**. Stellen Sie die Frequenz so ein, dass  $u_{a0} = u_{e0}/2$  gilt. Berechnen Sie die einzustellende Frequenz sowie Vorzeichen und Betrag der erwarteten Phasenverschiebung schon während der Vorbereitung und vergleichen Sie mit den Messwerten.

## 2.5 Stellen Sie eine frequenzmodulierte Schwingung dar:

$$u(t) = u_0 \sin\phi(t) = u_0 \sin(\Omega_0 \cdot t + (\Delta\omega/\omega) \cdot \sin\omega t + \phi_0).$$

( $u_0$  ist die Amplitude der Trägerwelle,  $\Omega_0$  die Kreisfrequenz der Trägerwelle,  $\omega$  die Modulationskreisfrequenz und  $\Delta\omega/2\pi$  der Frequenzhub).

*Hinweis:* Legen Sie dazu  $50\text{mV}_{SS}$ - $50\text{Hz}$ -Sinusspannung aus dem Generator 2 an die Buchse  $VC_{in}$  von Generator 1, der auf etwa  $1,5\text{kHz}$  eingestellt sein soll. Stellen Sie zunächst ein Übersichtsbild mit einigen Modulationsperioden und dann nur Momentanperioden des Trägers dar (AUTO-Triggerung, die nahe beim Nulldurchgang auslöst). Bestimmen Sie den Frequenzhub  $\Delta\omega$ . Momentankreisfrequenz =  $\Omega(t) = d\phi/dt = \Omega_0 + \Delta\omega \cos\omega t$ .

**2.6 Addieren** Sie mit Hilfe der ADD-Möglichkeit des Oszilloskops - und **subtrahieren** Sie in wenigstens einem der Fälle mittels zusätzlich INVERT - zwei Signale mit verschiedener / gleicher Amplitude und verschiedener / fast gleicher / gleicher Frequenz aus unabhängigen Generatoren.

*Hinweis:* Fast gleiche Frequenz führt zu Schwebungen. Gleiche Frequenz wird erreicht mit Hilfe der Möglichkeit, den einen Generator (Generator 2) durch ein Ausgangssignal des anderen Generators (Generator 1) zu synchronisieren.

## 3 X-Y-Darstellungen

Der Zeitbasisgenerator wird bei 3.1 und 3.2 durch eines der zwei Eingangssignale ersetzt.

**3.1** Stellen Sie **Lissajous-Figuren** mit Signalen wie bei Aufgabe 2.6 dar.

Hinweis: Die Phasenverschiebung kann sowohl bei Y-t-Darstellung aus der Zeitdifferenz (siehe Aufgabe 2.4) als auch bei X-Y-Darstellung aus charakteristischen Ellipsenwerten (siehe dazu 'Czech: Oszillographenmeßtechnik') ermittelt werden.

**3.2** Stellen Sie **Kennlinien** (Strom über Spannung) nach Schaltskizze 1 dar,  
für eine **Z-Diode** (Zener-Diode),  
für einen **Kondensator**

Verifizieren Sie die Kennlinie mit der Option Komponententester

## 4 Speichern Sie einen Einmalvorgang:

Speichern Sie den Spannungsverlauf beim Entladen eines  $0,47\mu\text{F}$ -Kondensators

**4.1** über den Eingangswiderstand des Oszilloskops (DC-Eingang! Warum?) und

**4.2** über den Eingangswiderstand des 10:1-Tastkopfes am Oszilloskop.

Bestimmen Sie mit Hilfe des bekannten Kapazitätswert und den Speicherbildern die **Eingangswiderstände von Oszilloskop und Tastkopf**, und vergleichen Sie diese mit den Herstellerangaben.

# **Physikalisches Anfängerpraktikum P1**

**Versuch:**

**P1-32,33,34**

**Das Oszilloskop als Messinstrument**

Schriftliche Ausarbeitung von Georg Fleig

Gruppe: Di-11

Datum der Versuchsdurchführung:

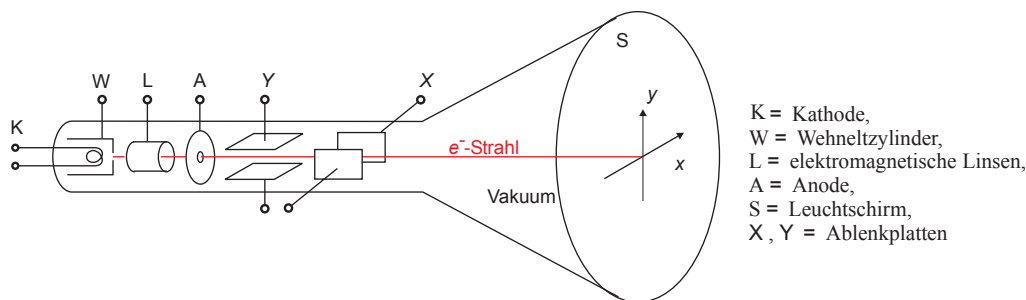
20.12.2011

# Einführung

Das Oszilloskop ist ein Instrument zur Messung von Spannungen und Spannungsverläufen. Werden Signale wie Temperaturänderung, Lichtintensität o.ä. in eine Spannung umgewandelt, so wird das Oszilloskop zum universellen Messinstrument. Im Gegensatz zu normalen Multimetern kann man mit einem Oszilloskop auch Spannungen messen, die keine Sinusform besitzen, z.B. Rechteck- oder Dreieckspannung. Dabei wird zwischen digitalen und analogen Oszilloskopen unterschieden.

## Analoges Oszilloskop

Bei einem analogen Oszilloskop werden in einer Kathodenstrahlröhre Elektronen durch eine erhitzte Glühkathode emittiert und der entstehende Strahl durch Ablenkplatten auf einen Schirm projiziert. Dabei werden die Elektronen zunächst durch die an der Anode positive anliegende Spannung beschleunigt und durchlaufen dann ein System von Ablenkplatten. Hier ist eine parallel zur x-Achse und eine parallel zur y-Achse angeordnet. Am Ende treffen die Elektronen auf die Fluoreszenzschicht eines Schirmes und werden dort sichtbar gemacht.

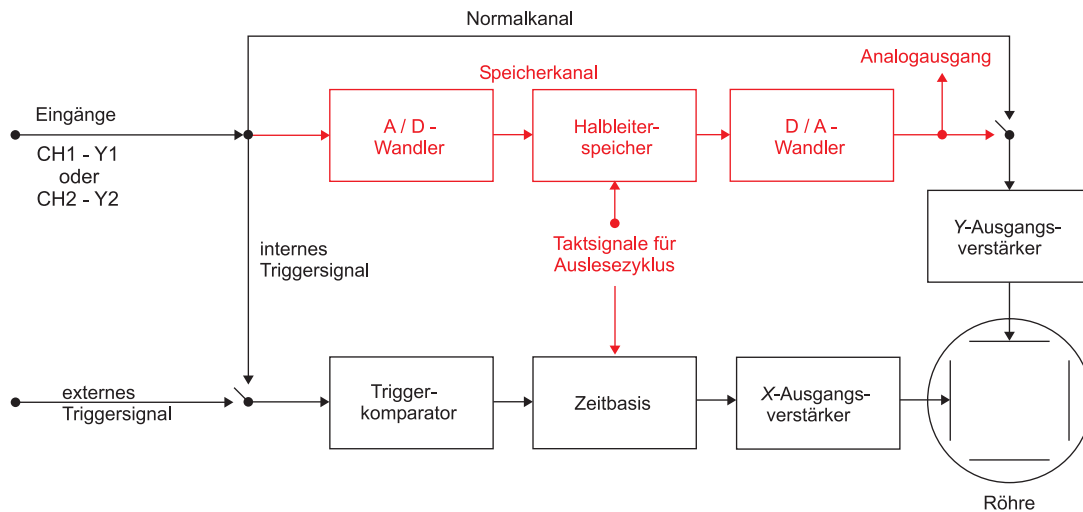


In der Regel liegt an der y-Ablenkplatte das zu messende Eingangssignal an. Je stärker dort die Spannung ist, desto weiter wird der Strahl nach oben oder unten abgelenkt. Zur Skalierung der Auslenkung befindet sich noch ein Verstärker zwischen Eingang und der Ablenkplatte. Um einen zeitlichen Spannungsverlauf sichtbar zu machen, wird zudem an der x-Ablenkplatte eine zeitlineare Sägezahnspannung angelegt. Diese sorgt dafür, dass der Elektronenstrahl zusätzlich in die x-Richtung abgelenkt wird. Es entsteht also ein 2D Bild, bei dem die x-Achse die Zeit angibt und die y-Achse die zugehörige Messspannung am Eingang. Ein Triggerelement sorgt dafür, dass man auf dem Schirm ein stehendes Bild zu sehen bekommt. Man kann außerdem eine zweite Messspannung anstatt der Sägezahnspannung an die x-Ablenkplatte anlegen und kann so Spannungen übereinander auftragen. Dies nennt man dann X-Y-Betrieb des Oszilloskops.

## Digitales Oszilloskop

Beim digitalen Oszilloskop werden Analog/Digital-Wandler verwendet um analoge Signale in digitale umzuwandeln. Dabei wird das analoge Signal mehrfach abgetastet und digitalisiert um ein Abbild zu erhalten.

In diesem Versuch werden wir ein sogenanntes Combiscope verwenden. Dieses legt das digitale Abbild in einem Speicher ab. Von dort aus kann es wieder abgerufen und in ein analoges Signal zur Darstellung mit einer Kathodenstrahlröhre (wie beim analogen Oszilloskop) verwendet werden. Im Folgenden ist das Blockschaltbild eines solchen Oszilloskops dargestellt:



Der Vorteil dieses Speicheroszilloskops liegt darin, dass es aufgrund des Speicher- und Auslesevorgangs zu einer Verzögerung zwischen dem Eingangssignal und der Darstellung auf dem Schirm kommt. So können beispielsweise auch langsame Signale als geschlossene Signalform dargestellt werden. Beim analogen Oszilloskop wären hier nur laufende Leuchtpunkte zu sehen. Ein weiterer Vorteil der Speicherung des Signals ist, dass auch nach Trennen des Eingangssignals ein Bild zu sehen ist, welches ausgewertet werden kann.

Für die nachfolgenden Versuche verwenden wir ein Combiscope mit der Bezeichnung HAMEG HM507.

## Aufgabe 1: Kennenlernen der Bedienelemente

Zunächst sollen wir uns mit dem Gerät vertraut machen und dabei die verschiedenen Bedienelemente und Schalter des Oszilloskops betrachten.

### 1.) Eingangsempfindlichkeit des Verstärkers

Das Eingangssignal wird nicht direkt auf die Ablenkplatten übertragen, sondern zunächst durch einen Verstärker skaliert. Um Vernünftige Bilder auf dem Schirm zu erhalten, kann also mit dem Drehschalter "Volt/Division" das Eingangssignal verstärkt bzw. abgeschwächt werden.

### 2.) Signaleinkopplung

Hier gibt es drei verschiedene Einstellmöglichkeiten *AC*, *DC* und *GND*. Diese Einstellung legt fest, was für eine Art von Eingangssignal untersucht werden soll. *AC* und *DC* stehen dabei für Wechsel- bzw. Gleichstrom. Die Einstellung *GND* erdet das Signal, es wird daher unterdrückt.

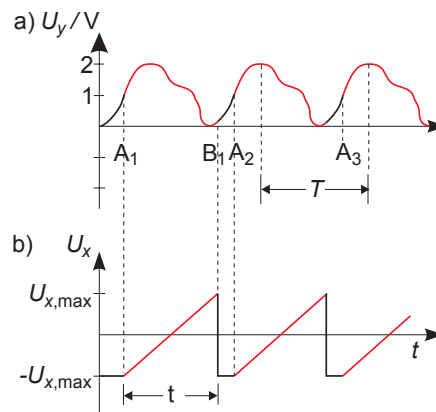
### 3.) Zeitablenkung

An dem Drehschalter "Time/Division" kann die Periodendauer der Sägezahnspannung eingestellt werden. Diese ist, wie bereits oben angesprochen, verantwortlich für die zeitliche Darstellung des Signals auf dem Schirm. Es wird also die Zeit eingestellt, die das Signal braucht um von linken bis zum rechten Schirmrand zu laufen.

### 4.) Triggerung, Slope

Um bei einer anliegenden Wechselspannung ein stehendes Bild zu erhalten, wird die Triggerung

benötigt. Dabei wird eine Triggerschwelle (Trigger Level) festgelegt, bei welcher die Sägezahnspannung zur x-Ablenkung einsetzt, also eine neue Periode beginnen soll. Im untenstehenden Graphen liegt diese z.B. bei  $U_T = 1 \text{ V}$ .



Mit "Slope" lässt sich einstellen, ob der Trigger bei positivem (pos. slope) oder bei negativem (neg. slope) Anstieg der Messspannung auslöst.

## Stehendes Bild eines Sinussignals

Es soll sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz von  $f = 10 \text{ Hz}$  am Oszilloskop sowohl im Digital- als auch im Analogbetrieb beobachtet werden. Dabei sollen Anstiegszeit, Frequenz und Amplitude über die Werkzeuge des Oszilloskops bestimmt werden. Durch Triggern wird zunächst ein stehendes Bild erzeugt, der Ausschnitt des Kurvenverlaufs kann anschließend über die Anpassung der Anstiegszeit der Sägezahnspannung gewählt werden. Legt man diese Zeit genau auf die Periodendauer der Sinuswechselspannung, so ist auf dem Schirm eine volle Periode zu sehen. Um zwischen Digital- und Analogbetrieb zu wechseln, wird die Taste *hold* verwendet.

## Aufgabe 2: Messungen im Zweikanalbetrieb

Beim Oszilloskop lassen sich über die beiden Eingänge *CH1* und *CH2* auch zwei Signale auf der y-Achse gegen die Zeit auftragen. So können Eingangsspannungen verglichen werden um beispielsweise Amplitudendifferenzen oder Phasenverschiebungen zu bestimmen. Im Zweikanalbetrieb sind verschiedene Einstellungen möglich:

### 1.) DUAL

Hier wird nach einem horizontalen Durchlauf eines Eingangssignals auf das andere Signal gewechselt. So werden die Signale immer abwechselnd abgebildet, das passiert jedoch so schnell, dass für das Auge beide Signale gleichzeitig sichtbar sind.

### 2.) CHOP

Es werden beide Eingangskanäle gleichzeitig auf dem Schirm abgebildet. Dabei wechselt die Kathodenstrahlröhre mit hoher Frequenz zwischen den beiden Signalen ab und kann so beide bei einem Durchlauf zeichnen.

### 3.) ADD

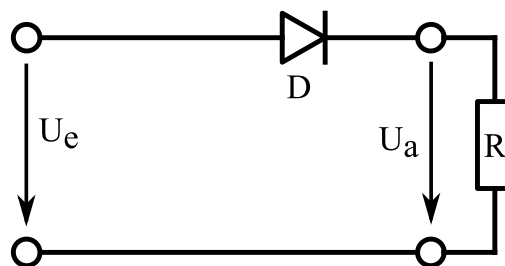
Beide Eingänge werden addiert und als neues Eingangssignal auf dem Schirm dargestellt.

### 4.) TRIG-I/II

Mit diesem Schalter kann man den Kanal festlegen, welcher zum Triggern verwendet wird. So wird zwischen den beiden Kanälen  $CH1$  und  $CH2$  gewechselt.

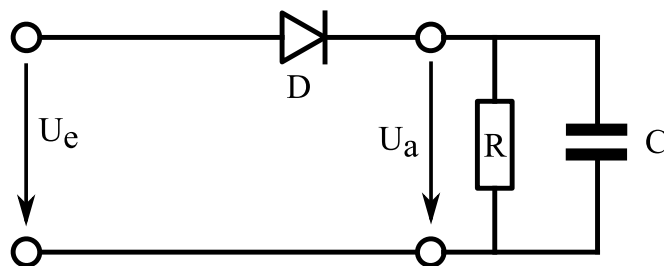
## Aufgabe 2.1 - Si-Dioden-Einweggleichrichter

Als Eingangssignal  $U_e$  wird eine sinusförmige Wechselspannung ( $V_{SS} \approx 0,5\text{ V}; 1\text{ V}; 8\text{ V}$ ) an einen Si-Dioden-Einweggleichrichter angelegt. Über das Oszilloskop soll die Spannung  $U_a$  beobachtet werden, die am Widerstand  $R = 1\text{ k}\Omega$  abfällt. Dieser Aufbau ist ohne Ladekondensator in folgender Schaltskizze dargestellt:



Si-Dioden lassen erst Strom in Durchflussrichtung fließen, wenn eine bestimmte Spannungsschwelle erreicht wird. Daher ist zu erwarten, dass bei niedrigen Spannungen kein Signal an  $U_a$  anliegt. Wird diese Schwelle überschritten, können wir am Oszilloskop Teile der anliegenden Sinusspannung beobachten. Dabei fehlen immer entweder die positiven oder die negativen Bereiche.

