



SS/WS 20.11./12

Praktikum: (P1/P2) (Mo/Di/Mi/Do) Gruppe-Nr: 2

Name: Koppenhöfer Vorname: Albertin

Name: Eisenhardt Vorname: Sebastian

Versuch: Oszilloskop (mit/ohne) Fehlerrechnung

Betreuer: Timo Bückmann Durchgeführt am: 14.11.11

Abgabe am: 27.11.11

Rückgabe am: .....	Begründung:
--------------------	-------------

2. Abgabe am: .....

Ergebnis: (+ / 0 / -)	Fehlerrechnung: ja / nein
Datum: 27.11.11	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:

$$u(t) = u_0 \cdot \sin\varphi(t) = u_0 \cdot \sin(\Omega_0 \cdot t + (\Delta\omega / \omega) \cdot \sin\omega t + \varphi_0).$$

( $u_0$  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 =  $\Omega(t) = d\varphi/dt = \Omega_0 + \Delta\omega \cdot \cos\omega t$ .

**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.

**Computer-Interface:**

Das Oszilloskop ist ausgestattet mit einer RS232-Schnittstelle, die eine vollständige Fernbedienung des Oszilloskops und die Signalübertragung zum Computer ermöglicht. Das dazugehörige Programm wird durch die **SP107-Verknüpfung** aufgerufen.

Die nützlichsten Eigenschaften: Das Oszilloskopbild wird am Computerbildschirm reproduziert und kann auf dem Drucker ausgedruckt werden. Außerdem kann die Folge der Bildpunkte samt allerlei Zusatzinformation in eine EXCEL-Datei geschrieben werden.

**Zubehör:**

**50MHz-Zweikanal-CombiScope HAMEG 507** (Handbuch in der Vorbereitungsmappe und am Platz)

**Generator 1:** Typ KH 1000 oder KH 1200 (1Hz bis 3MHz; Skaleneichung  $\pm 20\%$ ;  $\leq 21V_{ss}$  Ausgangsspannung; Sinus / Dreieck / Rechteck; VCO (Voltage controlled Oscillator), d.h. die Frequenz ist um eine eingestellte Frequenz herum durch eine Steuerspannung  $CV_{in}$  veränderlich)

**Generator 2:** Typ AG 761 oder SRG 418 (mindestens 20Hz bis 100kHz; Skalenteilung  $\pm 2\%$ ;  $\leq 20V_{ss}$  Sinus;  $\leq 12V_{ss}$  Rechteck; synchronisierbar)

**Steckbrett** zum Zusammenstecken der Schaltungen

**Steckelemente:** Si-Diode; 4V-Z-Diode;  $1k\Omega \pm 5\%$ ;  $6,8k\Omega \pm 2\%$ ;  $20k\Omega \pm 5\%$ ;  $1M\Omega \pm 10\%$ ;  $1nF \pm 10\%$ ;  $0,47\mu F \pm 1\%$ ;  $0,33H \pm 2\%$

**Trenntrafo** (1:1, max  $50V_{ss}$ , max. 5kHz)

verschiedene abgeschirmte Kabel (Koaxialkabel)

verschiedene BNC(Koaxial)-Bananenübergänge

**10:1-Tastkopf** ( $R_e = 10M\Omega$ )

Spannungsversorgung für die Kondensatorladung (Aufg. 4)

**PC zur Datenerfassung**

**Literatur:**

Czech: *Oszillographen-Messtechnik*

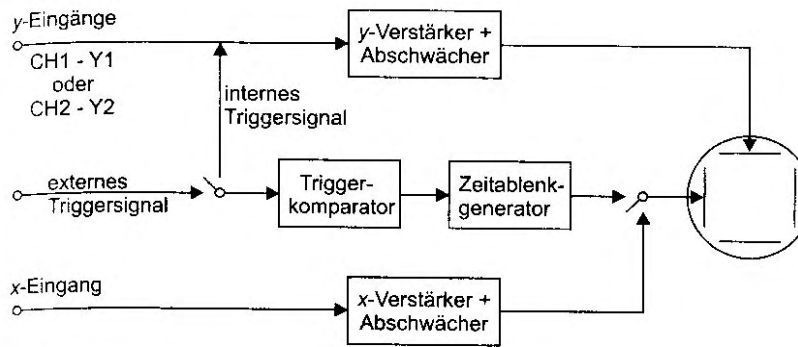
Carter, Schanz: *Kleine Oszillographenlehre*

Beerens, Kerkhofs: *101 Versuche mit dem Oszillographen*

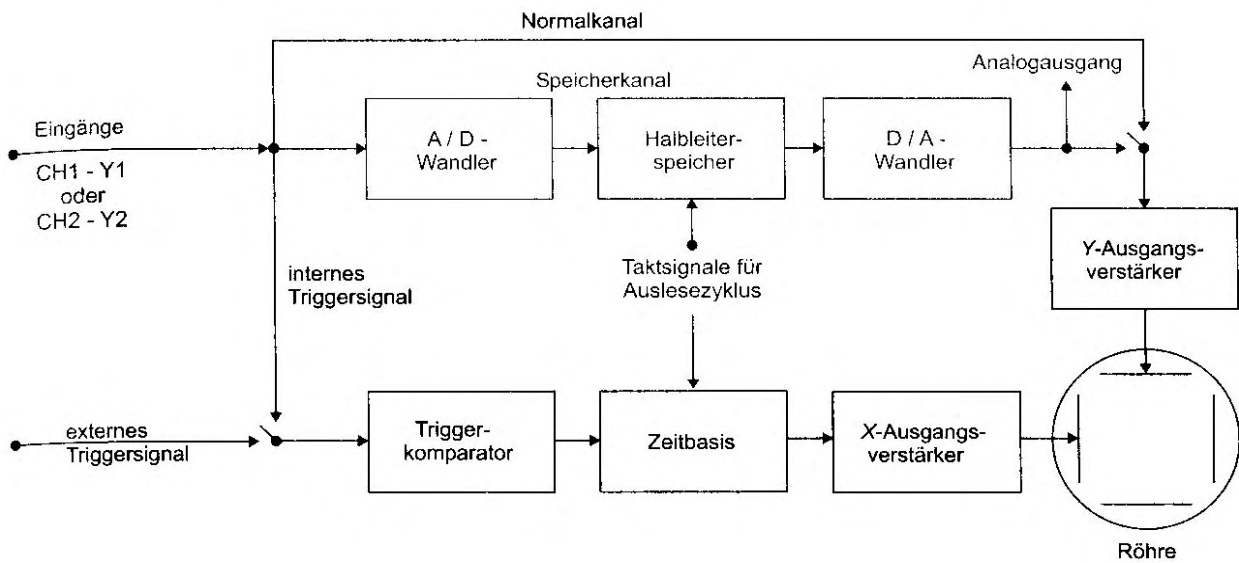
Bigalke: *Messtechnik des Elektronenstrahloszillographen*

Firma HAMEG: Bedienungsanleitung für das HAMEG-Oszilloskop 507

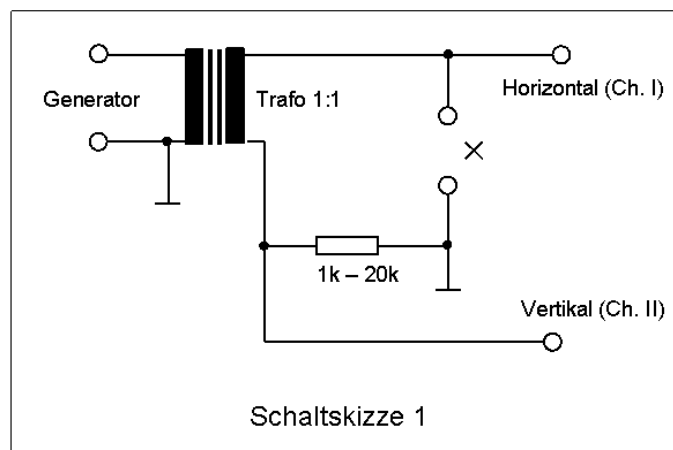
Firma HAMEG: Auszug aus der Beschreibung der 'Oscilloscope Software SP107'



Blockschaltbild eines Analogoszilloskops



Blockschaltbild eines Digitaloskops



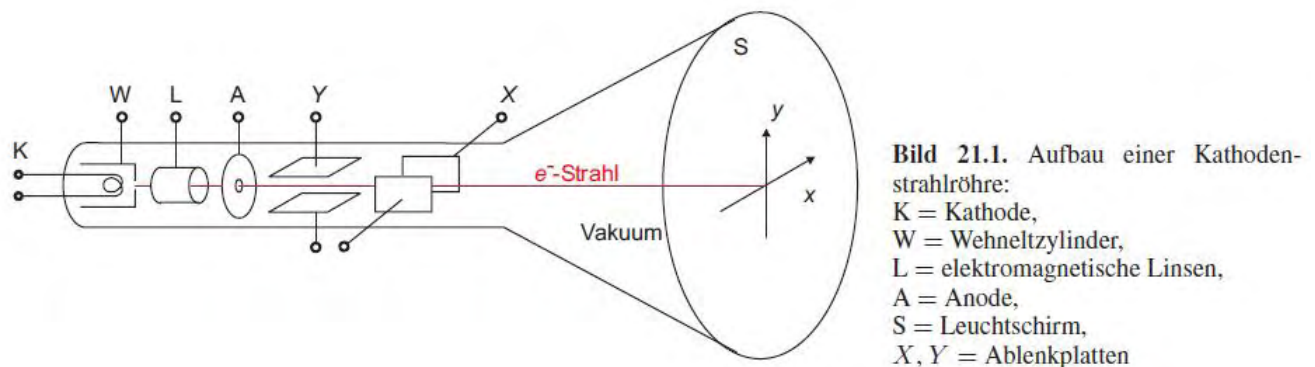
# Schriftliche Vorbereitung zu den Praktikumsversuchen P1-32

Sebastian Eisenhardt, Gruppe 2

13. November 2011

## 0 Einleitung

In diesem Versuch soll das Oszilloskop als Messinstrument eingeführt werden. Dabei handelt es sich grob um eine Braunsche Kathodenstrahlröhre, die Elektronen auf einen Schirm abbildet.



Kathodenstrahlröhre mit ihren wichtigsten Bauteilen <sup>1</sup>

Zunächst werden Elektronen aus der Kathode emittiert, vom Wehneltzylinder und durch die elektromagnetischen Linsen fokussiert und die Intensität des auf dem Schirm entstehenden Leuchtflecks gesteuert. Mittels der Ablenplatten (Kondensatoren) lässt sich die Bahn des Elektronenstrahls nun gezielt beeinflussen, je nachdem welche Spannung an die Platten angelegt wird.

Im Oszilloskop findet die Kathodenstrahlröhre ihren Platz als Bilderzeuger. Je nachdem wie die Röhre modifiziert ist, ist es möglich sogar mehrere Strahlen unabhängig voneinander abzubilden, direkt Amplitudengrößen abzulesen oder sich durch einen Spannungssignalgenerator, der an das Oszilloskop angeschlossen werden kann, verschiedene Kurven in unterschiedlichen Anzeigevarianten darstellen zu lassen.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen analogen und digitalen Oszilloskopen: Analoge Geräte verwenden Verstärker und Dämpfer für die Eingangssignale, die die Ablenkung des Strahls in y-Richtung zusammen mit einer Zeitablenkungseinheit, die je nach gewünschter Anzeige, den Elektronenstrahl in x-Richtung auslenkt und an die Ausgangsposition "zurückgesetzt" werden kann. Die Zeitablenkungsspannung die dazu notwendig ist, wird dabei zeitlich zusätzlich durch einen Trigger geregelt auf den wir später näher eingehen. Weiterhin spielt die Signalverarbeitungsbandbreite, die die minimale und maximale Frequenz eines Eingangssignals, bei welcher die Amplitude um 3 dB gesenkt wird, eine Rolle.

Das digitale Oszilloskop ist vom Darstellungsprinzip identisch mit dem analogen, allerdings sind mehrere Bauteile ergänzt worden um das analoge Signal in ein digitales umzuwandeln. Dies bietet den Vorteil, dass die ermittelten Spannungen bspw. abgespeichert, digital ausgelesen und somit für eine spätere Analyse erhalten bleiben. Außerdem wird das Signal nicht mehr direkt angezeigt, sondern durch Abtastung in bestimmten Zeitintervallen (üblicherweise Megasamples pro Sekunde) reproduziert. Hierbei muss das Abtasttheorem erfüllt sein, welches besagt, dass die Abtastrate

<sup>1</sup>aus: Eichler, Kronfeldt, Sahn: Das neue Grundpraktikum, 2. Auflage 2006; S. 217

größer als die doppelte Höchsfrequenz des Signals sein muss, um zuverlässige Werte auszugeben. Wie bereits angedeutet, lassen sich durch das Oszilloskop Spannungen und Spannungsverläufe der Eingangssignale indirekt über den Elektronenstrahl abbilden und quantifizieren.

## 1 Kennenlernen der Bedienelemente

Weiterhin soll nun auf das in den Versuchen zu verwendende Gerät, das HAMEG HM507, eingegangen werden. Dabei handelt es sich um ein sog. Combiscope, welches die in 0 beschriebenen Speicher- und Analysefunktionen abdeckt und sowohl analog als auch digital betrieben werden kann.



Bedienoberfläche mit den wichtigsten Schaltern <sup>2</sup>

In der Grafik sind nun die für die durchzuführenden Versuche wichtigen Schalter markiert. Über den **Dreh­schalter 1** wird die bereits angesprochene Zeitablenkung zu einem bestimmten Zeitpunkt geregelt. Üblicherweise lässt man den Strahl am linken Bildrand "loslaufen", d.h. die Zeitablenkungsspannung  $U_{ta}$  ist minimal. Je nachdem in welche Richtung der Drehschalter nun gedreht wird, verlängert oder verkürzt man die Zeit  $\tau$  nach der das anwachsende  $U_{ta}$  wieder auf ihr Minimum gesetzt wird und das Bild somit erneut am linken Bildrand beginnt.  $U_{ta}$  verhält sich linear und lässt sich dadurch im Betrieb durch eine sog. "Sägezahnspannung" darstellen:

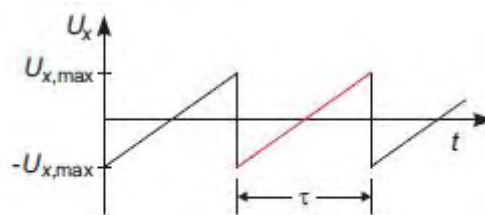


Bild 21.4. Sägezahnspannung als Zeitablenkungsspannung in einem Oszilloskop <sup>3</sup>

Über die **Schalter 2** und **3** lässt sich nun der Trigger regeln durch den ein scheinbar stehendes Bild auf dem Schirm erzeugt werden kann. Das Triggersignal aktiviert den Spannungsverlauf von  $U_{ta}$ . Man spricht nun von einer getriggerten Zeitablenkung.

Hierzu gibt es mehrere Einstellungsparameter: Der Trigger-Level definiert mittels des **Drehstellers 2** eine Eingangssignalspannung  $U_y$  zu der das Triggersignal ausgelöst wird. D.h. jedes Mal, wenn die festgelegte  $U_y$  erreicht wird, beginnt das Bild von neuem am linken Bildrand um nach  $\tau$  wieder zurückgesetzt zu werden. Wird  $U_y$  wieder erreicht, beginnt der Graph von neuem und

<sup>2</sup>aus: HAMEG Instruments: Handbuch zum Oszilloskop HM 507

<sup>3</sup>aus: Eichler, Kronfeldt, Sahn: Das neue Grundpraktikum, 2. Auflage 2006; S. 219

man sieht somit immer dasselbe Bild. Der Druckschalter neben dem Drehsteller schaltet zwischen automatischer und normaler Triggerung um und definiert bei welcher Triggersignalfanke die Triggerung erfolgen soll. Dies ist für periodische Funktionen wie Sinus, Cosinus etc. enorm wichtig, da die Signalwerte während einer Periode zweimal eingenommen werden, allerdings jew. mit positiver sowie negativer Steigung.

Die **Schalter 3** decken die Triggerkopplung ab. Über ein Menü lassen sich hier verschiedene Kopplungsarten auswählen, bspw. die Hochfrequenz- oder Wechselspannungsankopplung. Sie beschreiben, wie das Triggersignal vom Gerät aufgefasst und verarbeitet werden muss.