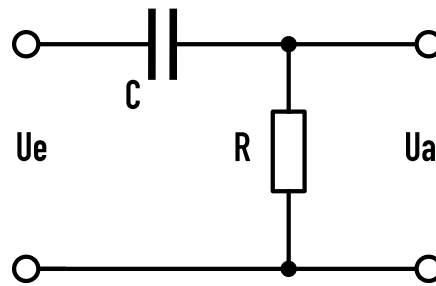
Durch einen Ladekondensator, der parallel zum Widerstand geschaltet wird, wird das Ausgangssignal geglättet. Die Schaltung sieht dann wie folgt aus:



## Aufgabe 2.2 - RC-Differenzierer

Bei diesem Versuch verwenden wir einen R-C-Spannungsteiler, der hier als Hochpass angeschlossen wird. Ein Hochpass hat die besondere Eigenschaft, dass er hochfrequenten Wechselstrom fast ungehindert passieren lässt, jedoch Ströme mit niedriger Frequenz herausfiltert. Realisiert wird das durch einen Vierpol gemäß der Schaltskizze.





Bei niedrigen Frequenzen ist der Widerstand des Kondensators  $C$  sehr hoch und die Spannung fällt so an ihm ab. Bei höheren Frequenzen sinkt dieser Widerstand des Kondensators und die Spannung fällt fast ausschließlich am Widerstand  $R$  ab.

Als Eingangsspannung  $U_e$  wählen wir ein Dreieckssignal mit der Periodendauer  $T$ . Je nach Periodendauer hat der Hochpass nun die Eigenschaft, dass er das anliegende Dreieckssignal “differenziert“ und das Ergebnis an  $U_a$  als Rechteckspannung gemessen werden kann.

Dazu zunächst die theoretische Herleitung:

Die Gesamtimpedanz  $Z$  setzt sich zusammen aus der Impedanz  $Z_R$  des Widerstandes und der des Kondensators  $Z_C$ . So ergibt sich:

$$Z = Z_R + Z_C = R + \frac{1}{i\omega C} = R + \frac{T}{i2\pi C} = R - i \frac{T}{2\pi C}$$

$$|Z| = R \sqrt{1 + \frac{T^2}{4\pi^2 C^2 R^2}}$$

Hier wurde der Zusammenhang

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

genutzt.

Nun müssen drei Fälle untersucht werden:

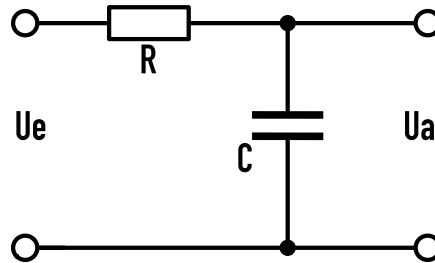
- $\frac{T}{2\pi} \ll RC$ : Bei kleinen Periodendauern  $T$  kann der Kondensator sich nicht schnell genug aufladen, er hat daher kaum einen Einfluss auf das Ausgangssignal an  $U_a$ . Aus der Gleichung für  $|Z|$  kann man leicht erkennen, dass die Gesamtimpedanz fast ausschließlich vom Widerstand  $R$  abhängig ist. An  $U_a$  erwarten wir deswegen ein Dreieckssignal, das evtl. leichte Dämpfung erfahren hat.
- $\frac{T}{2\pi} \approx RC$ : Nun ist die Frequenz des anliegenden Wechselstroms geringer als vorher, daher wird sich auch der Kondensator ein wenig auf- und entladen können. Wir erwarten als Ausgangssignal einen leicht gedämpften Dreieckverlauf mit Phasenverschiebung. Zudem müsste die Lade- und Entladekurve des Kondensators zu sehen sein.
- $\frac{T}{2\pi} \gg RC$ : Nun ist die Impedanz des Kondensators viel größer als die des Widerstandes, so fällt fast die gesamte Spannung am Kondensator ab, daher kann man  $U_e \approx U_c$  annehmen. Man erhält also:

$$U_a = R \cdot I = R \frac{dQ}{dt} = RC \frac{dU_c}{dt} \approx RC \frac{dU_e}{dt}$$

Die Ausgangsspannung  $U_a$  entspricht also der Ableitung der Eingangsspannung  $U_e$ . Für geringe Frequenzen erwarten wir daher an  $U_a$  eine Rechteckspannung.

### Aufgabe 2.3 - RC-Integrierer

Durch Vertauschen der Positionen von  $C$  und  $R$  in der Schaltung des Hochpasses erhält man einen Tiefpass. Dieser filtert im Gegensatz zum Hochpass die die Ströme hoher Frequenzen und lässt nur die mit niedrigen Frequenzen passieren. Ein solcher Tiefpass ist in folgender Schaltung dargestellt:



Die Ausgangsspannung  $U_a$  wird nun am Kondensator abgegriffen. Für den Betrag  $|Z|$  der Impedanz gilt dasselbe wie beim Hochpass:

$$|Z| = R \sqrt{1 + \frac{T^2}{4\pi^2 C^2 R^2}}$$

Auch hier gilt es wieder drei Fälle zu unterscheiden:

- $\frac{T}{2\pi} \ll RC$ : Der Kondensator hat quasi keinen Einfluss auf den Spannungsverlauf, da die Frequenz des Wechselstromes das Aufladen verhindert. So lässt sich  $U_e \approx U_R$  annehmen.  $U_a$  ergibt sich zu:

$$U_a = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int I dt = \frac{1}{RC} \int U_R dt \approx \frac{1}{RC} \int U_e dt$$

Man erkennt direkt, dass die Form des Ausgangssignals das integrierte Eingangssignal ist. Bei anliegender Rechteckspannung erwarten wir daher an  $U_a$  eine Dreieckspannung.

- $\frac{T}{2\pi} \approx RC$ : Analog zum Differenzierer: Wir erwarten als Ausgangssignal einen leicht gedämpften Rechteckverlauf mit Phasenverschiebung. Zudem müsste auch hier wieder die Lade- und Entladekurve des Kondensators zu sehen sein.
- $\frac{T}{2\pi} \gg RC$ : Bei sehr niedrigen Frequenzen kann der Kondensator sich auf- und entladen, die Spannung fällt also fast ausschließlich an ihm ab. Wir erwarten daher ein evtl. schwach gedämpftes Rechtecksignal am Ausgang  $U_a$ . Wegen des Kondensators ist es außerdem möglich, dass dieses mit einer Verzögerung gegenüber dem Eingangssignal ankommt.

### Aufgabe 2.4 - RC-Phasenschieber

Es wird ein Sinussignal an einen Hochpass mit  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und  $C = 0,47 \mu\text{F}$  angeschlossen. Die Frequenz soll dabei so gewählt werden, dass  $U_{a0} = \frac{U_{e0}}{2}$  gilt. Es gelten die folgenden Beziehungen:

$$U_{e0} = Z I_0$$

$$U_{a0} = R I_0 = R \frac{U_{e0}}{Z}$$

Mit der Gesamtimpedanz (bereits in Aufgabe 2.2 hergeleitet)

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

ergibt sich  $U_{a0}$  zu

$$U_{a0} = \frac{U_{e0}R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

Nun gilt es die Bedingung  $U_{a0} = \frac{U_{e0}}{2}$  zu erfüllen. Durch Einsetzen kann man die gesuchte Frequenz  $f$  bestimmen:

$$\begin{aligned} \frac{U_{e0}}{2} &= \frac{U_{e0}R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \\ \Leftrightarrow \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} &= 2R \\ \Leftrightarrow R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} &= 4R^2 \\ \Leftrightarrow \omega &= \frac{1}{\sqrt{3}RC} \\ \Leftrightarrow f &= \frac{1}{2\pi RC\sqrt{3}} \approx 195,5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Nun soll außerdem noch die Phasenverschiebung  $\varphi$  berechnet werden. Diese erhält man durch Rechnung mit der Gesamtimpedanz  $Z$ .

$$\begin{aligned} \tan(\varphi) &= \frac{\text{Im}(Z)}{\text{Re}(Z)} \\ \Rightarrow \varphi &= \arctan\left(-\frac{1}{\omega CR}\right) = -\arctan\sqrt{3} = -\frac{\pi}{3} = -60^\circ \end{aligned}$$

Wir erwarten eine Phasenverschiebung von  $\varphi = -60^\circ$  und sollen diese mit der gemessenen Verschiebung aus dem Versuch vergleichen.

## Aufgabe 2.5 - frequenzmodulierte Schwingung

Es soll eine frequenzmodulierte Schwingung mit folgender Spannung auf dem Oszilloskop dargestellt werden:

$$U(t) = U_0 \sin \varphi(t) = U_0 \sin\left(\Omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\omega} \sin \omega t + \varphi_0\right)$$

Hier bezeichnet  $U_0$  die Amplitude der Trägerwelle,  $\Omega_0$  die Kreisfrequenz der Trägerwelle und  $\omega$  die Modulationskreisfrequenz.

Es wird eine Sinusspannung von  $50 \text{ mV}_{\text{SS}}/50 \text{ Hz}$  vom Ausgang des Generator 2 an den Eingang  $VC_{in}$  des 1. Generators eingespeist. Der Generator 1 wird mit einer Frequenz von  $f \approx 1,5 \text{ kHz}$  betrieben. Gesucht ist nun der Frequenzhub  $\Delta\omega$  sowie die Momentankreisfrequenz  $\Omega(t)$

$$\Omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} = \Omega_0 + \Delta\omega \cos \omega t$$

## Aufgabe 2.6 - Addieren und Subtrahieren

Bei dieser Teilaufgabe sollen mit dem Oszilloskop zwei Eingangsspannungen addiert bzw. subtrahiert werden. Dies soll bei verschiedener sowie gleicher Amplitude und bei verschiedener, fast gleicher und gleicher Frequenz erfolgen. Dabei erwarten wir nach dem Aufgabenblatt, dass es bei fast gleicher Frequenz zu Schwebungen kommt und bei gleichen Frequenzen, die durch Synchronisation der beiden Generatoren erzeugt werden, zur Addition/Subtraktion der Amplituden.

# Aufgabe 3: X-Y-Darstellung

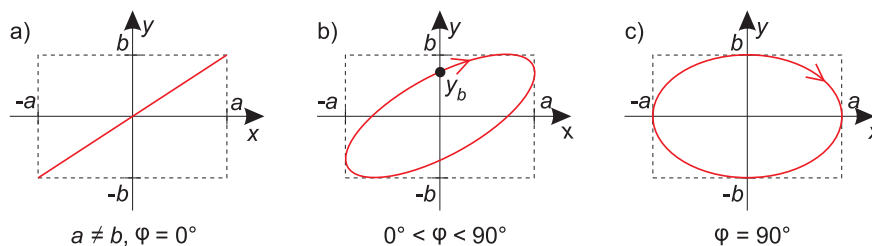
Wie bereits in der Einführung zum Oszilloskop angesprochen, lassen sich im X-Y-Betrieb zwei Eingangskanäle gegeneinander auftragen. Damit entfällt die zeitliche Darstellung, allerdings lassen sich so andere Beobachtungen und Messungen durchführen.

## Aufgabe 3.1 - Lissajous-Figuren

Mit den sogenannten Lissajous-Figuren lässt sich beispielsweise die Phasendifferenz zweier Eingangssignale im X-Y-Betrieb bestimmen. Auf dem Schirm des Oszilloskops sind verschiedene Bilder zu sehen, die sich direkt aus der Phasenverschiebung ergeben. Da die Kanäle gegeneinander aufgetragen werden, werden wir z.B. bei einer Phasenverschiebung von  $\varphi = 0$  eine Gerade sehen. Die angelegten Spannungen haben die Form

$$x = a \sin(2\pi ft) \quad y = b \sin(2\pi ft + \varphi)$$

Hier sind einige Lissajous-Figuren mit den zugehörigen Phasenverschiebungen dargestellt:

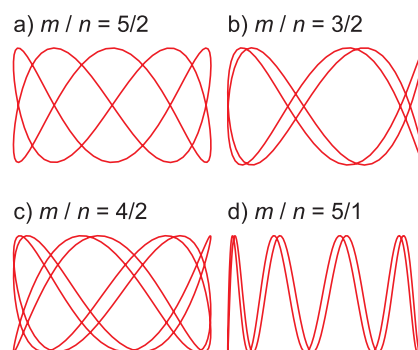


Die Phasenverschiebung kann nun einfach berechnet werden:

$$\varphi = \arcsin \frac{y_b}{b}$$

Hier ist  $y_b$  der Schnittpunkt von y-Achse und Ellipse.

Werden Signale mit unterschiedlichen Frequenzen betrachtet, so sehen die Lissajous-Figuren sehr viel komplizierter aus:



Die entstandenen Figuren drehen sich dabei zusätzlich um eine Achse, wodurch eine genaue Formbestimmung erschwert wird. Stehen die beiden verwendeten Frequenzen allerdings in einem rationalen Verhältnis  $\frac{m}{n}$  mit  $m, n \in \mathbb{N}$ , gilt folgendes, wenn eine der beiden Frequenzen bekannt ist:

$$f_2 = f_1 \frac{m}{n}$$

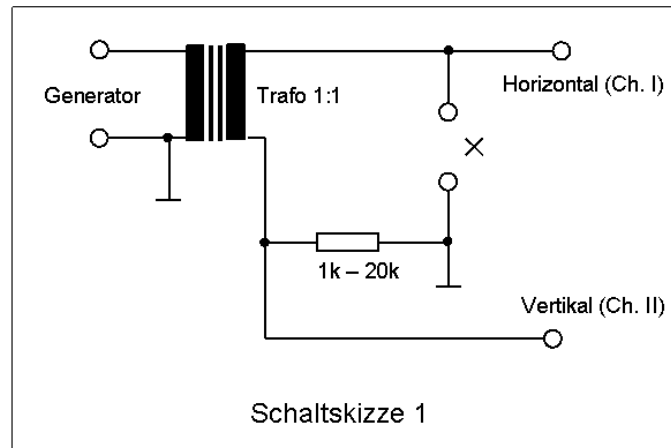
Es sei

- $m$  Anzahl der Umkehrpunkte an oberem und unterem Rand
- $n$  Anzahl der Umkehrpunkte an linkem und rechtem Rand

Die im Versuch zu betrachtenden Frequenzen entsprechen denen aus Aufgabe 2.6.

### Aufgabe 3.2 - Kennlinien

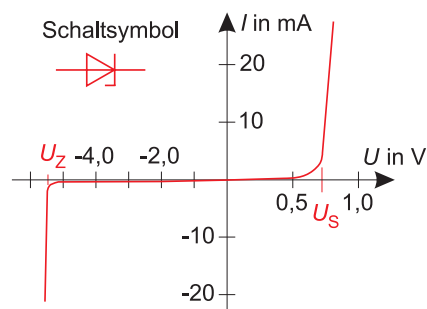
Kennlinien stellen das Verhältnis vom Strom- und Spannungsverläufen eines Bauteils dar. Es wird die Stromstärke über der Spannung aufgetragen. Zur Messung verwenden wir den Aufbau aus Schaltung 1 des Aufgabenblatts.



Es sollen die Kennlinien einer Zener-Diode, sowie eines Kondensators bestimmt werden.

#### 1.) Zener-Diode

Die Zener-Diode ist eine besonders dotierte Si-Diode mit einer geringen Sperrschicht. Das heißt sie arbeitet in Durchlassrichtung normal und in Sperrichtung lässt sie ab einer bestimmten Spannung (z.B. Zenerspannung  $U_z \approx 5 \text{ V}$ ) den Strom ebenfalls durch. Erwartet wird etwa eine Kennlinie mit folgendem Verlauf:



#### 2.) Kondensator

Bei einem idealen Kondensator würde sich ein Kreis abzeichnen, da hier nur ein Blindwiderstand, aber kein Wirkwiderstand existiert. Dies ergibt sich aus der Impedanz  $Z_C = \frac{1}{i\omega C}$ . Hier wäre die Phasendifferenz also gerade  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ . Bei einem realen Kondensator wird es allerdings einen geringen Wirkwiderstand geben, durch welchen die Kennlinie eine Ellipsenform annimmt.

Abschließend sollen die gemessenen Kennlinien mit der Option "Komponententester" des Oszilloskops überprüft werden.

## Aufgabe 4: Speichern eines Einmalvorgangs

Wie bereits zuvor angesprochen wurde, kann man mit Hilfe des Combiscopes auch einmalige Ereignisse aufnehmen und abspeichern. So können diese weiter betrachtet werden, selbst wenn die Spannungsquelle gar nicht mehr angeschlossen ist. In den letzten beiden Versuchen soll der Spannungsverlauf beim Entladen eines Kondensators mit der Kapazität  $C = 0,47 \mu\text{F}$  gespeichert werden. Für den Entladevorgang gilt:

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \Rightarrow \quad R = -\frac{t}{\ln\left(\frac{U(t)}{U_0}\right) \cdot C} \quad (\star)$$

Hier ist  $R$  der Widerstand, welcher im Versuchsaufbau zu bestimmen ist.