Die **Drehsteller 4** beziehen sich auf die Eingangssignalempfindlichkeit der Kanäle 1 bzw 2 und regeln welche Ablenkung auf dem Schirm welcher Signalspannung  $U_y$  entspricht.

Schließlich wird über die **Druckschalter 5** neben den Signaleingängen des jew. Kanals die Art der Signalspannung (Wechsel-, Gleichspannung oder Erdung) eingestellt.

Nun soll ein stehendes Bild einer Sinusschwingung auf dem Schirm eingestellt und über die im *Measure* Menü verfügbaren Funktionen vermessen werden. Zur Messung der *Anstiegszeit* verwenden wir die Cursor auf der x-Achse und justieren sie auf einen Punkt für den  $y = 0$  und  $y = max$  ist. Für die *Frequenz* und *Amplitude* nutzen wir die vordefinierten Funktionen. Weiterhin soll ein Signal mit der Frequenz  $10Hz$  betrachtet werden.

## 2 Messungen im Zweikanalbetrieb

Nun soll für unterschiedliche Signale die Darstellung von zwei Graphen gleichzeitig unter Verwendung unterschiedlicher Funktionen erprobt werden. Dies geschieht auf den *Kanälen 1* und *2* Dabei sollen folgende Kombinationen betrachtet werden:

1. Sinussignal und Signal eines Si-Dioden Einweggleichrichters gemäß Aufgabenstellung bei unterschiedlichen Eingangsspannungen
2. Dreieckssignal mit Periodendauer  $T$  und Signal eines  $RC$ -Differenziergliedes bei unterschiedlichen Verhältnissen von  $RC$  und  $T$
3. Rechteckssignal mit Periodendauer  $T$  und Signal eines  $RC$ -Integriergliedes analog zu 2
4. Sinussignal und Signal eines  $RC$ -Phasenschiebers gemäß Aufgabenstellung

Weiterhin sollen verschiedene Funktionen diskutiert werden:

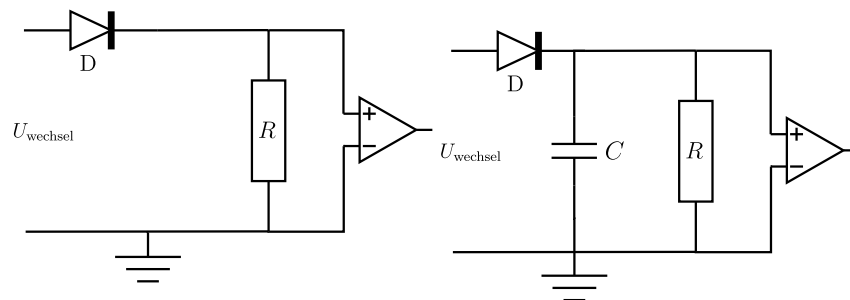
**DUAL:** Hierbei wird auf beiden Kanälen jew. ein Signal eingespeist. Beide werden auf dem Schirm dargestellt und die jeweiligen Daten dazu angezeigt.

**CHOP:** Befindet sich das Oszilloskop im CHOP Modus, so schaltet das Gerät in der Darstellung mit einer hohen Frequenz zwischen Kanal 1 und 2 während der Zeitablenkung  $\tau$  hin und her. Diese Anzeige ist daher nur für vergleichsweise große  $\tau$  sinnvoll.

**ADD:** Liegt an beiden Kanälen ein Signal an, so werden beide addiert und die Summe als Signal ausgegeben.

**TRIG-I/II:** Da keine nähere Information im Handbuch zu finden war, gehen wir davon aus, dass mit dieser Funktion das Triggersignal vom jeweiligen Kanal abgenommen werden kann.

Zu 1: Um das Gleichrichtersignal einspeisen zu können, muss die Schaltung vorher folgendermaßen aufgebaut werden:

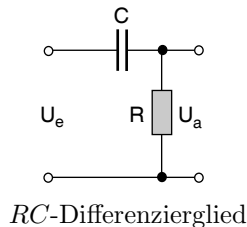


Si-Dioden-Einweggleichrichter ohne (links) und mit (rechts) Ladekondensator



Die Untersuchung des Unterschiedes zwischen beiden Schaltungen soll bei unterschiedlichen  $V_{SS}$  (Amplitude zwischen beiden Spitzen) mit  $V_{SS} = 0, 5V; 1V; 8V$  erfolgen.

Zu 2: Für das Schaltbild des  $RC$ -Differenziergliedes gilt:



Wobei  $U_e$  die Eingangs- und  $U_a$  die Ausgangsspannung, die in das Oszilloskop eingespeist wird, seien. Im folgenden soll nun Wechselspannung betrachtet werden, welche mithilfe der Kirchhoffschen Regeln in einem Schaltkreis nur umständlich zu ermitteln ist. Als Vereinfachung rechnet man mit Impedanzen (Scheinwiderstände), die frequenzabhängig sind. Dies begründet man über den Ansatz für die Stromstärke  $I: I = I_0 \cdot e^{i\omega t}$ , welche mit der Periodendauer  $T$  schwankt. Setzt man diesen Ansatz in die Gleichung  $Q = C \cdot U_C$  ein und löst für  $\frac{dQ}{dt} = I$  nach  $U_C$  auf, erhält man:

$$U_C = \frac{1}{i\omega C} \cdot I$$

D.h. für niedrige Frequenzen "fällt" der Großteil der Spannung am Kondensator mit der Kapazität  $C$  ab. Analog lässt sich die Gleichung für  $U_R$  aufstellen und es ergibt sich, dass für niedrige Frequenzen nur ein vernachlässigbar kleiner Teil am Widerstand  $R$  abfällt.

Aufgrund der Näherung  $U_C \approx U_e$  erhält man:

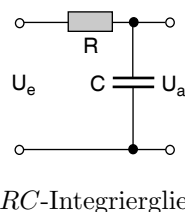
$$\frac{dQ}{dt} = I \approx C \cdot \frac{dU_e}{dt}$$

und eingesetzt in  $U_R = R \cdot I$

$$U_R = R \cdot C \cdot \frac{dU_e}{dt}$$

mit  $U_R = U_a$ , weswegen wir von einem Differenzierer sprechen können. Durch die Dämpfung von ausschließlich niedrigen Frequenzen (unterhalb der sog. Grenzfrequenz der elektronischen Bauteile) wird der Schaltkreis durchlässig für höherfrequente Spannungen. Daher spricht man auch von einem *Hochpass*.

Zu 3: Ein  $RC$ -Integrierglied folgt diesem Aufbau:



Im Unterschied zum Differenzierer wird nun die Spannung, die am Kondensator anliegt als Ausgangsspannung in das Oszilloskop eingespeist. Daher gilt wie in 2.2:  $U_C \approx U_e$  woraus für niedrige Frequenzen folgt, dass  $U_a \approx U_e$ .

Somit ergibt sich aus den bereits verwendeten Gleichungen für hohe Frequenzen und mit  $U_e = R \cdot I$ :

$$\frac{U_e}{R} = C \cdot \frac{dU_C}{dt}$$

$$U_C = \frac{1}{RC} \int U_e dt$$

mit  $U_C = U_a$ , weswegen wir von einem Integrierer sprechen können. In diesem Fall werden die hochfrequenten Spannungen herausgefiltert und es ergibt sich die Bezeichnung *Tiefpass*.

Zu 4: Die in der Aufgabenstellung beschriebene Schaltung entspricht dem Differenzierer. Wir wählen  $I = I_0 e^{i\omega t}$  und setzen in die Bauteilgleichungen ein:

$$U_C = \left( \frac{I}{i\omega C} \right) \text{ und } U_R = R \cdot I$$

Dann folgt:

$$U_e = \left( \frac{1}{i\omega C} + R \right) I$$

Mit  $U_a = R \cdot I$  ergibt sich:

$$U_a = \left( \frac{R}{\frac{1}{i\omega C} + R} \right) \cdot U_e \quad (1)$$

Setzt man  $|U_a| = \frac{1}{2} \cdot |U_e|$  in obige Gleichung ein, lässt sich nach  $\omega$  auflösen:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot C \cdot R}$$

Setzt man die gegebenen Wert für  $C$  und  $R$  ein und multipliziert mit  $2\pi$ , so erhält man die Frequenz  $f \approx 195,5 \text{ Hz}$  der Sinusschwingung.

Die Phasenverschiebung beträgt somit nach 1:

$$\phi = \arctan \left( \frac{1}{\omega C R} \right) \approx 60^\circ$$

## 2.5 Darstellung einer frequenzmodulierten Schwingung

Eine Schwingung soll nun über einen zwischengeschalteten Generator in ihrer Frequenz moduliert werden. Dabei gilt folgende Formel:

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

wobei die genannten Größen ihrer Bezeichnung auf dem Aufgabenblatt entsprechen. Nun soll der Frequenzhub  $\Delta\omega$  bestimmt werden. Dazu wird der automatische Trigger auf einen Levelwert nahe dem Nulldurchgang gewählt. Nun sollten sich höherfrequentere und niederfrequentere Anteile der Schwingung abwechseln, die die Momentanfrequenzen  $\Omega(t) = \Omega_0 + \Delta\omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$  aufweisen. Mittels der *Cursor Measure-Funktion* vergleicht man nun die Periodendauer beider Anteile und errechnet daraus  $\Delta\omega$ .

## 2.6 Addieren und subtrahieren zweier Schwingungen

Mithilfe der *ADD* und *INVERT* Funktion sollen nun zwei Schwingungen addiert bzw. subtrahiert und die resultierende betrachtet werden, wobei folgende Schwingungskombinationen eingesetzt werden:

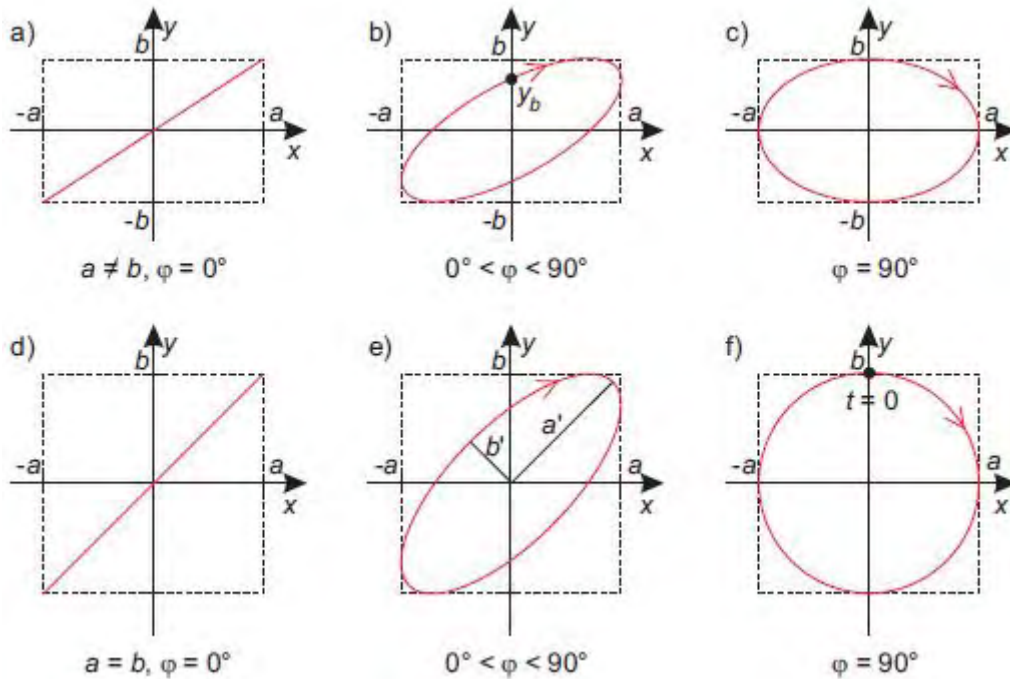
- Signale mit gleicher Amplitude
- Signale mit unterschiedlicher Amplitude
- Signale mit gleicher Frequenz
- Signale mit unterschiedlicher Frequenz
- Signale mit fast gleicher Frequenz

### 3 X-Y-Darstellungen

Mithilfe der X-Y Darstellung lassen sich zwei Schwingungen anstatt einer Schwingung, die über die Zeitablenkung auf der x-Achse dargestellt wird, überlagern, d.h. die Zeitablenkung wird durch ein Schwingungssignal ersetzt. Für die folgenden Versuche arbeitet das Oszilloskop in diesem Betriebsmodus.

#### 3.1 Lissajous-Figuren

Überlagert man die Schwingungen aus 2.6, so ergeben sich die sog. *Lissajous-Figuren* auf dem Schirm:

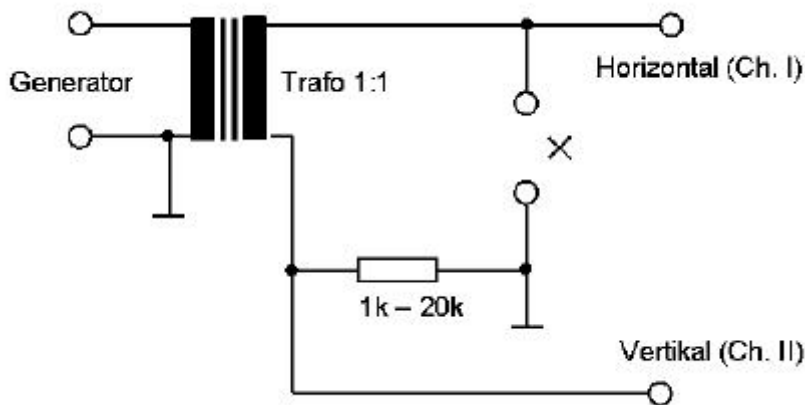


wobei  $a$  und  $b$  für die Amplituden und  $\varphi$  für die Phasenverschiebung der Sinusschwingungen stehen. Bspw. ergibt sich daher für eine Phasenverschiebung von  $\varphi = 90^\circ$  (also eine Sinus- und Cosinusschwingung) und  $a = b$  der bekannte Kreis in Bild  $f$ ).

#### 3.2 Darstellung der Kennlinie

Hier soll nun ein Diagramm auf dem Oszilloskop erstellt werden. Dabei soll die y-Achse mit dem Strom- und die x-Achse mit dem Spannungssignal einer externen Schaltung belegt werden:

<sup>4</sup>aus: Eichler, Kronfeldt, Sahn: Das neue Grundpraktikum, 2. Auflage 2006; S. 222



Zu verwendende Signalschaltung

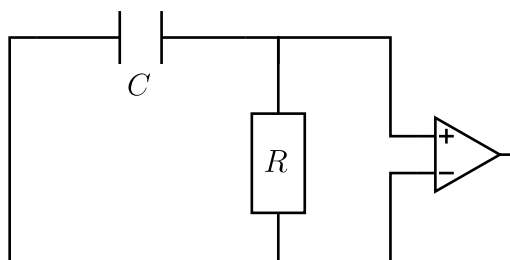
An der mit einem "X" gekennzeichneten Stelle sollen nun unterschiedliche Bauelemente eingesetzt werden: Die **Zener-Diode** ist eine Diode, die unterhalb einer gewissen Durchbruchspannung  $U_D$  den Stromfluss sperrt und oberhalb passieren lässt. Wird  $U_D$  überschritten, so steigt der Stromfluss also stark an, was sich in der Kennlinie vom Nullniveau ausgehend bemerkbar macht. In unserer Schaltung werden also gleichzeitig Spannung an Kanal 1 und indirekt der Strom an Kanal 2 gegen die Erdung gemessen.

Der **Kondensator** bewirkt eine Phasenverschiebung des Stromes zur Spannung, da bei Wechselspannung Entladung und Ladung zeitverzögert ist, was dazu führt, dass die Kennlinie ellipsenartig wird.

Die Option **Komponententester** kann nun die ermittelten Kennlinien selbstständig aufzeichnen und verifizieren.

## 4 Speichern eines Einmalvorgangs

Mithilfe der *Speichern-Funktion* soll nun der Spannungsverlauf bei der Entladung eines Kondensators mit der Kapazität  $0,47\mu F$  über verschiedene Eingangswiderstände des Oszilloskops aufgezeichnet werden. Einmal über den DC-Eingangswiderstand und den des 10:1 Tastkopfes. Es ergibt sich folgendes Schaltbild:



Mit den ermittelten Spannungswerten  $U(t)$  lässt sich nun auf die jeweiligen Widerstände  $R$  schließen:

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

wobei  $U_0$  die vor der Entladung angelegte Spannung ist.