### Aufgabe 4.1 - Eingangswiderstand des Oszilloskops

Der Kondensator wird an den DC-Eingang des Oszilloskops angeschlossen und dort der Entladevorgang über den Eingangswiderstand des Oszilloskops betrachtet. Der AC-Eingang sollte nicht verwendet werden, da dort noch ein Kopplungskondensator zwischengeschaltet ist, welcher die Messung beeinflussen kann.

### Aufgabe 4.2 - Eingangswiderstand des Tastkopfes

Der Entladevorgang des Kondensators wird abschließend noch über den 10:1-Tastkopf betrachtet.

Mit Gleichung  $(\star)$  lassen sich nun Eingangswiderstand von Oszilloskop und Tastkopf berechnen. Diese Werte sollen mit den Herstellerangaben verglichen werden.

## Quellenangabe

Vorbereitungsmappe

Skizzen von Kathodenstrahlröhre, Combiscope, Triggerung, Lissajous-Figuren, Kennlinie:

Eichler, Kronfeldt, Sahn: Das neue physikalische Grundpraktikum

Tiefpass

<https://secure.wikimedia.org/wikipedia/de/wiki/Tiefpass>, abgerufen am 06.11.2011

Hochpass

<https://secure.wikimedia.org/wikipedia/de/wiki/Hochpass>, abgerufen am 06.11.2011

# **Physikalisches Anfängerpraktikum P1**

**Versuch:**

**P1-32,33,34**

**Das Oszilloskop als Messinstrument**

Schriftliche Vorbereitung von Marcel Krause (mrrrc@leech.it )

Gruppe: Di-11

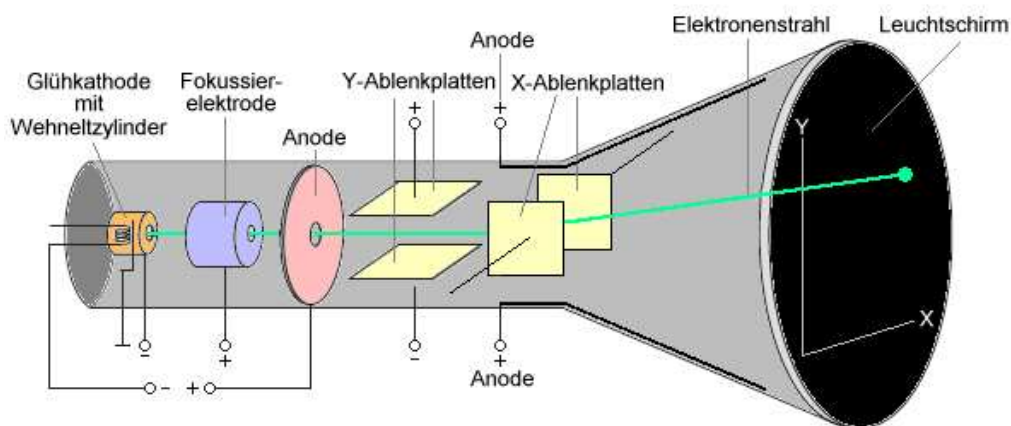
Datum der Versuchsdurchführung:

20.12.11

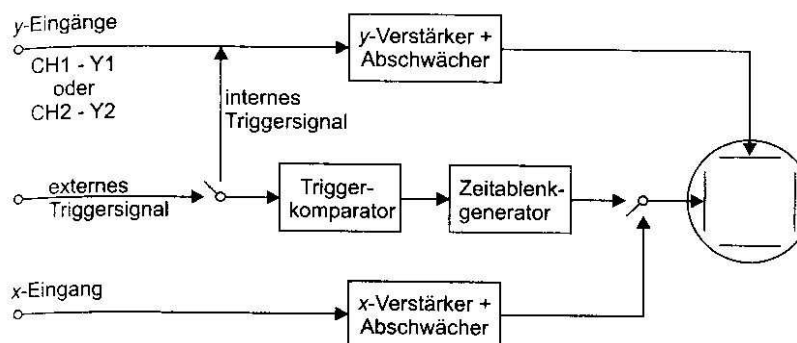
# Theoretische Grundlagen

## Oszilloskop

In der heutigen Versuchsreihe werden verschiedene Experimente mit Hilfe des Oszilloskops als Messinstrument durchgeführt. Dabei lernen wir dessen Eigenheiten und Funktionsweise kennen. Ein Oszilloskop ist ein sehr vielfältiges Messinstrument, mit dem man im Wesentlichen eine optische Darstellung von zeitlich veränderlichen Eingangssignalen erreicht. Unabhängig von der gemessenen Größe muss diese zunächst in ein Spannungssignal umgeformt werden, welches dann dem Oszilloskop zugeführt wird. Als Zeitbasis dient meist eine zeitlineare Sägezahnspannung, sodass sich ein zweidimensionales Abbild des Signals ergibt.



Man unterscheidet Oszilloskope nach ihrer Verwendungsart und ihrem Aufbau. Das Analogoszilloskop wird dabei als klassisches Oszilloskop bezeichnet und ist schematisch in obiger Skizze dargestellt. Es besteht aus einer Elektronenstrahlröhre, einem Schirm zur Anzeige, Verstärkern für Eingangssignale sowie Triggereinheiten und einer Einheit zur Zeitablenkung. Das nachfolgende Blockschaltbild soll diesen Aufbau veranschaulichen.



Im Versuch werden wir ein sogenanntes Combiscope benutzen. Ein solches besitzt wie ein digitales Oszilloskop einen Analog-Digital-Wandler, welcher das analoge Ausgangssignal digitalisiert und dann



intern abspeichert. Es wird dann allerdings das im Speicher abgelegte digitale Bild wieder in ein analoges rückgewandelt und dann zur Ansteuerung der Kathodenstrahlröhre verwendet.

Der Vorteil an solch einem Aufbau ist ein asynchrones Schreiben und Auslesen des Speichers. Hat man beispielsweise ein sehr langsames Signal vorliegen, welches in einem Analogoszilloskop nur als laufender Lichtpunkt dargestellt werden würde, so ergibt sich durch den asynchronen Ein- und Auslesevorgang eine geschlossene Signalform auf dem Schirm. Des Weiteren ist das digitale Abbild nützlich, wenn das Eingangssignal längst nicht mehr anliegt, denn es wird im Combiscope gespeichert.

## Impedanzen

Impedanzen, auch Wechselstromwiderstände genannt, geben das Verhältnis von Spannung zu aufgenommenem Strom an. Eine Impedanz ist in der Regel eine komplexe Größe aus einem Real- und Imaginärteil. Der Imaginärteil ist dabei für den Phasenversatz verantwortlich und sorgt für keine Energieumwandlung, weshalb Impedanzen, die rein durch einen Imaginärteil bestimmt sind, als Blindwiderstände bezeichnet werden. Für einen Widerstand  $R$  und eine Kapazität  $C$  gelten die Impedanzen

$$Z_R = R \qquad Z_C = \frac{1}{i\omega C}$$

# Aufgabe 1: Kennenlernen der Bedienelemente

Zunächst machen wir uns mit den Bedienelementen und Einstellmöglichkeiten des Oszilloskops vertraut.

## Bedienelemente

Im Rahmen der Vorbereitung soll kurz auf die wichtigsten Begriffe und Bedienelemente eingegangen werden, die auf dem Aufgabenblatt dargestellt sind.

### (a) Eingangsempfindlichkeit des Verstärkers

Das Eingangssignal wird zunächst an einen Verstärker geleitet, bevor es auf die Ablenkplatten der Kathodenstrahlröhre gegeben wird. Mittels des Drehschalters *VOLTS/DIV* kann man das Maß der Verstärkung anpassen.

### (b) Signaleinkopplung

Durch die Wahl der Einkopplung kann man die Art des zu untersuchenden Signals festlegen. *AC* bezeichnet dabei Wechsel-, *DC* Gleichstrom und *GND* ist eine geerdete Unterdrückung des Signals.

### (c) Zeitablenkung

Ein bloßes Anschließen eines Eingangssignals ohne zusätzliche Zeitablenkung würde auf dem Oszilloskop nur einen senkrechten Strich ergeben, da sich das Signal stets in vertikaler Richtung bewegt. Wie zuvor angesprochen benötigt man also eine Zeitablenkung, welche häufig als periodische Sägezahnspannung gewählt wird. Diese bildet im Oszilloskop die  $x$ -Achse, über die dann das Eingangssignal auf der  $y$ -Achse abgebildet wird. Mittels des Drehschalters *TIME/DIV* werden wir die Zeit einstellen können, die das Signal benötigt, um die  $x$ -Achse des Oszilloskops von einem Rand zum anderen zu durchlaufen.

**(d) Triggern, Slope**

Möchte man auf dem Oszilloskop ein stehendes Bild erhalten, so muss das Eingangssignal getriggert werden. Dabei legt man ein gewisses Triggerlevel für die Spannung der  $y$ -Achse fest, bei der die sägezahnförmige Zeitablenkung eine neue Periode beginnen soll. Prinzipiell unterscheidet man zwei Arten des Triggerns: *Normal* und *Auto*.

Bei der *Normal*-Einstellung findet das Triggern immer dann statt, wenn das Eingangssignal das Triggerlevel erreicht. Eine Unterscheidung zwischen positiver und negativer Taktflanke ist dabei mittels *Slope*-Einstellung möglich.

Bei der *Auto*-Einstellung hingegen findet das Triggern periodisch immer dann statt, wenn der Leuchtstrahl die volle Auslenkung auf der  $x$ -Achse durchlaufen hat.

## **Stehendes Bild eines Sinussignals**

Es soll nun an einem der beiden Eingangskanäle ein stehendes Bild eines Sinussignals erzeugt werden. Dabei sollen wir mit den im Menü verfügbaren Werkzeugen die Anstiegszeit, Frequenz und Amplitude bestimmen. Die Werkzeuge selbst erreichen wir über die Tasten *Select Cursor* und *Measure*.

Damit ein stehendes Bild auf dem Oszilloskop entsteht, muss das Eingangssignal getriggert werden. Wie zuvor angesprochen wird dabei die Zeitablenkung gestartet, sobald das Eingangssignal das Triggerlevel erreicht. Der Strahl durchläuft in einer gewissen Zeit die  $x$ -Achse des Oszilloskops und springt dann wieder zum Anfangspunkt zurück, wo er dann nach Erreichen des Triggerlevels erneut die  $x$ -Achse durchläuft, et cetera. Über die Regelung der benötigten Zeit kann man den Ausschnitt des dargestellten Sinussignals festlegen. Setzt man als Zeit gerade die Periodendauer des Signals, so erhält man eine vollständige Periode auf dem Oszilloskop.

Es soll ein 10 Hz-Signal sowohl im Analog-, wie auch im Digitalbetrieb des Oszilloskops betrachtet werden. Wir können dabei mittels der Taste *hold* zwischen den beiden Betriebsformen hin- und herschalten.

## **Aufgabe 2: Messungen im Zweikanalbetrieb**

Nachdem nun die Grundlagen des Oszilloskops im Einkanalbetrieb bekannt sind, wollen wir uns in der nächsten Aufgabe dem Zweikanalbetrieb zuwenden. Dabei werden wir jeweils zwei Signale über derselben Zeitachse gleichzeitig im Oszilloskop darstellen. Es sollen dabei auch mehrere Einstellungsmöglichkeiten erprobt werden, die im Folgenden kurz theoretisch angerissen werden.

**(a) CHOP**

Es wird sehr rasch zwischen den beiden Kanälen *CH1* und *CH2* gewechselt. Dadurch erreicht man auch bei niederfrequenten Eingangssignalen  $< 1$  kHz Darstellungen als geschlossene Linienzüge.

**(b) DUAL**

In dieser Stellung werden beide Eingangssignale gleichzeitig verarbeitet.

**(c) ADD**

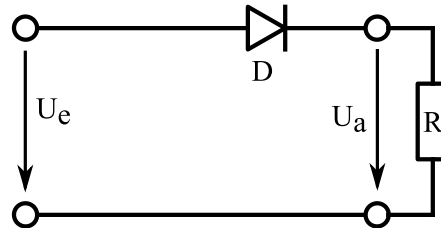
Es erfolgt eine Addition beider Eingangssignale. Die Summe wird dann als Ausgangssignal auf dem Oszilloskop dargestellt.

(d) TRIG-I/II

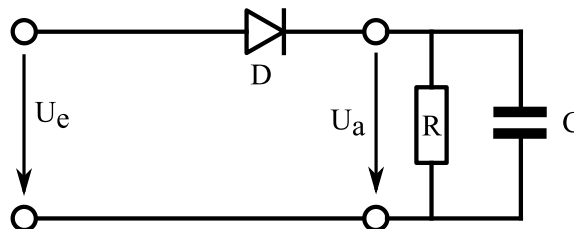
Es kann ausgewählt werden, für welchen Kanal das Triggern aktiviert werden soll. Dadurch kann man zwischen der Darstellung der beiden Kanäle hin- und herschalten.

### Aufgabe 2.1: Sinusspannung am Si-Dioden-Einweggleichrichter

Als Eingangssignal  $u_e$  wählen wir zunächst eine Sinusspannung, welche an einen Si-Dioden-Einweggleichrichter angeschlossen wird. Nachfolgend findet sich die Schaltskizze eines solchen Einweggleichrichters.



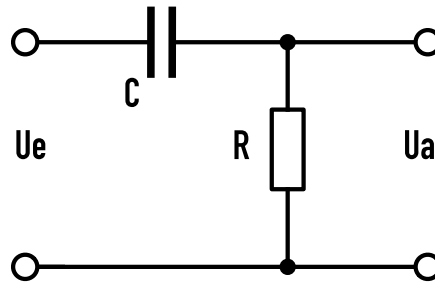
Bei der am Widerstand  $R$  abfallenden Spannung  $u_a$  nehmen wir das Ausgangssignal ab, welches ebenfalls an das Oszilloskop angeschlossen wird. Dort betrachten wir dann beide Signale gleichzeitig. Als Lastwiderstand wird  $R = 1 \text{ k}\Omega$  gewählt. Zunächst betrachten wir die Schaltung ohne Ladekondensator. Si-Dioden besitzen die Eigenheit, dass sie erst ab einer gewissen Spannung in eine Richtung durchschalten. Ist diese bei unserem Versuch zu niedrig, so ist zu erwarten, dass man kein Ausgangssignal erhält. Ansonsten wird erwartet, dass wir als Ausgangssignal einen Sinus erhalten werden, welcher entweder nur positive oder nur negative Schwingungsflanken enthält. Als zusätzliche Variation wollen wir einen Ladekondensator parallel zum Widerstand schalten. Es ergibt sich dann folgendes Schaltbild:



Prinzipiell wird sich ein ähnliches Bild wie zuvor ergeben, allerdings wird dieses durch den Kondensator geglättet.

### Aufgabe 2.2: Dreieckspannung am RC-Differenzierglied

Wir wählen als Eingangssignal nun eine Dreieckspannung mit Periodendauer  $T$ , welche an ein  $RC$ -Differenzierglied angeschlossen wird. Ein solches besteht aus in Reihe geschaltetem Widerstand  $R$  und Kondensator  $C$ . Die Ausgangsspannung  $u_a$  wird dabei am Widerstand abgegriffen, wie es in der nachfolgenden Schaltskizze angedeutet ist.



Das Differenzierglied besitzt die Impedanz  $Z$ , welche sich als Summe der Impedanzen des Widerstands und des Kondensators ergibt. Beachtet man  $\omega = 2\pi f = 2\pi T^{-1}$ , so ergibt sich mittels den Vorüberlegungen aus den theoretischen Grundlagen

$$Z = Z_R + Z_C = R + \frac{1}{i\omega C} = R + \frac{1}{i2\pi f C} = R - \frac{T}{2\pi C}i$$

und als Betrag der Impedanz:

$$|Z| = R\sqrt{1 + \frac{T^2}{4\pi^2 R^2 C^2}}$$

Es ist an dieser Stelle angebracht, eine Fallunterscheidung durchzuführen.

**(a) Fall 1:**  $T \ll 2\pi RC$

Aus obiger Gleichung geht in diesem Fall hervor, dass sich der Betrag der Impedanz nahezu vollständig aus dem Widerstand ergibt. Die Frequenz des Eingangssignals ist so hoch, dass der Kondensator praktisch keinen Einfluss darauf ausübt. Es ist hier zu erwarten, dass sich als Ausgangssignal gerade wieder das Eingangssignal mit eventuell vorhandenen, leichten Dämpfungen ergeben wird.

**(b) Fall 2:**  $T \approx 2\pi RC$

In diesem Fall wirkt der Kondensator stärker dämpfend auf das Eingangssignal ein. Es ist zu erwarten, dass sich als Ausgangssignal ein phasenverschobenes und gedämpftes Eingangssignal ergibt. Zusätzlich müsste man den Lade- und Entladevorgang des Kondensators beobachten können.