## 5 Quellenverweis

Demtröder: Experimentalphysik 2

Eichler, Kronfeld, Sahn: Das neue physikalische Grundpraktikum

Literatur zum Praktikumsversuch Oszilloskop auf <http://cms-ka.fzk.de/praktikum-restricted/Physiker-Literatur/P1/Literatur-Oszilloskop.htm> abgefragt am 13.11.2011

# Physikalisches Praktikum P1

## Vorbereitung zum Versuch

### Das Oszilloskop als Messinstrument

(P1-32, 33, 34)

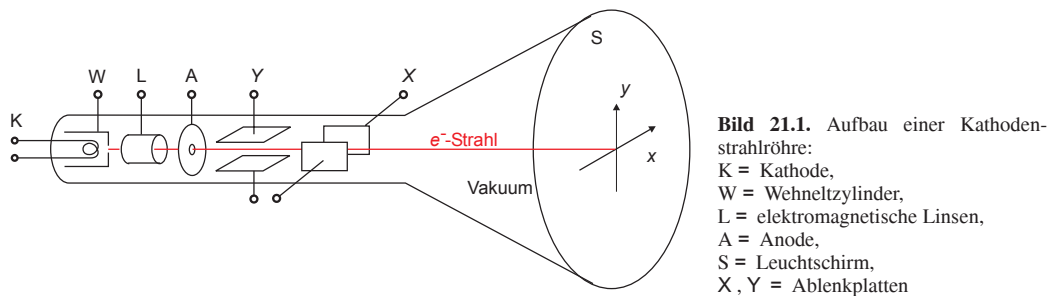
Martin Koppenhöfer  
(Montag-02)

14. November 2011

## 1 Das Oszilloskop

### 1.1 Funktionsweise

Ein Oszilloskop ist ein Messinstrument, das den zeitlichen Verlauf elektrischer Spannungen darstellen kann. Das klassische *Analogoszilloskop* besteht aus einer Braun'schen Röhre, an deren Ablenkcondensatoren in  $y$ -Richtung das zu messende Signal  $U_y$  angelegt wird. In  $x$ -Richtung wird der Elektronenstrahl von einer Sägezahnspannung  $U_S$  gesteuert. Sie lenkt den Strahl regelmäßig von links nach rechts über den Bildschirm, sodass dort der zeitliche Signalverlauf  $U_y(t)$  beobachtet werden kann. Alternativ kann auch am  $x$ -Eingang ein Spannungssignal  $U_x$  angelegt werden ( $X$ - $Y$ -Betrieb), dann lässt sich  $U_y = f(U_x)$  beobachten. Die Auslenkung des Elektronenstrahls an den Kondensatoren erfolgt proportional zur angelegten Spannung.



Schematischer Aufbau eines Oszilloskops<sup>1</sup>

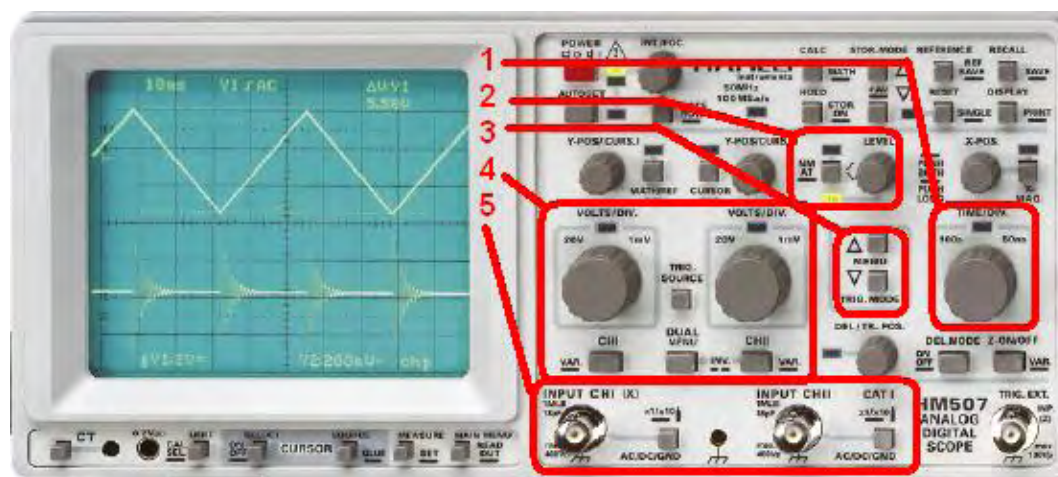
Durch die Entwicklung schneller elektronischer Bauteile ist es möglich geworden, analoge elektrische Signale in Echtzeit zu digitalisieren und zu speichern. Darauf basieren *Digitaloszilloskope*: Sie erzeugen ein digitales Abbild des analogen Eingangssignals, welches im Gegensatz zum Analogoszilloskop zwischengespeichert, digital verarbeitet und zeitlich gestreckt oder gestaucht wieder ausgegeben werden kann, im Gegenzug jedoch nur in diskreter Form vorliegt. Das in diesem Versuch verwendete Oszilloskop *HAMEG HM507* ist ein sogenanntes *Combiscope*, d.h. es besitzt eine digitale Einheit zur Verarbeitung und Speicherung der Messdaten, zeigt diese aber klassisch als Analogsignale auf einer Kathodenstrahlröhre an. Daher kann es sowohl im Analog-, als auch im Digitalbetrieb verwendet werden.

<sup>1</sup>[3], S. 217.

## 1.2 Kenngrößen

Eine wichtige Kenngröße eines Oszilloskops ist die *Bandbreite* der Signalverarbeitung; sie gibt die Größe des Frequenzbereiches an, innerhalb dessen die Amplitude um weniger als 0,707 (3 dB) gedämpft wird. Bei Digitaloszilloskopen muss zudem das Abtast-Theorem berücksichtigt werden: Um ein Signal mit der höchsten Frequenz  $f_{\max}$  unverfälscht digitalisieren zu können, muss es mit einer *Abtastrate*  $f_{\text{abtast}} \geq 2 \cdot f_{\max}$  abgetastet werden. Beim *HAMEG 507* ist dieses Abtasttheorem erfüllt:  $f_{\text{abtast}} = 100 \text{ MS/s}$ , die Bandbreite beträgt 50 MHz.

## 1.3 Bedienelemente



Frontansicht des *HAMEG 507*<sup>2</sup>

Unser Oszilloskop besitzt zwei Eingänge CHI und CHII (Feld 5). Ihre Eingangssignale können über Verstärker an die Bildschirmgröße angepasst werden: An den Drehreglern in Feld 4 lässt sich deren Eingangsempfindlichkeit einstellen, d.h. angeben, wie viele Volt einem Skalenstrich auf dem Bildschirm entsprechen. Das Signal kann entweder direkt an den Verstärker gegeben werden (DC, bei Gleichspannungssignalen) oder über einen Kondensator eingekoppelt werden (AC, dieser lässt nur den Wechselspannungsanteil passieren). GND bedeutet, dass der Eingang auf Erde gelegt ist. Analog zu den Eingangskanälen kann auch die Zeitachse skaliert werden (Feld 1).

„Triggern“ bezeichnet den Vorgang, den Elektronenstrahl zu einem festgelegten Zeitpunkt wieder vom linken Bildschirmrand aus zu starten. Beginnt die  $x$ -Auslenkung am linken Bildschirmrand beispielsweise immer bei einer festen Signalstärke, so kann aus einem periodischen Signal ein stehendes Bild erzeugt werden. Standardmäßig (Auto) springt der Strahl nach links zurück, wenn er den rechten Bildschirmrand erreicht hat, es sei denn, es gab zuvor bereits ein Triggerereignis. In der Stellung Normal wird über das Eingangssignal (intern) bzw. ein weiteres Signal am Triggerereingang (extern) ein Triggerereignis ausgelöst, wenn ein bestimmter Signalpegel erreicht wird. In Schaltfläche 2 kann man diesen Pegel einstellen und angeben, ob es sich um einen positiven (ansteigenden) oder negativen (abfallenden) Durchgang handeln muss.

Zunächst ist ein 10 Hz-Signal zu untersuchen. Mit der internen Triggerung wird das Signal ab dem Nulldurchgang angezeigt. Mit den Funktionen  $1/\Delta t$ , Rise Time und Peak+ aus dem Menü Cursor Measure lassen sich dann Frequenz, Anstiegszeit und Amplitude ermitteln.