**(c) Fall 3:**  $T \gg 2\pi RC$

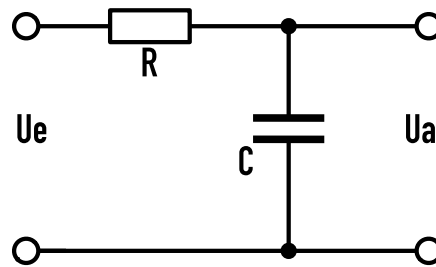
Es ergibt sich in diesem Fall geringer Frequenz, dass sich der Kondensators viel stärker als der Widerstand auf die Gesamtimpedanz auswirkt. Beachtet man  $I = \dot{Q}$  mit der Ladung  $Q = Cu_c$  des Kondensators, so gilt für die Ausgangsspannung  $u_a$ :

$$u_a = RI = R\dot{Q} = RC\dot{u}_c \approx RC\dot{u}_e$$

Dabei wurde wegen oben angesprochener Tatsache die Näherung  $\dot{u}_c \approx \dot{u}_e$  getroffen. Es ist also in diesem Fall zu erwarten, dass sich als Ausgangssignal gerade die Ableitung des Eingangssignals ergibt. Wir werden im Versuch prüfen, ob dies tatsächlich zutrifft. Da das von uns verwendete Eingangssignal eine Dreiecksspannung ist, müsste sich als Ableitung eine Rechteckspannung ergeben.

### Aufgabe 2.3: Rechteckspannung am RC-Integrierglied

In Analogie zur vorigen Aufgabe wählen wir nun als Eingangssignal eine Rechteckspannung mit Periodendauer  $T$ , welche an ein  $RC$ -Integrierglied angeschlossen wird. Die Ausgangsspannung  $u_a$  werden wir dabei am Kondensator abgreifen. Nachfolgend sei die zugehörige Schaltskizze dargestellt.



Es gilt für den Betrag der Gesamtimpedanz wieder:

$$|Z| = R \sqrt{1 + \frac{T^2}{4\pi^2 R^2 C^2}}$$

Auch hier müssen drei Fälle unterschieden werden.

**(a) Fall 1:**  $T \ll 2\pi RC$

Der Einfluss des Kondensators ist aufgrund der hohen Frequenz der Schwingung wieder verschwindend gering. Beachtet man  $Q = \int dtI$  als Ladung des Kondensators, so ergibt sich als Ausgangsspannung  $u_a$  hier:

$$u_a = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int dtI \approx \frac{1}{RC} \int dtu_e$$

Dabei wurde mit  $u_R$  als Spannung am Widerstand als Näherung  $u_e \approx u_R$  angenommen, da der Einfluss des Kondensators sehr gering ist. Es ist also zu erwarten, dass sich als Ausgangssignal gerade das Integral des Eingangssignals ergibt. Da wir als Eingangssignal eine Rechteckspannung gewählt haben, ist als Ausgangssignal eine Dreieckspannung zu erwarten. Dies soll experimentell von uns überprüft werden.

**(b) Fall 2:**  $T \approx 2\pi RC$

Wie beim Differenzierglied zuvor dürfte hier ein phasenverschobenes und gedämpftes Eingangssignal beobachtbar sein. Auch müssten wieder die Lade- und Entladekurven des Kondensators erkennbar sein.

**(c) Fall 3:**  $T \gg 2\pi RC$

Ist die Periodendauer derart hoch gewählt, so ist der Einfluss des Widerstands gering gegenüber dem Einfluss des Kondensators. Daher wird erwartet, dass sich als Ausgangssignal gerade wieder das eventuell schwach gedämpfte Eingangssignal ergibt. Es ist durch die Lade- und Entladevorgänge dabei möglich, dass die beiden Signale etwas phasenverschoben sind.

### Aufgabe 2.4: Sinusspannung an einem $RC$ -Phasenschieber

Nun wollen wir ein sinusförmiges Eingangssignal an ein  $RC$ -Glied bestehend aus der Reihenschaltung des Widerstands  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und des Kondensators  $C = 0,47 \mu\text{F}$  anlegen und dabei am Widerstand das Ausgangssignal abgreifen. Die verwendete Frequenz soll dabei so eingestellt werden, dass  $u_{a0} = \frac{u_{e0}}{2}$  gelte. Als Gesamtimpedanz  $Z$  ergibt sich hier wieder

$$Z = R - \frac{T}{2\pi C}i$$

und als deren Betrag:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

Damit ist die Maximalstromstärke  $I_0$  gegeben durch

$$I_0 = \frac{u_{e0}}{|Z|} = \frac{u_{e0}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

wobei  $u_{e0}$  die maximal angelegte Spannung bezeichne. Da hier die Ausgangsspannung  $u_a$  am Widerstand abgegriffen wird, ergibt sich dafür maximal:

$$u_{a0} = I_0 R = \frac{u_{e0} R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

Als Bedingung soll  $u_{a0} = \frac{u_{e0}}{2}$  gelten. Setzt man dies ein, so lässt sich die benötigte Frequenz  $f$  berechnen:

$$\begin{aligned} \frac{u_{e0}}{2} &= \frac{u_{e0} R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \\ \Leftrightarrow \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} &= 2R \\ \Leftrightarrow R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} &= 4R^2 \\ \Leftrightarrow \omega &= \frac{1}{\sqrt{3}RC} \\ \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} &= \frac{1}{2\sqrt{3}\pi RC} = \frac{1}{2\sqrt{3}\pi \cdot 1 \text{ k}\Omega \cdot 0,47 \mu\text{F}} \approx 195,5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Die Phasenverschiebung  $\varphi$  lässt sich als Arcustangens des Quotienten aus Imaginär- und Realteil der Impedanz  $Z$  ebenfalls berechnen:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{-\frac{1}{\omega C}}{R}\right) = -\arctan\sqrt{3} = -\frac{\pi}{3} \hat{=} -60^\circ$$

## Aufgabe 2.5: Darstellung einer frequenzmodulierten Schwingung

Es soll nun als nächste Teilaufgabe ein Spannungssignal der Form

$$u(t) = u_0 \sin(\varphi(t)) = u_0 \sin\left(\Omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\omega} \sin(\omega t) + \varphi_0\right)$$

mit Hilfe des Oszilloskops dargestellt werden. Dabei bezeichnen  $u_0$  die Amplitude der Trägerwelle,  $\omega$  die Modulationskreisfrequenz und  $\Omega_0$  die Trägerwellenkreisfrequenz. Dabei werden wir eine  $50 \text{ mV}_{ss} - 50 \text{ Hz}$ -Sinusspannung des Generators 2 an den Eingang  $VC_{in}$  des Generators 1, welcher mit  $1,5 \text{ kHz}$  betrieben werden soll, anschließen. Wir schalten also zwei Generatoren hintereinander. Es sollen dann von uns der Frequenzhub  $\Delta\omega$  sowie die Momentankreisfrequenz  $\Omega(t)$  mit

$$\Omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} = \Omega_0 + \Delta\omega \cos(\omega t)$$

bestimmt werden.

## Aufgabe 2.6: Addieren und Subtrahieren

Als abschließende Teilaufgabe wollen wir nun zwei Eingangssignale addieren und subtrahieren. Dabei nutzen wir stets die *ADD*-Einstellung des Oszilloskops und zur Subtraktion auch die *INVERT*-Möglichkeit. Es sollen dabei Kombinationen mit verschiedener respektive gleicher Amplitude sowie verschiedener, fast gleicher oder gleicher Frequenz ausprobiert werden.

Es ist dabei zu erwarten, dass sich bei gleicher Frequenz die Amplituden einfach addieren. Nach dem Hinweis auf dem Aufgabenblatt dürften fast gleiche Frequenzen zu Schwebungen als Ausgangssignale führen.

## Aufgabe 3: X-Y-Darstellung

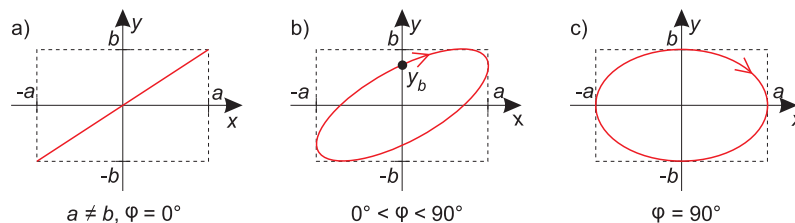
Wir betrachten im folgenden Versuchsblock eine alternative Betriebsmöglichkeit des Oszilloskops. Dabei ersetzen wir den Zeitbasisgenerator der  $x$ -Achse mit einem Eingangssignal. Das Oszilloskop wird dann im X-Y-Modus betrieben.

### Aufgabe 3.1: Lissajous-Figuren

Lissajous-Figuren entstehen beim gegenseitigen Auftragen zweier Schwingungen. Man kann mit Hilfe der Figuren unter anderem die Phasenverschiebung  $\varphi$  ermitteln, welche zwei Schwingungen derselben Frequenz  $f$  gegeneinander haben. Die beiden Schwingungen werden in Form von Spannungssignalen an den  $x$ - respektive  $y$ -Eingang des Oszilloskops gelegt. Es ergeben sich dann als Funktionen:

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

Ganz allgemein lassen sich durch diese beiden Gleichungen Ellipsen in Parameterform beschreiben. Die nachfolgende Skizze veranschaulicht dies für drei verschiedene Phasenverschiebungen, wobei  $a \neq b$  gelte.



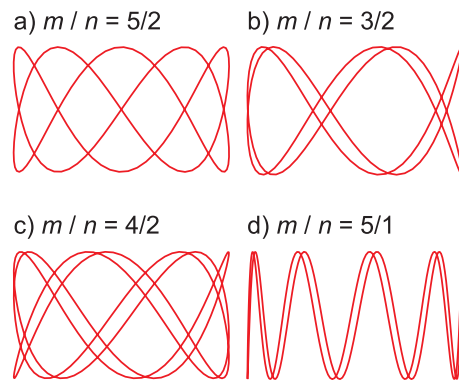
Möchte man bei gleichen Frequenzen  $f$  beider Signale die Phasenverschiebung ermitteln, so reicht es aus, die Werte für  $b$  und den Schnittpunkt  $y_b$  der Ellipse mit der  $y$ -Achse zu bestimmen. Die Phasenverschiebung lässt sich dann über

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

berechnen, da in der  $x$ -Funktion  $\sin(2\pi ft) = 0$  für  $2\pi ft = 0, 2\pi, \dots$  gilt und sich diese Periodizität auch in der  $y$ -Funktion wiederfindet.

Ein besonderes Augenmerk gilt Eingangssignalen, welche unterschiedliche Frequenzen aufweisen. Die sich dann ausbildenden Lissajous-Figuren sind im Allgemeinen wesentlich komplizierter, wie es unten stehende Skizze veranschaulicht. Es bilden sich dann in der Regel nicht mehr Ellipsen aus, sondern

verschiedenartige, harmonisch erscheinende Figuren, welche zudem recht schnell um eine Achse zu rotieren scheinen.



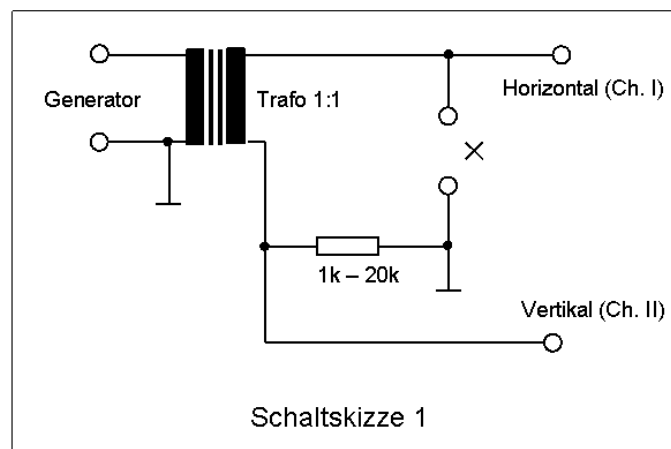
Da die Bewegung dieser Figuren oft sehr schnell erfolgt, ist die genaue Bestimmung der Form nicht immer einfach. Stehen die Frequenzen beider Eingänge allerdings in einem rationalen Verhältnis  $\frac{m}{n}$  mit  $m, n \in \mathbb{N}$ , sodass

$$\frac{f}{f_0} = \frac{m}{n}$$

für zwei Frequenzen  $f$  und  $f_0$  gelte, so ergeben sich auf dem Oszilloskop stehende Lissajous-Figuren. Unter Kenntnis einer der beiden Frequenzen lässt sich so die andere bestimmen. Das Frequenzverhältnis kann man dabei über die Form der Lissajous-Figuren ermitteln, wie es in obiger Skizze angedeutet ist. Dabei sei angemerkt, dass diese nur einen sehr kleinen Teil der möglichen Lissajous-Figuren darstellt. Im Versuch wollen wir verschiedene Lissajous-Figuren darstellen. Dabei nutzen wir als Eingangssignale dieselben Kombinationen wie in Aufgabe 2.6.

### Aufgabe 3.2: Kennlinien

Als abschließende Teilaufgabe wollen wir nun die Kennlinien zweier verschiedener Bauteile aufnehmen. Als Kennlinie wird dabei die Darstellung einer Stromstärke über der Spannung bezeichnet, die für ein Bauteil charakteristisch ist. Als Versuchsaufbau nutzen wir dabei die auf dem Versuchsblatt angegebene Schaltung 1:



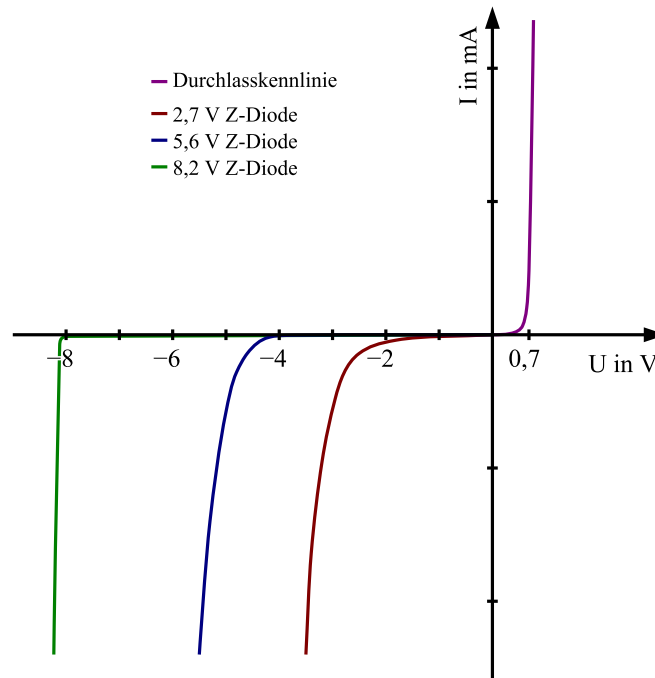
Wir betrachten als Bauteile eine Zenerdiode und einen Kondensator.



### (a) Zenerdiode

Eine Zenerdiode ist eine speziell ausgeführte Bauart einer normalen Diode mit charakteristischen Eigenschaften. Betreibt man sie in Durchlassrichtung, so verhält sie sich wie eine normale Diode und lässt den Strom ab Erreichen einer gewissen Schwellspannung nur noch schwach gedämpft hindurch. Betreibt man sie hingegen in Sperrichtung, so fließt kein Strom durch die Diode. Erhöht man die Spannung dann aber kontinuierlich, so tritt ab einer gewissen Spannung der Zener-Effekt auf, und die Diode schaltet wieder durch.

Aufgrund dieser speziellen Eigenschaften wird folgende Kennlinie, hier für drei verschiedene Zenerdioden, erwartet:



### (b) Kondensator

Betrachtet man einen idealen Kondensator, so ist aus den theoretischen Grundlagen bekannt, dass dessen Impedanz nur einen Imaginär-, aber keinen Realteil besitzt. Physikalisch bedeutet dies, dass der Kondensator nur als Blind-, nicht jedoch als Wirkwiderstand fungiert. Es ergibt sich somit lediglich eine Phasenverschiebung von  $\frac{\pi}{2}$  zwischen Spannung und Strom. Als Kennlinie ist folglich ein Kreis zu erwarten.

Geht man allerdings von einem realen Kondensator aus, so muss man annehmen, dass auch dieser einen geringen Wirkwiderstand besitzen wird. Die von uns beobachtbare Kennlinie wird also von der Kreisform geringfügig abweichen. Es werden sich vermutlich unsaubere Ellipsen abzeichnen.

## Aufgabe 4: Speichern eines Einmalvorgangs

Als abschließende Aufgabe möchten wir noch die Speicherfunktion des Oszilloskops anhand von Einmalvorgängen untersuchen. Dabei soll der Spannungsverlauf beim Entladen eines Kondensators mit

$C = 0,47 \mu\text{F}$  gespeichert werden. Für den Spannungsverlauf gilt dabei ganz allgemein

$$U(t) = U_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

wobei  $R$  der in der Versuchsanordnung vorkommende Widerstand sei. Formt man nach diesem um, so erhält man:

$$R = \frac{t}{C \ln\left(\frac{U_0}{U(t)}\right)}$$

Wir wollen den Versuch auf zwei verschiedene Arten durchführen. Es werden dabei jedes Mal die benötigten Werte  $U(t)$  und  $U_0$  zu gewissen Zeiten  $t$  aus dem Abbild entnommen. Mit obiger Formel lässt sich so der Widerstand der Anordnung bestimmen.