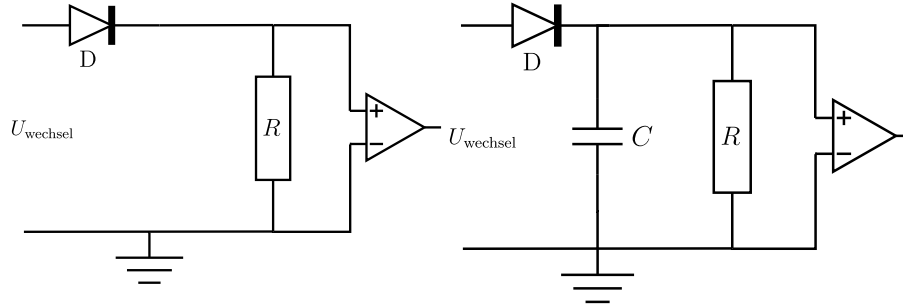
## 2 Zweikanalbetrieb

Im Zweikanalbetrieb werden an beiden Eingängen CHI und CHII Signale angelegt. Mit der Taste DUAL MENU können verschiedene Betriebsmodi ausgewählt werden: Im Analogen Dual-Betrieb werden die zwei Kanäle abwechselnd auf dem Bildschirm dargestellt. ALT wechselt nach jedem Ablenkvorgang den Kanal, während CHOP mit einer einstellbaren Frequenz ständig zwischen beiden

<sup>2</sup>Grafik von Sebastian Eisenhardt.

Kanälen hin- und herschaltet. Im Additionsbetrieb ADD werden die beiden Spannungssignale addiert und das Ergebnis am Bildschirm angezeigt. Im TRIG-Menü können die verschiedenen Kanäle als Triggerquelle ausgewählt werden.

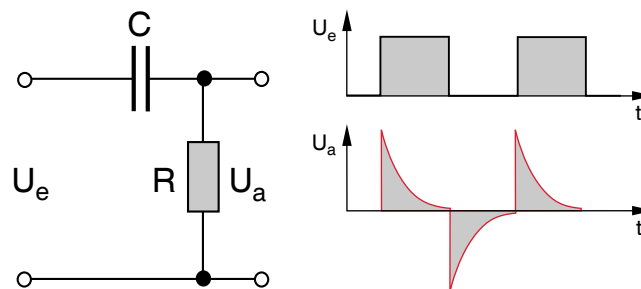
## 2.1 Dioden-Einweggleichrichter



Einweggleichrichter ohne und mit Ladekondensator

Ein Dioden-Einweggleichrichter besteht aus einer Diode  $D$ , die nur Ströme in ihrer Durchlassrichtung passieren lässt. Dadurch werden die negativen Bereiche eines angelegten Sinussignals einfach abgeschnitten. Die am Widerstand  $R$  abfallende Spannung wird gemessen und am Oszilloskop dargestellt. Baut man einen Lastkondensator  $C$  in die Schaltung ein, so wird das Ausgangssignal geglättet: Wenn die Diode Strom fließen lässt, lädt sich der Kondensator auf und wenn sie sperrt, entlädt sich der Kondensator wieder.

## 2.2 RC-Differenzierglied



Hochpass: Schaltbild und Reaktion auf ein Rechtecksignal für  $f \leq f_g$ <sup>3</sup>

Mit der dargestellten Hochpassschaltung können niederfrequente Signale differenziert werden. Das Amplitudenverhältnis zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung beträgt:

$$|A| = \left| \frac{U_a}{U_e} \right| = \left| \frac{R}{R + 1/(i\omega C)} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + 1/(\omega^2 R^2 C^2)}}$$

Man erkennt daran, dass niederfrequente Signale ( $T \gg RC$ ) stark gedämpft werden, während hochfrequente Signale ( $T \ll RC$ ) ungehindert passieren. Die Grenzfrequenz ( $-3$  dB-Schwelle) beträgt

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

Am Oszilloskop wird die am Widerstand  $R$  abfallende Spannung  $U_a$  angezeigt. Im Stromkreis gilt nach der Kirchhoff'schen Knotenregel

$$0 = I_C - I_R = \dot{Q} - \frac{U_a}{R} = C \frac{d}{dt}(U_e - U_a) - \frac{U_a}{R}$$

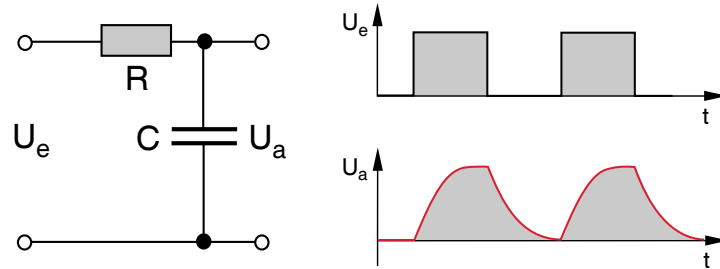
<sup>3</sup>[2], S. 158.

Betreibt man den Hochpass im Bereich  $f \ll f_g$ , so ist  $U_a \ll U_e$  und es trägt in der Zeitableitung nur  $U_e$  wesentlich bei. Es folgt die Differentialgleichung

$$U_a = RC \frac{dU_e}{dt}$$

Die Ausgangsspannung ist also proportional zur Ableitung der angelegten Eingangsspannung.

### 2.3 RC-Integrierglied



Tiefpass: Schaltbild und Reaktion auf ein Rechtecksignal für  $f < f_g$ <sup>4</sup>

In dieser Aufgabe soll ein Tiefpass als Integrierer verwendet werden. Amplitudenverhältnis und Grenzfrequenz lauten hier:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \quad f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

Es wird nun jedoch die am Kondensator anliegende Spannung abgegriffen. Es gilt nach der Knotenregel

$$0 = I_R - I_C = \frac{U_e - U_a}{R} - I_C = \frac{U_e - U_a}{R} - C\dot{U}_a$$

Für  $f \gg f_g$  ist  $U_a \ll U_e$  und am Widerstand  $R$  fällt nur  $U_e$  ab. Es ergibt sich die Differentialgleichung:

$$RC\dot{U}_a = U_e$$

In Integralschreibweise lautet sie:

$$U_a = \frac{1}{RC} \int_0^t U_e(\tau) d\tau + U_a(0)$$

Das Ausgangssignal entspricht also dem Integral über das Eingangssignal.

### 2.4 RC-Phasenschieber

Mittels eines RC-Glieds können also die Amplitude und Phasenverschiebung des Ausgangssignals  $U_a$  im Verhältnis zum Eingangssignal  $U_e$  verändert werden. Mittels eines Kondensators  $C = 0,47 \mu\text{F}$  und eines Widerstands  $R = 1 \text{ k}\Omega$  soll am Ausgang die Amplitude halbiert werden:  $\hat{U}_a = \hat{U}_e/2$ . Für einen Hochpass gilt:

$$\frac{\hat{U}_a}{\hat{U}_e} = \frac{1}{2} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1/(\omega^2 R^2 C^2)}} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{3}RC} = 195,51 \text{ Hz}$$

Für die Phasenverschiebung von  $U_a$  bezüglich  $U_e$  gilt am Hochpass:

$$\varphi = \arctan \frac{1}{\omega RC} \quad \Rightarrow \quad \varphi = \arctan \sqrt{3} = 60^\circ$$

<sup>4</sup>[2], S. 159.



## 2.5 Frequenzmodulierte Schwingung

Bei der Frequenzmodulation wird die Kreisfrequenz  $\Omega_0$  eines Trägersignals entsprechend dem aktuellen Wert des Modulationssignals (Kreisfrequenz  $\omega$ ) variiert:  $\Omega(t) = d\varphi/dt = \Omega_0 + \Delta\omega \cdot \cos(\omega t)$ .  $\Delta\omega$  ist der Frequenzhub und gibt an, wie weit die momentane Gesamtfrequenz maximal von der Trägerfrequenz abweicht. Es ergibt sich folgende Gesamtschwingung:

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

Technisch wird dies umgesetzt, indem das Modulationssignal des ersten Sinusgenerators in den Eingang  $VC_{in}$  eines zweiten Sinusgenerators gegeben wird. Die dort anliegende Spannung variiert dessen Kreisfrequenz um die einstellbare Trägerfrequenz herum. Triggert man das Signal immer beim Nulldurchgang, so werden die einzelnen Schwingungsabschnitte mit unterschiedlichen Momentanfrequenzen  $\Omega(t)$  übereinander gezeichnet, sodass die Differenz der Periodendauern leicht abgelesen werden kann. Aus dieser Differenz lässt sich dann  $\Delta\omega$  berechnen.

## 2.6 Addieren

In dieser Aufgabe sollen zwei Sinussignale im Oszilloskop addiert bzw. (mittels der Invertierungsfunktion `INVERT` an einem Eingang) subtrahiert werden. Variiert man Amplitude und Frequenz, so kann man Interferenzen und Schwebungen betrachten. Die beobachteten Schwingungen lassen sich mit Zeigerdiagrammen herleiten: Die Überlagerung zweier Schwingungen mit gleicher Frequenz ergibt eine Sinusschwingung derselben Frequenz, deren Amplitude und Phasenverschiebung durch vektorielle Zeigeraddition ermittelt werden kann. Überlagerung zweier Schwingungen unterschiedlicher Frequenz ergibt eine Gesamtschwingung, deren Amplitude sich zeitlich ändert (Schwebung).

# 3 X-Y-Darstellungen

## 3.1 Lissajous-Figuren

Lissajous-Figuren entstehen durch Überlagerung zweier Wechselspannungen, wobei die eine Spannung am  $X$ -Eingang des Oszilloskops anliegt, und die andere am  $Y$ -Eingang. Die dadurch entstehenden Figuren können zur Frequenzmessung herangezogen werden: Eine Lissajous-Figur ist genau dann geschlossen, wenn die Frequenzen in einem rationalen Verhältnis  $m/n$  zueinander stehen (denn nach dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen der Frequenzen wiederholen sich dann alle  $(x, y)$ -Spannungspaare wieder). Die Zahl der Umkehrpunkte am oberen/unteren Bildrand ergibt  $m$ , die Zahl der Umkehrpunkte am linken/rechten Bildrand ergibt  $n$ . Legt man an den  $x$ -Kondensator eine bekannte Vergleichsfrequenz  $f_0$ , so gilt für Wechselspannung an  $y$ :

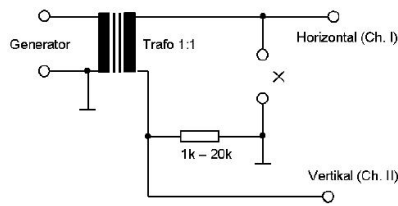
$$f = \frac{m}{n} f_0$$

Verwendet man zwei Schwingungen gleicher Frequenz, so ergeben sich Ellipsen. Die Orientierung und Länge der Hauptachsen sind abhängig von der Amplitude und Phasenverschiebung der Einzelschwingungen. Ist  $b$  die Amplitude der Schwingung in  $y$ -Richtung und  $y_b$  der Schnittpunkt der Lissajous-Figur mit der  $y$ -Achse, so gilt

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

## 3.2 Kennlinien

Eine Kennlinie ist die Kurve, die durch Messung des Strom-Spannung-Zusammenhangs eines elektrischen Bauteils entsteht. Sie hat für jedes Bauteil einen charakteristischen Verlauf. Zur Ermittlung der Kennlinie wird gemäß der Schaltskizze der Vorbereitung eine Wechselspannung an die Reihenschaltung des zu vermessenden Bauteils mit einem Widerstand angelegt. Im  $X$ -Kanal wird der Spannungsabfall am Bauteil, im  $Y$ -Kanal der am Widerstand gemessen. Letzterer ist wegen  $U = R \cdot I$  proportional zum Strom im Stromkreis.

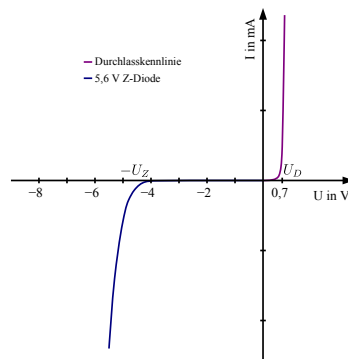


Schaltskizze zur Bestimmung der Kennlinien<sup>5</sup>

Unser Oszilloskop besitzt zudem einen Komponententester, d.h. diese Schaltung ist bereits intern im Oszilloskop eingebaut, sodass nur noch das Bauteil außen angeschlossen werden muss. Mit dieser Funktion können wir unsere gemessenen Kennlinien überprüfen.

### 3.2.1 Zener-Diode

Eine Zener-Diode lässt (wie alle anderen Dioden auch) Strom in Durchlassrichtung fließen, sobald ihre Durchlassspannung  $U_D$  überschritten wird, und sie sperrt für entgegengesetzt gerichtete Ströme (Sperrichtung). Jenseits einer bestimmten Sperrspannung bricht dieser Spereffekt jedoch zusammen und die Diode wird ebenfalls wieder leitend. Bei Zener-Dioden geschieht dies an einer genau definierten Z-Spannung  $-U_Z$  und die Strom-Spannungskurve fällt dann sehr schnell ab, sodass man Zener-Dioden gut zur Stabilisierung von Spannungen verwenden kann.



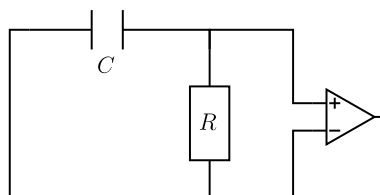
Kennlinie einer Zener-Diode<sup>6</sup>

### 3.2.2 Kondensator

Ein Kondensator sorgt für eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$  zwischen Strom und Spannung. Die Kennlinie wird daher eine Ellipse sein, deren Hauptachsen mit den Koordinatenachsen zusammenfallen. Die Exzentrizität der Ellipse hängt von den Verstärker-Einstellungen am X- und Y-Eingang ab.

## 4 Einmalvorgänge

Zuletzt soll das Digitaloszilloskop dazu verwendet werden, den Entladevorgang eines Kondensators als einmaliges Ereignis aufzuzeichnen. Dazu wird der Kondensator mit einem Widerstand kurzgeschlossen. Die am Widerstand abfallende Spannung wird vom Oszilloskop gemessen.



<sup>5</sup>Schaltskizze 1 aus der Vorbereitung.

<sup>6</sup>bearbeitet nach [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Kennlinie\\_Z-Diode.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Kennlinie_Z-Diode.svg).

Nach der Maschenregel gilt

$$0 = U_C + U_R = \frac{Q}{C} + RI = \frac{1}{C}Q + R\dot{Q}$$

Diese Differentialgleichung hat folgende Lösung (es wurde  $U(t) = Q(t)/C$  gesetzt):

$$U(t) = U_0 e^{-t/RC}$$

Es ist also eine exponentielle Entladekurve zu erwarten. Der Widerstand  $R$  ist der Eingangswiderstand am DC-Eingang des Oszilloskops bzw. der im Tastkopf verbaute Widerstand.

## 5 Quellenverweis

Die zur Vorbereitung verwendete und im Text referenzierte Literatur ist:

1. Tietze / Schenk: *Halbleiter-Schaltungstechnik*, 5. Auflage, Springer 1980.
2. Demtröder: *Experimentalphysik 2*.
3. Eichler / Kronfeld / Sahm: *Das Neue Grundpraktikum*, 2. Auflage, 2006.
4. Firma HAMEG: *Bedienungsanleitung für das HAMEG-Oszilloskop 507*, Februar 2002.

Grafiken wurden aus den auf der Website zum Praktikum zur Verfügung gestellten Kopien dieser Werke entnommen (<http://cms-ka.fzk.de/praktikum-restricted/Physiker-Literatur/P1/Oszilloskop/Lit-Mappe-Oszilloskop.pdf>) oder, falls keine expliziten Quellenangaben vorliegen, vom Autor selbst erstellt.

1.  $\Delta$  Grafik

$f = 10 \text{ Hz}$

} automatisch  
} an

$V_s = 600 \text{ mV}$

} mittels Cursor

$T = 100 \text{ ms}$

mittels Cursor

Bei Analogbetrieb lässt sich die Sinusschwingung als sich bewegender Punkt erkennen.