### **Aufgabe 4.1: Spannungsverlauf über den Eingangswiderstand des Oszilloskops**

Der Entladevorgang wird über den Eingangswiderstand des Oszilloskops betrachtet. Es ist dabei darauf zu achten, dass wir den *DC*-Eingang verwenden, da dieser direkt mit dem Verstärker verbunden ist, wohingegen der *AC*-Eingang zusätzlich noch mit einem Koppelkondensator verbunden ist, was das Abbild verfälschen könnte.

### **Aufgabe 4.2: Spannungsverlauf über den Eingangswiderstand des 10:1-Tastkopfs**

Der Entladevorgang wird nun mittels des Tastkopfs betrachtet. Dabei ist zusätzlich zu beachten, dass der Tastkopf als 10:1-Spannungsteiler wirkt. Dies muss bei der Auswertung des Abbilds berücksichtigt werden.

## **Quellenverzeichnis**

Meschede, D.: Gerthsen Physik

Eichler, Kronfeldt, Sahn: Das neue physikalische Grundpraktikum

Demtröder, W.: Experimentalphysik Band 2 - Elektrizität und Optik

Schema der Kathodenstrahlröhre:

<http://www.hobby-bastelecke.de/bilder/messen/oszilloskop.gif>

Schaltskizze des Einweggleichrichters:

<http://mic.hit-karlsruhe.de/projekte/.../einweggleichrichter.bmp>

Skizzen der RC-Spannungsteiler:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Hochpass.svg>

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/Tiefpass.svg>

Kennlinie der Zenerdiode:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Kennlinie\\_Z-Diode.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Kennlinie_Z-Diode.svg)

Blockschaltbild des Analogoszilloskops sowie Schaltskizze zur Kennlinienbestimmung:  
Aufgabenblatt

# **Physikalisches Anfängerpraktikum P1**

**Versuch:**

**P1-32,33,34**

**Das Oszilloskop als Messinstrument**

Auswertung

von

Georg Fleig (georg@leech.it )

Marcel Krause (mrrrc@leech.it )

Gruppe: Di-11

Datum der Versuchsdurchführung:

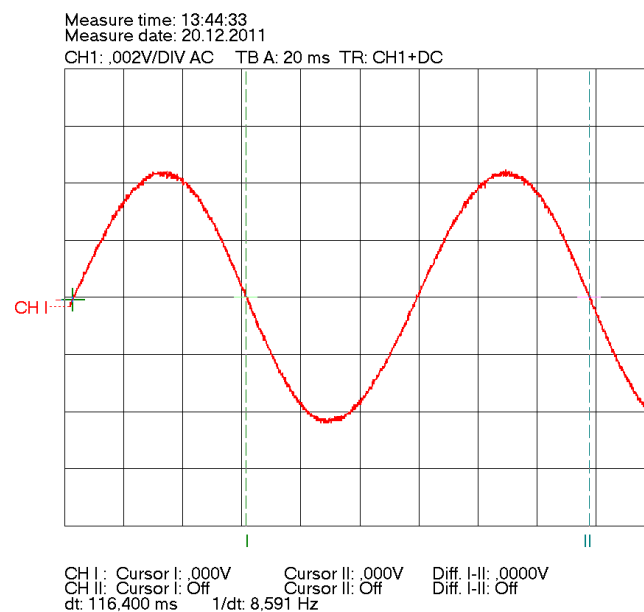
20.12.11

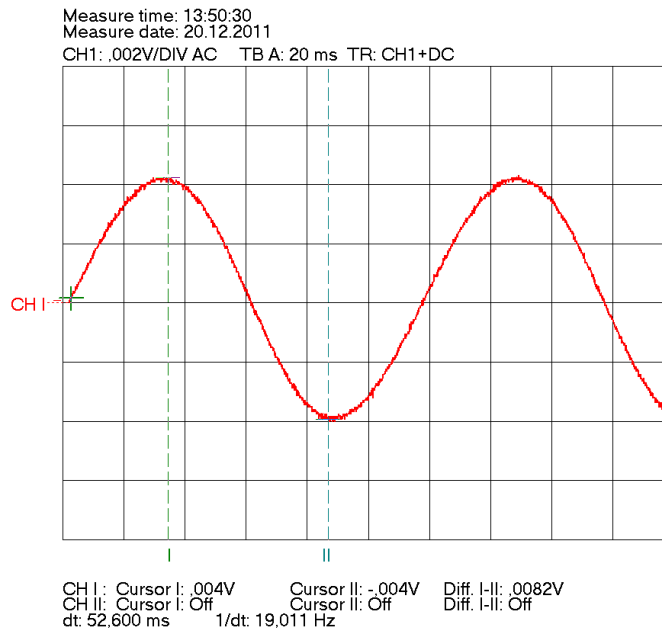
# Aufgabe 1: Kennenlernen der Bedienelemente

Zunächst haben wir uns mit der Bedienung des Oszilloskops vertraut gemacht. Mit Hilfe des Funktionsgenerators haben wir ein Sinussignal mit der Frequenz  $f = 10 \text{ Hz}$  erzeugt, welches auf dem Oszilloskop dargestellt wurde. Die Triggerung wurde vom Oszilloskop dabei bereits so gewählt, dass der Sinus als stehende Welle aufgezeichnet wurde. Zunächst haben wir die unterschiedlichen Darstellungen im Analog- und im Digitalbetrieb betrachtet.

Im Analogbetrieb konnten wir den Elektronenstrahl des Oszilloskops auf dem Schirm regelrecht mitverfolgen, er war dort als wandernder Punkt zu sehen. Im Digitalbetrieb hingegen werden diskrete Werte des Signals gespeichert, mit welchen dann die Ablenkkondensatoren angesteuert werden. Dadurch erhält man dort keinen laufenden Lichtpunkt, sondern ein permanentes, stehendes Bild, welches allerdings aufgrund der diskret aufgenommenen Werte unscharf und zackig erscheint.

Für die meisten Messungen hat sich bei uns der Digitalbetrieb als vorteilhaft herausgestellt. Dies lag vor allem an dem sich dauerhaft einstellenden Bild sowie an der Tatsache, dass wir im Digitalbetrieb die Bilder des Oszilloskops mit dem Computer aufnehmen konnten. Wir haben nun mit Hilfe des Computers zwei Bilder der stehenden Sinusschwingung aufgenommen und in einem auf das Oszilloskop angepassten Datenverarbeitungsprogramm mit Hilfe von Cursors die Anstiegszeit  $t$ , die Frequenz  $f$  und die Amplitude  $u_0$  bestimmt. Als Bilder ergaben sich:





Das Programm lieferte uns also:

$$t_{pc} = 20,745 \text{ ms}$$

$$f_{pc} = 8,591 \text{ Hz}$$

$$u_{0,pc} = 4,1 \text{ mV}$$

Zur Berechnung der Anstiegszeit wurde die Zeit des Sinussignals  $u(t) = u_{0,pc} \sin(2\pi f_{pc} t)$  berechnet, die vergeht, wenn das Signal zwischen 10% und 90% einer Pegeländerung schwankt.

Zur Kontrolle haben wir die Messungen für die Frequenz und die Amplitude auch direkt am Oszilloskop im Digitalbetrieb durchgeführt. Dazu haben wir die internen Messmethoden des Combiscope genutzt. Wir haben dabei leider versäumt, die Anstiegszeit auch hier direkt zu messen. Ansonsten ergaben sich hier:

$$f_{oszi} = 8,670 \text{ Hz}$$

$$u_{0,pc} = 4,160 \text{ mV}$$

Wie man sieht, gibt es zwischen der Auswertung mittels PC und der direkten Messung im Oszilloskop durchaus geringfügige Abweichungen, welche wir im Rahmen der Messgenauigkeit aber vernachlässigen können. Die größte Fehlerquelle bei der Auswertung mittels PC stellt die Tatsache dar, dass wir dort die Messpunkte (wie beispielsweise die Maxima des Sinus für die Amplitudenbestimmung) manuell einstellen müssen, was sich bei den recht unsauberen Signalen als schwierig erweist.

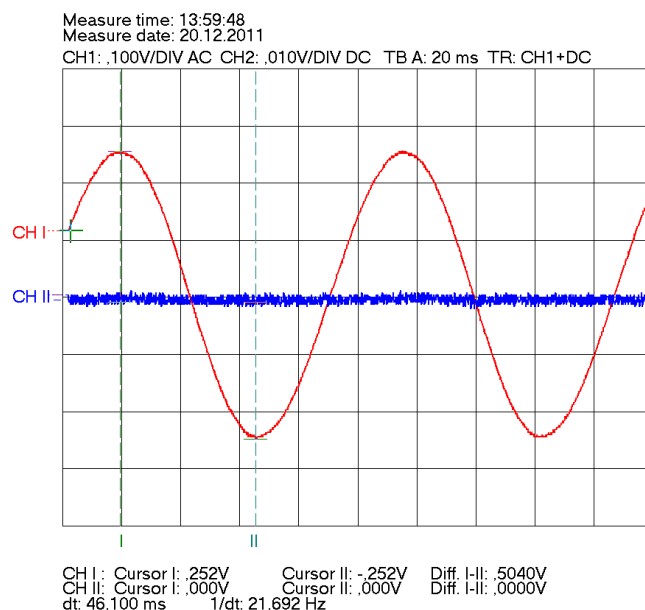
## Aufgabe 2: Messungen im Zweikanalbetrieb

Nachdem wir uns nun mit der grundsätzlichen Bedienung des Oszilloskops vertraut gemacht haben, führen wir die folgenden Versuche im Zweikanalbetrieb durch. Dazu haben wir das Oszilloskop im *DUAL*-Modus betrieben und so beide Signale über einer Zeitachse aufgetragen.

## Aufgabe 2.1: Sinusspannung am Si-Dioden-Einweggleichrichter

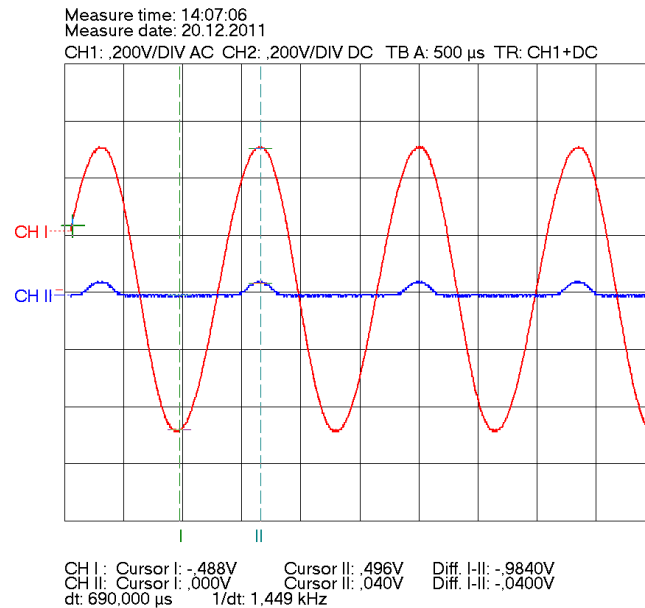
Wir haben das sinusförmige Eingangssignal sowohl an Channel 1 des Oszilloskops wie auch an den Si-Dioden-Einweggleichrichter angeschlossen. Die Ausgangsspannung des Gleichrichters, welche wie in der Vorbereitung skizziert am Widerstand abgegriffen wird, haben wir auf Channel 2 gelegt. Es wurde nun die Wirkung des Gleichrichters bei drei verschiedenen Eingangsspannungen sowohl ohne als auch mit Ladekondensator, welcher parallel zum Widerstand verschalten wurde, überprüft.

Zunächst erfolgte die Untersuchung des Eingangssignals von  $U_{SS} = 0,5\text{ V}$  ohne Ladekondensator. Es ergab sich das folgende Bild:

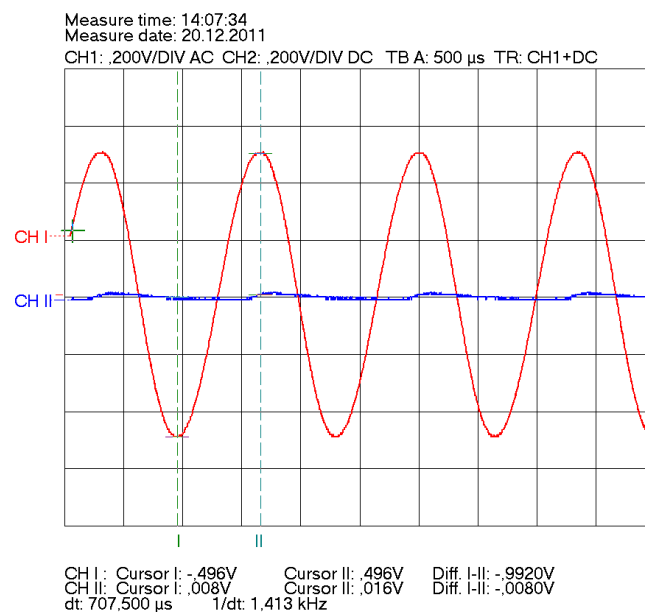


Es ist zu erkennen, dass sich am Ausgang mit Ausnahme eines gewissen Hintergrundrauschens eine Nulllinie ergibt. Das liegt daran, dass die Si-Dioden erst ab einer gewissen Spannung im Bereich von  $0,6\text{ V}$  bis  $0,8\text{ V}$  durchschalten. Auf den Ladekondensator haben wir in diesem Fall verzichtet, da er an der Nulllinie nichts verändert hätte.

Als nächstes haben wir die Eingangsspannung  $U_{SS} = 1,0\text{ V}$  angelegt und zunächst das sich ergebende Bild ohne Ladekondensator überprüft:



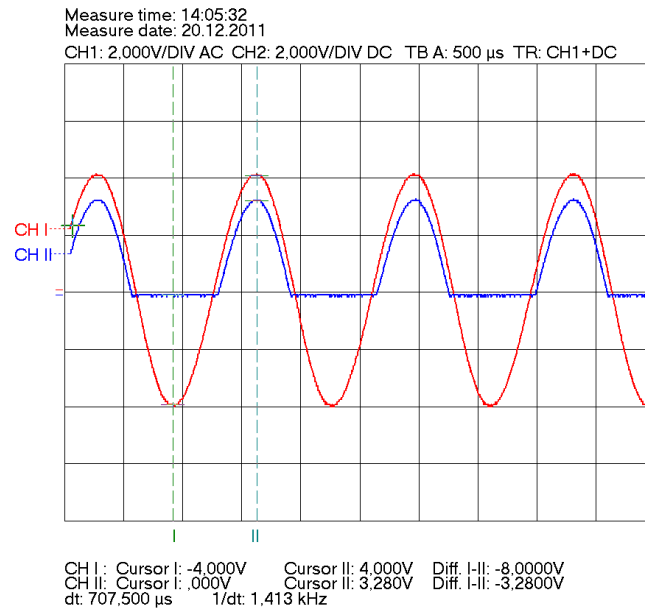
Wie man erkennt, ergeben sich nun beim Ausgangssignal leichte Erhebungen, wo das Eingangssignal ein Maximum aufweist. Die Eingangsspannung ist folglich in bestimmten Bereichen groß genug, um die Diode auf Durchlass zu schalten. Die negativen Schwingungsflanken der Sinusschwingung führen zu keiner Veränderung des Ausgangssignals, da die Diode dort in Sperrrichtung betrieben wird. Schaltet man nun noch den Ladekondensator dazu, so erhalten wir das folgende Bild:



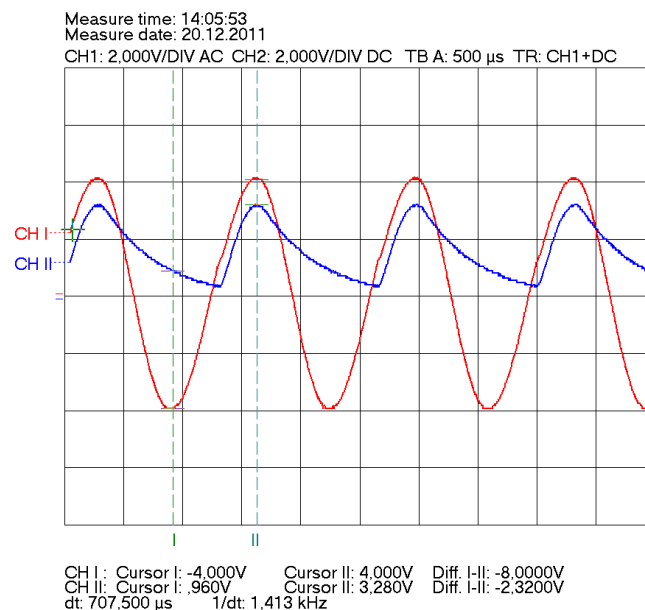
Wie wir es in der Vorbereitung vorhergesagt haben, glättet sich durch den Kondensator das Ausgangssignal. Da dieses aber zuvor recht schwach war, nähert sich das Signal nun wieder an die Nulllinie an. In den nachfolgenden Bildern ist der Effekt schöner zu erkennen.

Schließlich haben wir für die Sinusspannung noch die Spannung  $U_{SS} = 8,0 \text{ V}$  gewählt. Ohne Kondensator ergab sich folgendes Bild:





Man erkennt wieder schön, wie die negativen Schwingungsflanken abgeschnitten werden. Durch die hoch gewählte Eingangsspannung schaltet die Diode bereits früh durch und man erhält so für die positiven Schwingungsflanken annähernd dasselbe Bild wie das ursprüngliche Eingangssignal. Nun wurde wieder der Kondensator parallel geschaltet:



Die Glättung ist hier noch schöner zu sehen, zusätzlich erkennt man hier nun deutlich die Entladekurven des Kondensators, welche sich nach jedem Maximum des Eingangssignals ergeben.

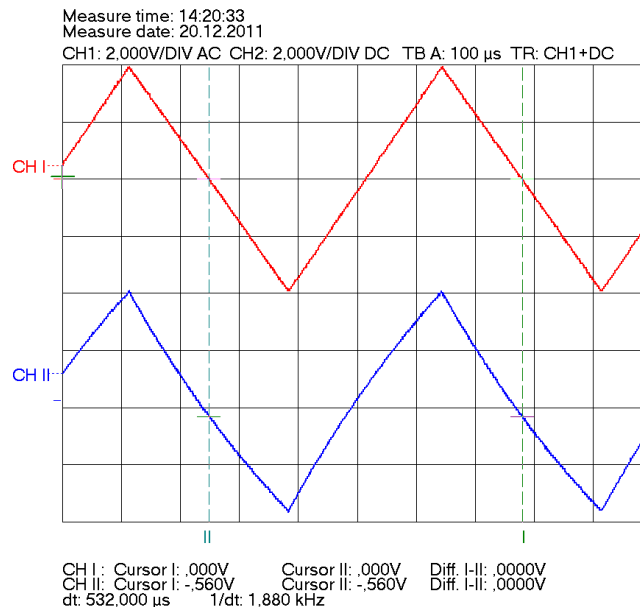
## Aufgabe 2.2: Dreiecksspannung am RC-Differenzierglied

In dieser Teilaufgabe haben wir das Differenzierglied mit dem Widerstand  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und der Kapazität  $C = 0,47 \text{ }\mu\text{F}$  wie in der Vorbereitung angesprochen aufgebaut. An Channel 1 haben wir eine Dreiecksspannung angelegt, die Ausgangsspannung wurde am Widerstand abgegriffen und auf Channel 2

gelegt. Wir haben nun die Frequenz der Dreiecksspannung, und damit auch deren Periodendauer  $T$ , variiert und experimentell die Fallunterscheidung überprüft. Als Grenze der Periodendauer diene uns dabei der Richtwert  $T = 2\pi RC \approx 0.00295$  s und damit entsprechend die Grenzfrequenz  $f \approx 338.628$  Hz.

**(a) Fall 1:**  $T \ll 2\pi RC$

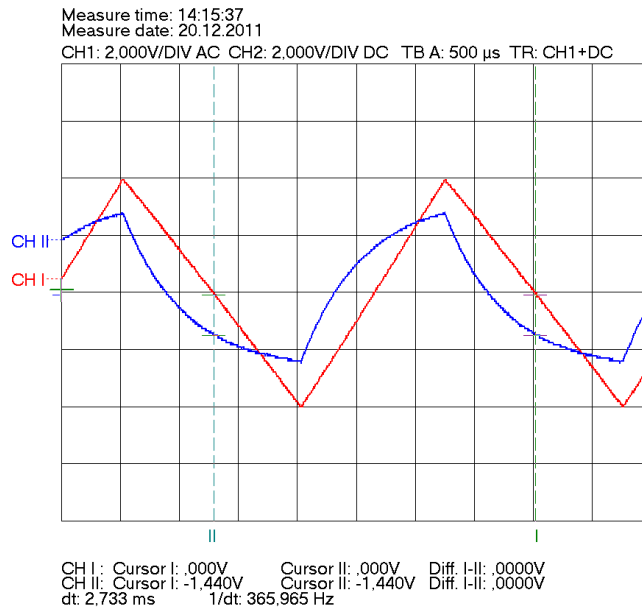
Es wurde von uns eine Frequenz von  $f = 1,180$  kHz entsprechend einer Periodendauer  $T = 532,000$   $\mu$ s so eingestellt, dass sich ein hinreichendes Bild ergab:



Wie es von uns vorausgesagt wurde, ergab sich bei der Ausgangsspannung (Channel 2, unten) gerade wieder das Bild der Eingangsspannung (Channel 1, oben), wobei die Lade- und Entladekurven des Kondensators nur ansatzweise zu sehen sind. Der Differenzierer funktioniert in diesem Frequenzbereich also nicht.

**(b) Fall 2:**  $T \approx 2\pi RC$

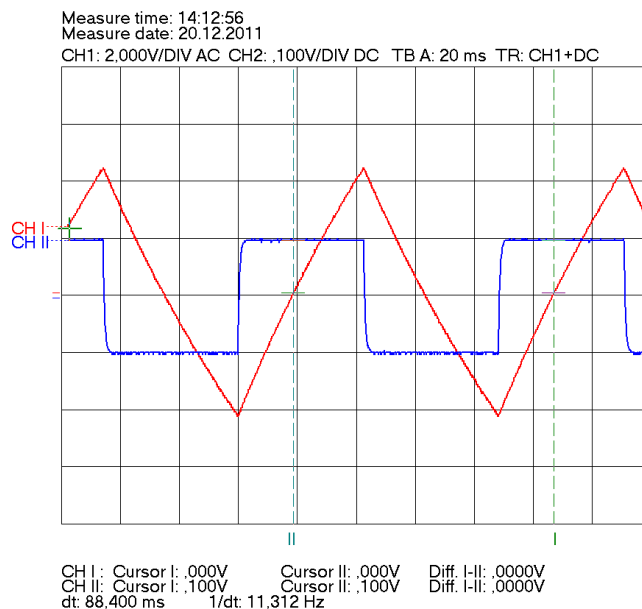
Für diesen Fall wurde eine Frequenz von  $f = 365,965$  Hz entsprechend einer Periodendauer  $T = 2,733$  ms eingestellt. Auf dem Oszilloskop ergaben sich nun folgende Kurven:



Wie man erkennt, ergibt sich nun als Ausgangsspannung wieder die Eingangsspannung, allerdings deutlich gedämpft. Die Lade- und Entladevorgänge des Kondensators sind deutlich zu erkennen. Für diesen Frequenzbereich eignet sich die Schaltung allerdings immer noch nicht als Differenzierer.

(c) **Fall 3:**  $T \gg 2\pi RC$

Schließlich wurde von uns eine Frequenz von  $f = 11,312$  Hz entsprechend einer Periodendauer  $T = 88,400$  ms eingestellt. Als Bild ergab sich:



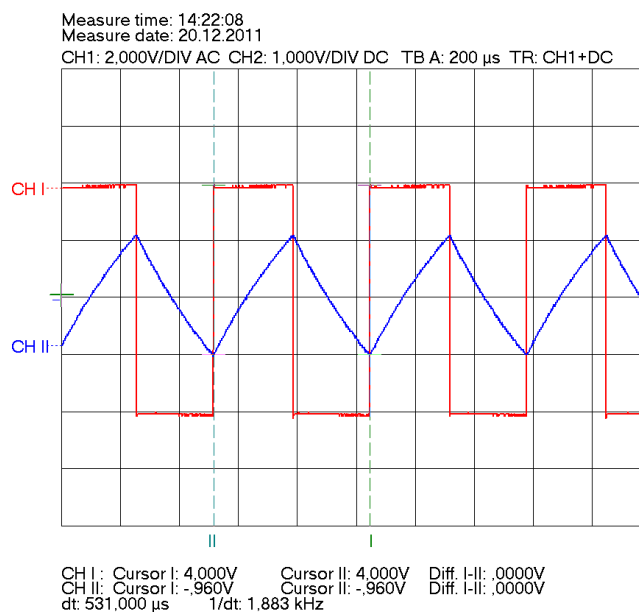
Man erkennt hier nun schön die Funktion dieses RC-Glieds als Differenzierer. Wie von uns in der Vorbereitung vorhergesagt, ergibt sich als die Ableitung der dreieckförmigen Eingangsspannung eine rechteckförmige Ausgangsspannung.

### Aufgabe 2.3: Rechteckspannung am RC-Integrierglied

Neben dem Differenzierer stellt das Integrierglied eine weitere, essentielle Schaltung dar, die wir untersucht haben. Gemäß der Vorbereitung haben wir diese Schaltung mit dem Widerstand  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und der Kapazität  $C = 0,47 \mu\text{F}$  aufgebaut. Als Eingangsspannung wurde von uns eine Rechteckspannung mit Periodendauer  $T$  eingestellt, die Ausgangsspannung wurde am Kondensator abgegriffen und auf Channel 2 gelegt. Die Eingangsspannung wurde wie zuvor zusätzlich an Channel 1 gelegt. Auch hier haben wir experimentell die Fallunterscheidung durchgeführt.

**(a) Fall 1:**  $T \ll 2\pi RC$

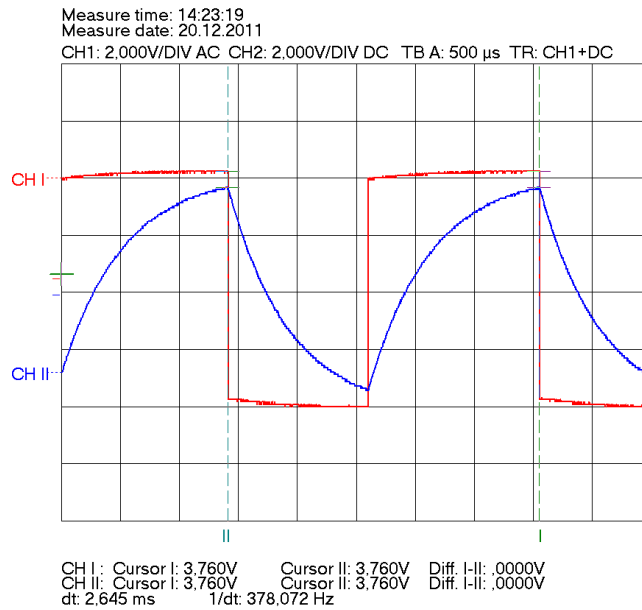
Zu Beginn haben wir eine Frequenz von  $f = 1,883 \text{ kHz}$  gewählt, was einer Periodendauer von  $T = 531,000 \mu\text{s}$  entsprach. Auf dem Schirm ergab sich folgendes Bild:



Im gewählten Frequenzbereich fungiert dieses RC-Glied als Integrierer, wie es von uns in den Vorbereitungen hergeleitet wurde. Die rechteckförmige Eingangsspannung wird dabei zu einer dreieckförmigen Ausgangsspannung integriert.

**(b) Fall 2:**  $T \approx 2\pi RC$

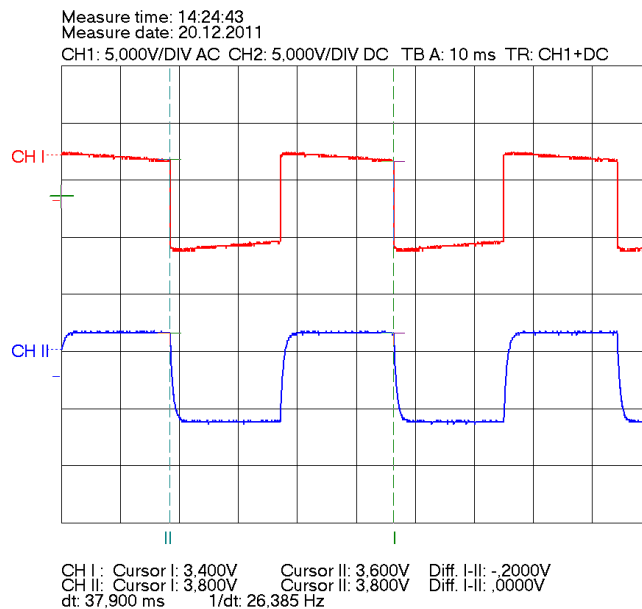
Im zweiten Fall wurde von uns eine Frequenz  $f = 378,072 \text{ Hz}$  entsprechend der Periodendauer  $T = 2,645 \text{ ms}$  eingestellt, wodurch sich folgendes Bild ergab:



Das RC-Glied eignet sich hier nicht mehr als Integrierer, denn als Ausgangsspannung ergibt sich nur noch eine gedämpfte Eingangsspannung. Die Lade- und Entladekurven sind hier sehr deutlich zu sehen.

(c) **Fall 3:**  $T \gg 2\pi RC$

Für den letzten Fall haben wir eine Frequenz von  $f = 26,385$  Hz entsprechend der Periodendauer  $T = 37,900$  ms eingestellt. Hier ergab sich auf dem Oszilloskop folgendes Bild:

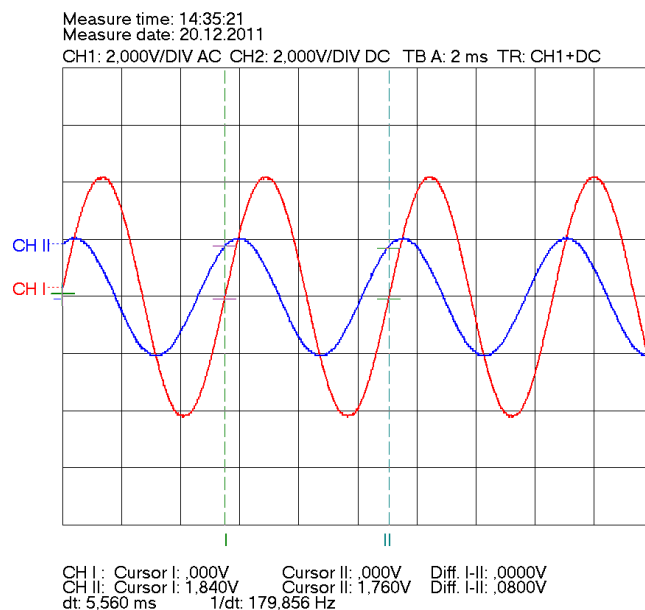


Das Ausgangssignal ist praktisch identisch mit dem Eingangssignal, somit besitzt das RC-Glied bei diesem Frequenzbereich praktisch keine Integrier-Funktion. Die leichten Ausbuchtungen ergeben sich durch eine ungenaue Frequenzerzeugung des Frequenzgenerators.

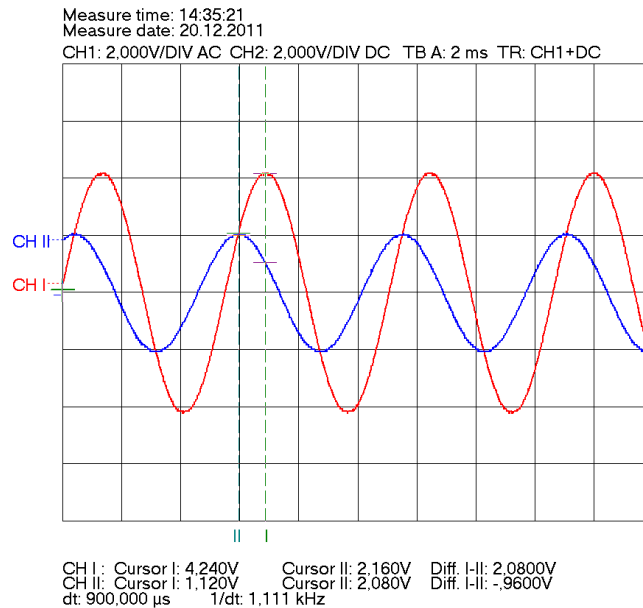
## Aufgabe 2.4: RC-Phasenschieber

In dieser Teilaufgabe haben wir uns mit dem RC-Phasenschieber beschäftigt. Der Aufbau gleich prinzipiell dem des Differenzierglieds mit einer Kapazität  $C = 0,47 \mu\text{F}$  und einem Widerstand  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . Als Eingangssignal wurde ein Sinus mit einer Frequenz dergestalt gewählt, dass sich das Spannungsverhältnis  $u_{a0} = \frac{u_e0}{2}$  ergibt. In der Vorbereitung wurde von uns berechnet, dass dafür die Frequenz  $f = 195,5 \text{ Hz}$  notwendig ist, was zu einer Phasenverschiebung von  $\varphi = -60^\circ$  führt. Dies wird nun mit den experimentell ermittelten Größen verglichen.

Das am Widerstand abgegriffene Ausgangssignal wurde ebenfalls in das Oszilloskop geleitet. Wir haben nun die Eingangsfrequenz solange verändert, bis sich das gewünschte Amplitudenverhältnis ergab. Wir erhielten folgendes Bild:



Die Auswertungssoftware des Oszilloskops lieferte uns eine Periodendauer der Schwingung von  $T = 5,560 \text{ ms}$ , was einer Frequenz von  $f_{exp} = 179,856 \text{ Hz}$  entspricht. Für die Berechnung der Phasenverschiebung machten wir ein zweites Bild



aus dem sich eine zeitliche Differenz  $\Delta t = -900,000 \mu\text{s}$  zwischen den Peaks des Eingangs- und Ausgangssignals ergab. Damit lässt sich die experimentelle Phasenverschiebung berechnen:

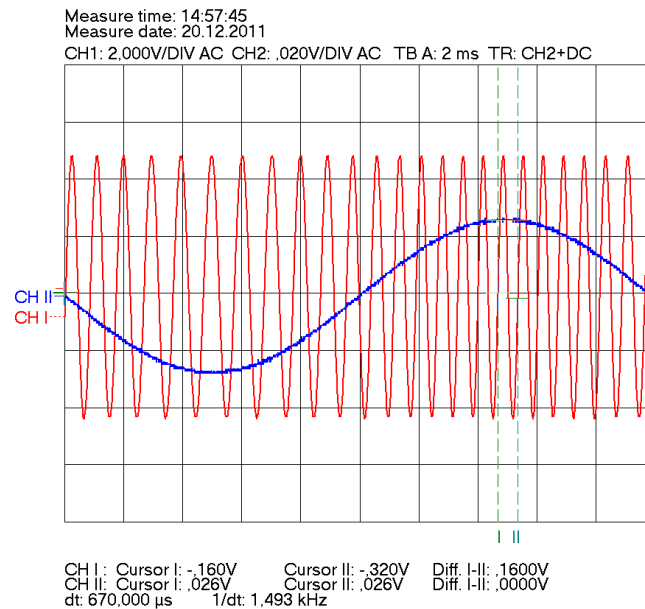
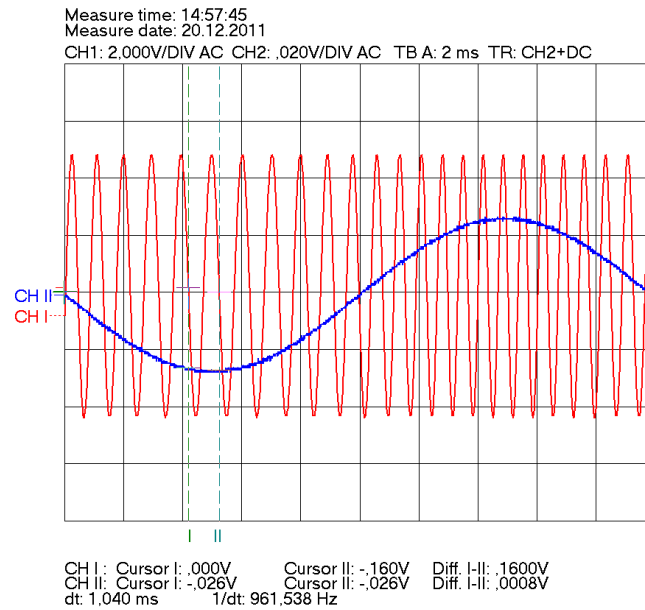
$$\varphi_{exp} = \frac{\delta t}{T} \cdot 360^\circ = \frac{-900,000 \mu\text{s}}{5,560 \text{ ms}} \cdot 360^\circ = -58,273^\circ$$

Es zeigt sich, dass die experimentell bestimmte Phasenverschiebung ebenfalls sehr gut mit der vorher berechneten übereinstimmt.

## Aufgabe 2.5: Frequenzmodulierte Schwingung

Die Frequenzmodulation ist eine häufige Anwendung zur Signalübertragung. Es wurde von uns nun eine frequenzmodulierte Schwingung erstellt. Dazu haben wir am Generator 2 eine Sinusspannung mit der Frequenz  $f = 50 \text{ Hz}$  und einem Spitze-Spitze-Wert von  $50 \text{ mV}$  eingestellt und in die Eingangsbuche  $VC_{in}$  des Generators 1 gelegt, welchen wir auf eine Frequenz von  $f = 1,5 \text{ kHz}$  eingestellt haben. Das resultierende Signal wurde an das Oszilloskop weitergeleitet.

Mit Hilfe der Auswertungssoftware haben wir nun die minimale und maximale Periodendauer bestimmt. Es ergaben sich folgende Bilder:



Wir lesen  $T_{max} = 1,040 \text{ ms}$  und  $T_{min} = 670,000 \mu\text{s}$  ab. Über die Momentankreisfrequenz  $\Omega(t)$  können wir den Kreisfrequenzhub  $\Delta\omega$  bestimmen. Aus

$$\Omega_{max} = \Omega_0 + \Delta\omega \quad \Omega_{min} = \Omega_0 - \Delta\omega$$

folgt:

$$\Delta\omega = \left( \frac{1}{T_{min}} - \frac{1}{T_{max}} \right) \pi = \left( \frac{1}{670,000 \mu\text{s}} - \frac{1}{1,040 \text{ ms}} \right) \pi = 1668,182 \text{ Hz}$$

Daraus ergibt sich direkt der Frequenzhub  $\Delta f$ :

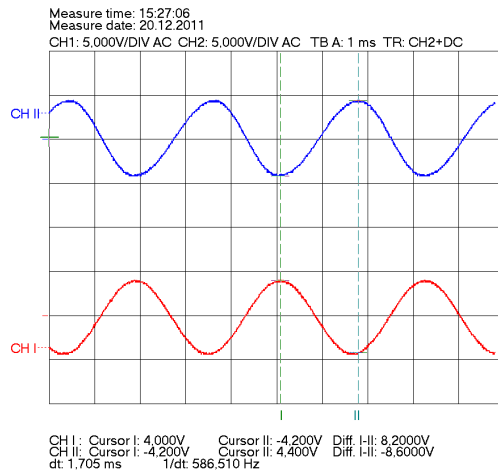
$$\Delta f = \frac{\Delta\omega}{2\pi} = 265,499 \text{ Hz}$$



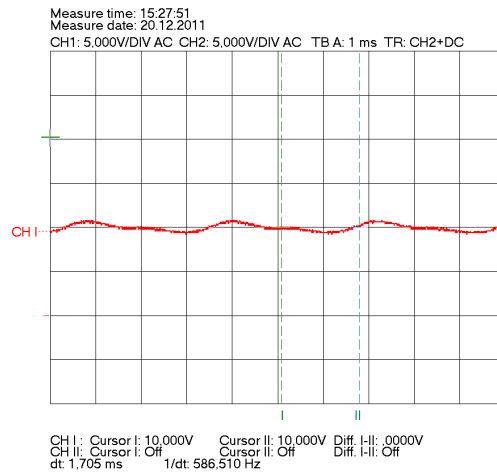
## Aufgabe 2.6 - Addieren und Subtrahieren

Über die ADD-Funktion des Combiscopes konnten wir zwei Signale addieren. Durch das Negieren eines Eingangs konnte man subtrahieren. Wir haben dies für einige verschiedene Szenarien durchgeführt.

Gleiche Frequenz, gleiche Amplitude:



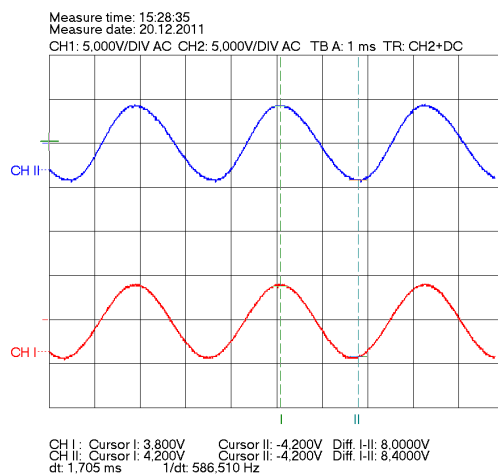
(a) die einzelnen Signale



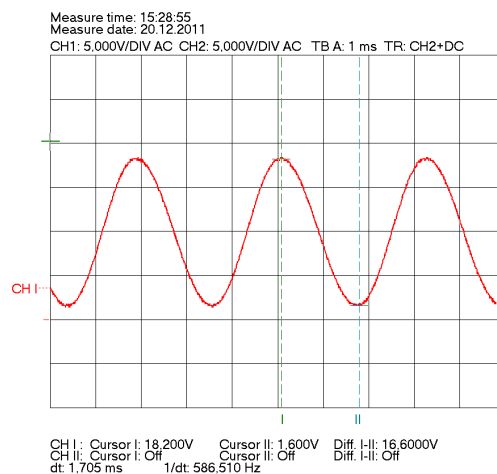
(b) Addition

Wie zu erwarten war, löschen sich die beiden Signale fast vollständig aus.

Gleiche Frequenz, gleiche Amplitude, CHII invertiert:



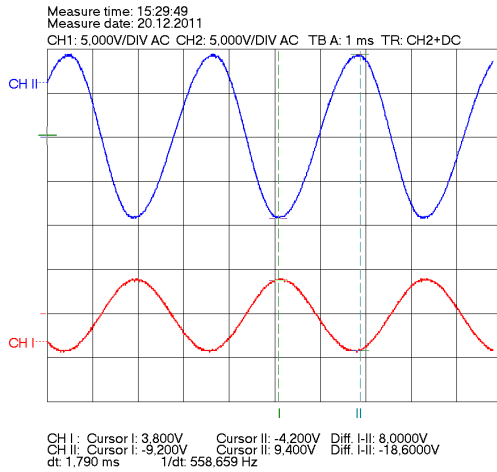
(c) die einzelnen Signale



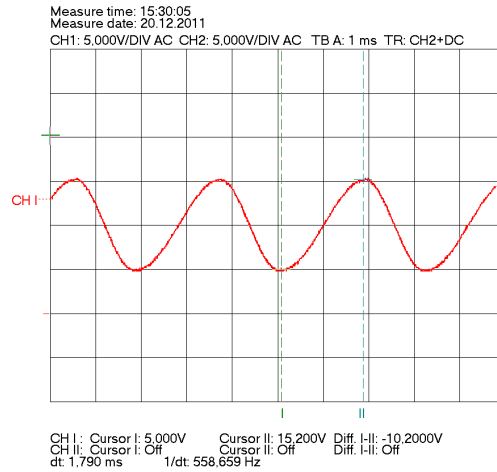
(d) Addition

Hier sind die beiden Signale in Phase, die Addition verdoppelt die Amplitude.

Gleiche Frequenz, CHII mit doppelter Amplitude:

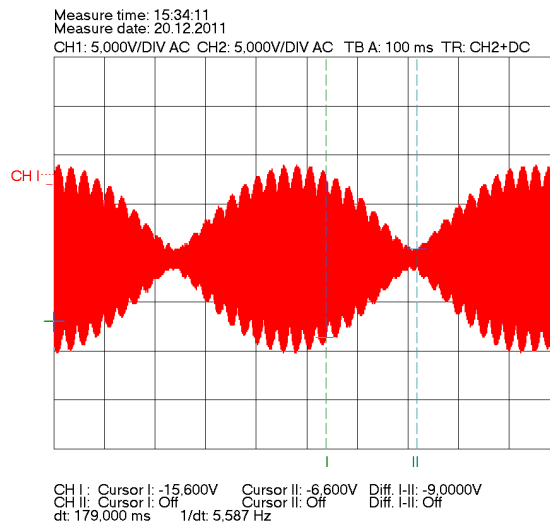


(e) die einzelnen Signale



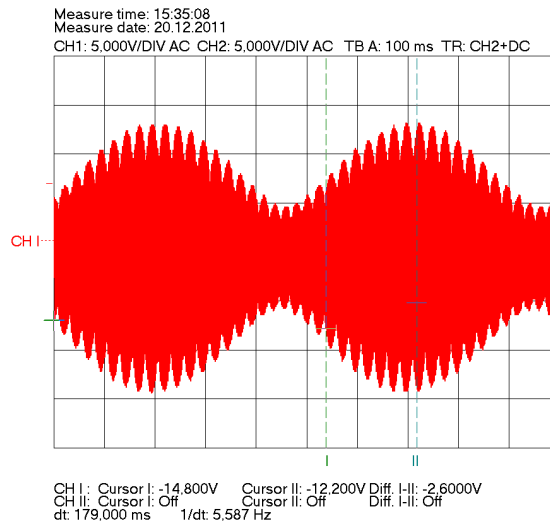
(f) Addition

Leicht unterschiedliche Frequenzen, gleiche Amplitude:



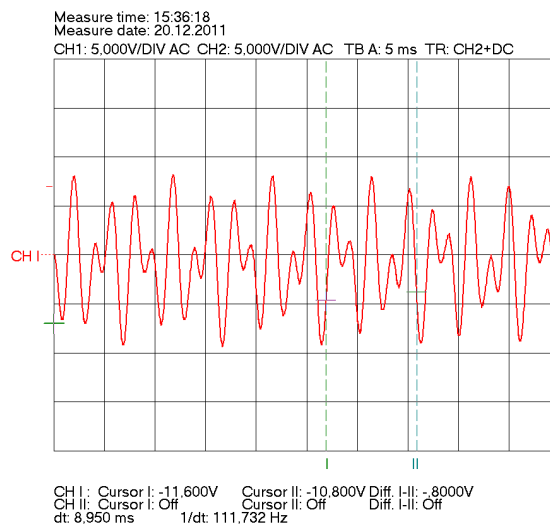
Hier kam es zu Schwebungen des Additionssignals. Da die Amplituden der Eingangssignale jedoch gleich waren, gibt es Bereiche, in denen das Ausgangssignal fast 0 ist.

Leicht unterschiedliche Frequenzen, unterschiedliche Amplituden:



Hier sind die Amplituden unterschiedlich, daher kommt es nicht mehr zur vollständigen Auslöschung des Ausgangssignals. Wie zuvor auch ist hier die Schwebung gut zu sehen.

Stark unterschiedliche Frequenzen, unterschiedliche Amplituden:



Es ist zwar noch eine gewisse Periodizität, allerdings kein deutliches Muster mehr zu erkennen. Die vorhandenen Schwebungen sind sehr unscharf.

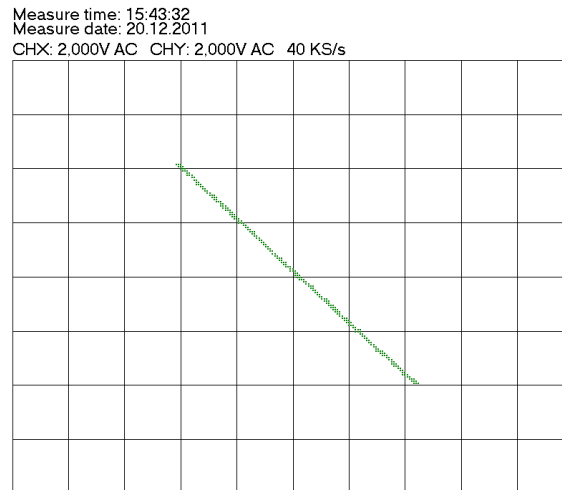
## Aufgabe 3: X-Y-Darstellung

Wie bereits in der Einführung zum Oszilloskop angesprochen, lassen sich im X-Y-Betrieb zwei Eingangskanäle gegeneinander auftragen. Damit entfällt die zeitliche Darstellung, allerdings lassen sich so andere Beobachtungen und Messungen durchführen. Dieser Modus wurde für die folgenden Versuche verwendet.

### Aufgabe 3.1 - Lissajous-Figuren

Wir nutzten die Eingangssignale der Generatoren 1 und 2 und ließen diese im X-Y-Modus am Oszilloskop darstellen. Dabei verwendeten wir ähnliche Signale wie in Aufgabe 2.6. Im Folgenden sind die beobachteten Lissajous-Figuren bei verschiedenen Frequenz- und Amplitudenverhältnissen dargestellt, sowie die Phasenverschiebung  $\varphi$  angegeben.

Gleiche Frequenz, gleiche Amplitude;  $\varphi = \pi$ :



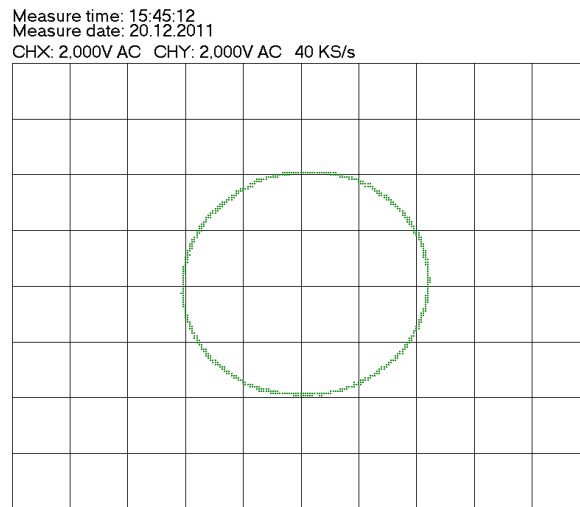
Gleiche Frequenz, unterschiedliche Amplitude;  $\varphi = \pi$ :



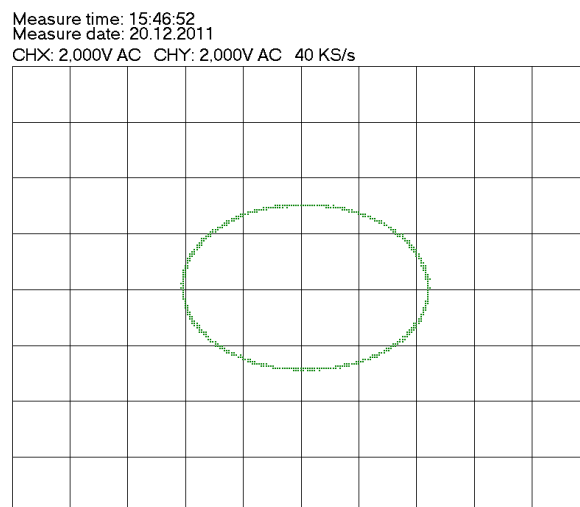
Bei verschiedenen Amplituden, jedoch mit Phasenverschiebung von  $\varphi = 0$  oder  $\varphi = \pi$  und gleicher Frequenz erhält man immer eine Gerade, die allerdings je nach Amplitudenverhältnis verschiedene Stei-

gungen hat.

Gleiche Frequenz, gleiche Amplitude;  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ :



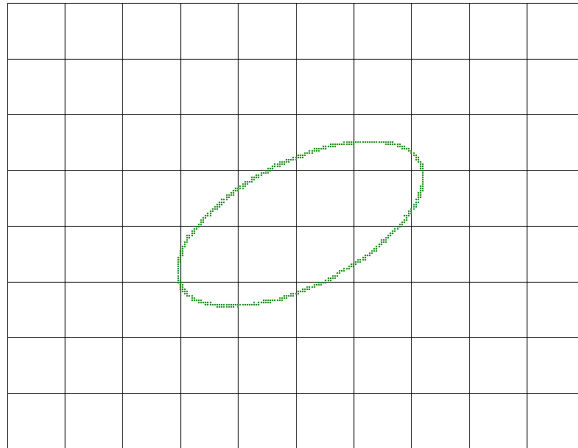
Gleiche Frequenz, unterschiedliche Amplitude;  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ :



Hier erhielten wir bei gleicher Frequenz und gleicher Amplitude einen Kreis, bei unterschiedlicher Amplitude eine Ellipse, bei welcher jedoch die Halbachsen direkt auf den Koordinatenachsen lagen.

Gleiche Frequenz, unterschiedliche Amplitude;  $\varphi = \frac{\pi}{4}$ :

Measure time: 15:51:51  
Measure date: 20.12.2011  
CHX: 2.000V AC CHY: 2.000V AC 40 KS/s

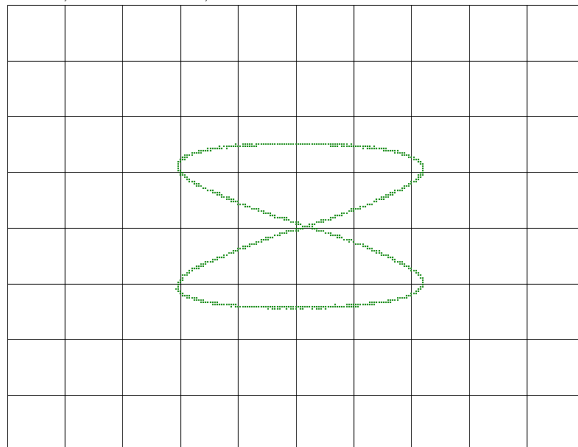


Bei gleicher Frequenz der Eingangssignale und einer Phasenverschiebung von  $\varphi = \frac{\pi}{4}$  erkennt man im X-Y-Betrieb eine gedrehte Ellipse. Die Schiefelage der Halbachsen hängt vom Verhältnis der Amplituden ab. Bei gleichen Amplituden liegen die Halbachsen genau auf den Winkelhalbierenden der Koordinatenachsen.

Bei Frequenzverhältnissen, die von 1:1 abweichen, stellen sich komplexere Figuren ein, wie nachfolgend zu sehen ist.

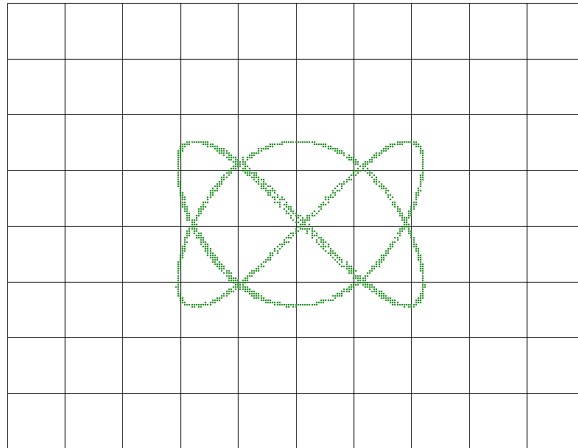
Frequenzverhältnis (2:1), unterschiedliche Amplitude;  $\varphi = 0$ :

Measure time: 15:51:14  
Measure date: 20.12.2011  
CHX: 2.000V AC CHY: 2.000V AC 40 KS/s



Frequenzverhältnis (2:3), unterschiedliche Amplitude;  $\varphi = 0$ :

Measure time: 15:49:35  
Measure date: 20.12.2011  
CHX: 2.000V AC CHY: 2.000V AC 40 KS/s

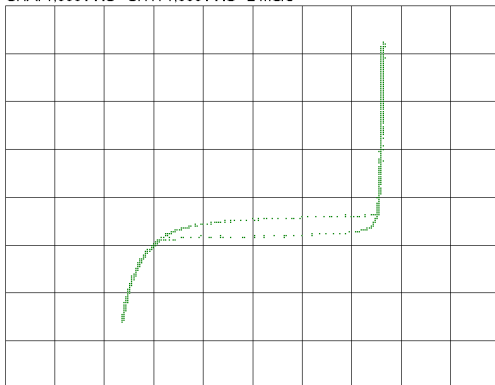


### Aufgabe 3.2 - Kennlinien

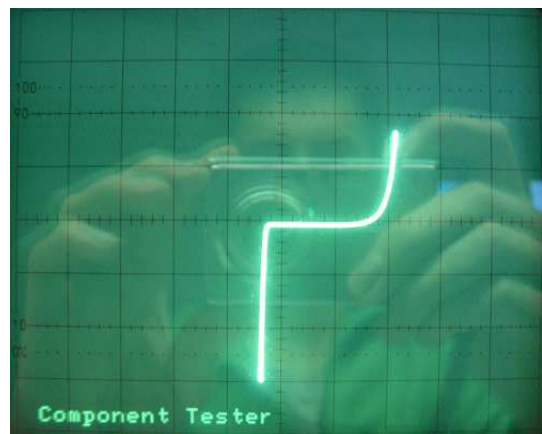
Zur Bestimmung der Kennlinien einer Zener-Diode und eines Kondensators wurde ein Aufbau entsprechend Schaltung 1 des Aufgabenblatts gewählt. Zum Vergleich sollte die Kennlinie außerdem noch mit dem Komponententester des Oszilloskops bestimmt werden. Da die Bilder des Komponententesters nicht digital gespeichert werden konnten, entschieden wir uns dafür, Fotos vom Schirm des Oszilloskops zu machen.

#### Zener-Diode

Measure time: 16:06:23  
Measure date: 20.12.2011  
CHX: 1.000V AC CHY: 1.000V AC 2 MS/s



(g) Schaltung 1



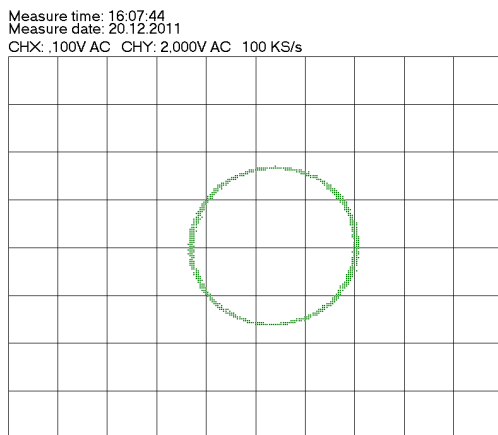
(h) Komponententester

Wie von uns zuvor erwartet, schaltet die Diode in Durchlassrichtung erst ab einer Schwellspannung durch und leitet in Sperrrichtung beim Erreichen der Zenerspannung. Im Vergleich der beiden Bilder (g) aus

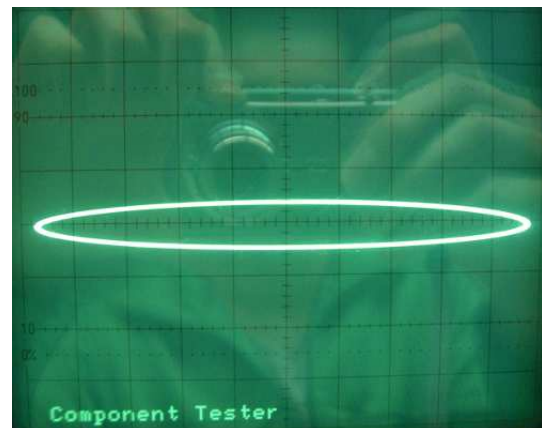
der Schaltung 1 sowie (h) direkt aus dem Komponententester des Oszilloskops stellt man fest, dass das Bild (h) um  $180^\circ$  gedreht ist. Das liegt daran, dass wir die Zenerdiode hier falsch herum eingebaut haben, weshalb sich der Sperrbereich nach rechts und der Durchlassbereich nach links durchzieht, also genau umgekehrt, wie es bei (g) der Fall ist.

### Kondensator mit $C = 0,47 \mu\text{F}$

Entgegen unseren Erwartungen stellte sich der verwendete Kondensator als ziemlich "ideal" heraus. Die Kennlinie entsprach daher relativ genau einen Kreis. Dieser beschreibt die Lade- und Entladevorgänge des Kondensators.



(i) Schaltung 1



(j) Komponententester

Im Vergleich zum Bild (i) aus der Schaltung 1 erkennt man beim Komponententester-Bild (j) eher eine Ellipse als einen schönen Kreis. Das liegt daran, dass der Komponententester des Oszilloskops die Skalierung der  $x$ - und  $y$ -Achsen übernimmt. Bei geeigneter Wahl der Skalierung würde sich wie links im Bild ein annähernd kreisrundes Abbild ergeben.

## Aufgabe 4: Speichern eines Einmalvorgangs

Das Speichern eines Einmalvorgangs ist einer der Vorteile des im Versuch verwendeten Combiscopes. Es wurde der Spannungsverlauf des Entladevorgangs eines Kondensators mit  $C = 0,47 \mu\text{F}$  über den Eingangswiderstand des Oszilloskops, sowie über den Eingangswiderstand des Tastkopfes beobachtet. In der Vorbereitung wurde bereits gezeigt, dass die Spannung exponentiell abnimmt. Dies konnten wir im Experiment bestätigen. Durch Umstellen von  $U(t)$  nach  $R$  erhalten wir:

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{t}{\ln\left(\frac{U_0}{U(t)}\right) \cdot C}$$

Damit lässt sich der Eingangswiderstand des Oszilloskops bzw. der des Tastkopfes berechnen. Über die Graphen der Spannungsverläufe haben wir  $U_0$ , sowie die Zeit  $t_e$ , bei welcher die Spannung auf  $\frac{1}{e}$

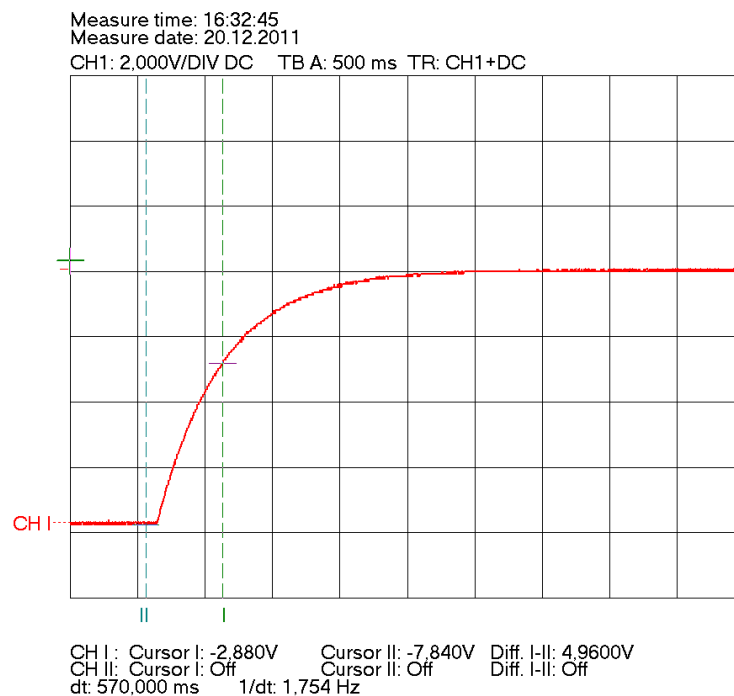


abgefallen ist, bestimmt. So ergibt sich der Widerstand  $R$  zu

$$R = \frac{t_e}{C}$$

### Aufgabe 4.1 - Eingangswiderstand des Oszilloskops

Es ergab sich auf dem Oszilloskop das nachfolgende Bild. Es ist dabei zu beachten, dass dieses eigentlich an der  $x$ -Achse gespiegelt werden müsste, denn in Wirklichkeit wurde der Kondensator mit einer positiven Spannung aufgeladen, welche dann beim Entladen gegen Null läuft. Das Abbild auf dem Oszilloskop entspricht also dem Inversen eines realen Entladevorgangs und könnte durch Spiegelung an der  $x$ -Achse in ein solches überführt werden.



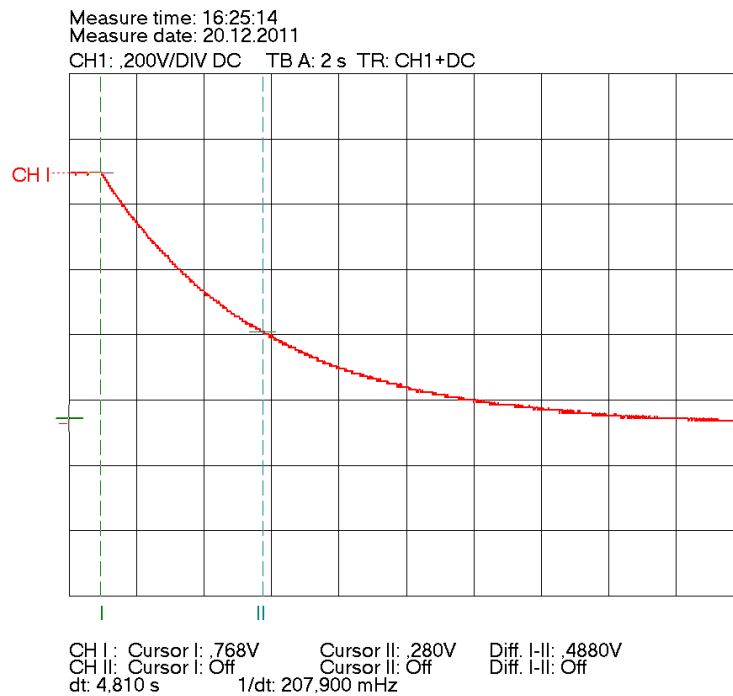
Aus dem Graphen lässt sich  $U_0 = -7,840 \text{ V}$  ablesen und damit  $U(t_e) = -2,880 \text{ V}$  berechnen. Cursor II haben wir hier leider nicht direkt auf den Beginn der Entladung gesetzt, aber über die Skalierung des Koordinatensystems und einem geeigneten Grafikprogramm kann man  $t_e = 487,5 \text{ ms}$  dennoch recht genau bestimmen. Damit ergibt sich der Eingangswiderstand  $R_O$  des Oszilloskops zu

$$R_O = 1,037 \text{ M}\Omega$$

Im Vergleich mit der Herstellerangabe  $(R_O)_{\text{Hersteller}} = 1 \text{ M}\Omega$  haben wir eine relative Abweichung von 3,57%.

### Aufgabe 4.2 - Eingangswiderstand des Tastkopfes

Abschließend wurde der Entladevorgang über den 1:10-Tastkopf des Oszilloskopes durchgeführt. Dabei ergab sich folgende Entladekurve:



Aus dem Graphen kann wieder  $U_0 = 0,786 \text{ V}$  und  $t_e = 4,810 \text{ s}$  abgelesen werden. Im Vergleich zu Aufgabe 4.1 erkennen wir hier eine 1 : 10-Untersetzung der Spannung auf dem Oszilloskop. Das liegt daran, dass der Tastkopf einen nachfolgend berechneten Eingangswiderstand besitzt, welcher das Spannungssignal um etwa ein Zehntel reduziert. Wir erhalten schließlich für den Eingangswiderstand des Tastkopfes

$$R_T = 10,234 \text{ M}\Omega$$

Laut Aufgabenblatt beträgt  $(R_T)_{\text{Hersteller}} = 10 \text{ M}\Omega$ . Auch dieser Wert wurde mit einer Abweichung von 2,29% relativ genau bestimmt.