Bei Digitalbetrieb wurde das "Standbild" betrachtet

Zeitablenkung:  $20 \frac{\text{ms}}{\text{div}}$

~~(Trigger 20ms)~~

2.  $V_{SS} 0,5V$  Bild 2101

Si Dioden Gleichrichter ohne Kond

ca 2kHz 1V Bild 2102

"

8V Bild 2103

"

Bemerkung:  $R = 1k\Omega$

CH 1: U über R

jewe. bei 10-fach Verstärkung

CH 2: Eingangssignal Generator

ca 2kHz  $V_{SS} 0,5V$  Bild 2111

Si Dioden Gleichrichter mit  $1nF$  Kond.

1V " 2112

8V " 2113

$R = 1k\Omega$

CH 1

jewe. bei 10-fach Verst.

CH 2

s. oben

~~konst~~

Alle Messungen bei Gleichspannung

+  $100k\Omega$

Zusätzlich mit  $0,47\mu F$ : Bild 2121

$V_{SS}$  0,5V Bild 2.131  
 1V " 2.132  
 8V " 2.133

Si-Dioden Gleichrichter  
 mit  $0,47 \mu F$   
 Kondensator  
 Bei  $10 \text{ kHz}$

$V_{SS}$  0,5V Bild 2.141  
 1V " 2.142  
 8V " 2.143

Si-Dioden Gleichrichter  
 ohne Kond  
 Bei  $10 \text{ kHz}$

~~2.2 Grenzfrequenz: siehe Nebenrechnungen~~

~~2.2 Dreieck  $\cdot 200 \cdot 10^4$~~

~~$RC \ll T$  (2.2-2201  $f = 200 \cdot 10^4 \text{ Hz}$   $C = 1 \text{ nF}$   
 $R = 1 \text{ k}\Omega$   
 2202  $f = 300 \cdot 10^4 \text{ Hz}$   
 2203  $f = 100 \cdot 10^4 \text{ Hz}$~~

~~$RC \approx T$  2204  $f = 15 \cdot 10^4 \text{ Hz}$   
 2205  $f = 12 \cdot 10^4 \text{ Hz}$~~

~~$RC \gg T$  220.6  $f = \frac{0,9}{800} \cdot 10^4 \text{ Hz}$   
 $800 \text{ Hz}$~~

Erdung Coaxkabel falsch!

+ 1000 Hz

2.2.  $R = 1k\Omega$   $C = 1\mu F$

Grenzfrequenz theo  $1,5 \cdot 10^5 \text{ Hz}$

$RC \Rightarrow T$  : 2201  $f = 800 \text{ Hz}$

2202  $f = 5 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

$RC \approx T$  : 2203  $f \approx 1,5 \cdot 10^5 \text{ Hz}$

$RC \ll T$  : 2204  $f = 170 \cdot 10^5 \text{ Hz}$

2.3 R u. C ident. Grenzfrequ. ident

$RC \Rightarrow T$  : 2301  $f = 2 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

2302  $f = 10 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

$RC \approx T$  : 2303  $f = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Hz}$

$RC \ll T$  : 2304  $f = 70 \cdot 10^4 \text{ Hz}$

2305  $f = 160 \cdot 10^4 \text{ Hz}$

2.4 Phasenverschiebung

Mittelswert  $\Delta t = 945 \mu s = 0,945 \text{ ms}$

$T = 4,86 \text{ ms}$

$f = 195 \text{ Hz}$

~~$\Delta t =$~~

~~$f = 180 \text{ Hz}$~~

jeu Peak-Peak

$U_2$  ist Eingang mit 9,8 V Amplitude

$U_1$  " Ausgang " 4,88 V "

$f = 220 \text{ Hz}$

$\Delta t = 755 \mu s$

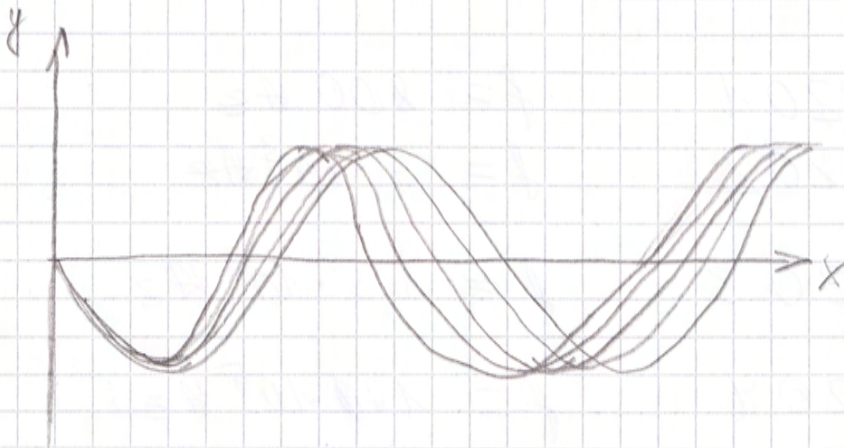
$\Rightarrow$  Phasenversh.  $\approx 60^\circ$

$T: U_{1/2} = 4,51 \text{ ms}$

$f_{\text{eff}} = 220 \text{ Hz}$

2.5

$V_{SS}$	Gen. 1	52 mV	50 Hz
$V_{SS}$	Gen. 2	50,4 mV	1,5 kHz



$$\Delta T = 216 \mu s$$

max. Differenzen zwischen  
zwei Periodendauern

2.6

Gleiche Amplituden (3V)

Chan. 1	10 kHz	2601
Chan. 2	50 kHz	
→ Add. Ampl. 5,84 V		

Fest Gleiche Frequenz | und Ampl.  
(10 kHz)

Schwebung

Chan 1	952 mHz	2602
Chan 2	10 kHz	
Add. Ampl. 5,84 V		

+ / - " "

2.6.

Gleiche Frequenz (Synchro Gen 1 u. 2)

Chan 1 3,04V 10kHz

Chan 2 3,04V 10kHz

Mithilfe Hissajous

2603

Unterschiedliche Amplituden

Chan 1  $\approx 400 \mu V$  10kHz

Chan 2 3,2V 10kHz

2604 ✓

Add Amp.

Subtraktion

jev. Peak Peak

Chan 1 12V 47,6kHz

" 2 3,12V 10kHz

2605 Subtr.

2606 Add.

3.

Chan 1 20,2V 9,44kHz

Chan 2 2,8V 9,43kHz

3101 ✓

Chan 1 20,2V 19,3kHz

Chan 2 2,8V 10,2kHz

3102 ✗

Kreis  $\Delta$ . 2.6

✓ + Nov 18

Gleiche Frequenz 10kHz Ampl. wie 3102 | 3103 ✗



gl. Ampl. 10V gl. Frequ. 10Hz 3104 ✓

Glückensch. Frequenz / gl. Ampl 10V

Ch 1: 4,87Hz

Ch 2: 10Hz

3105 ✓

3.2. ~~Zwei~~  $\gamma_2$  wurde invertiert

$$f = 6 \text{ Hz}$$

Ampl. 4,5V

Berechnung des Kondensators  
Kapazität

Kondensator:  $f = 290 \text{ Hz}$

Ampl. = 4,56V

Komponententester: bestätigt

4. Eigen D. Daten

4101

Fastloop

4201

~~Komponententester~~ bestätigt

T/012/12 ✓

$$R = 1000 \Omega$$

$$C = 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \Omega \cdot 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 338,63 \text{ Hz}$$

$$1 \cdot 10^{-5} \text{ F} = 100000 \text{ Hz}$$

$$1,55 \cdot 10^5$$

$$200 \cdot 10^4 = 20 \cdot 10^5$$

$$50 \cdot 10^4 = 5 \cdot 10^5$$

$$300 \cdot 10^4 = 30 \cdot 10^5$$

$$20 \cdot 10^5$$

$$10 \cdot 10^5$$

$$1,5 \cdot 10^5$$



~~0 was 1,67 ms~~

$\Delta_{\text{max}} = 945 \mu\text{s}$

4,80 ms T

$$f = \frac{1}{T} = 208 \text{ Hz}$$

$36^\circ$

$$U_a = \frac{U_c}{2}$$

$$5,11 \text{ ms} = T$$

$$\Delta = 755 \mu\text{s}$$

$$4,51 \text{ ms} = T$$

$$222 \text{ Hz}$$



$$\Delta = 226 \mu\text{s}$$

+ Hand R1

A	=	=	F	✓	3104
	Wisch	=		✓	3103 / 3101
	=	W2			
	W3	SW3		✓	3102

# Physikalisches Praktikum P1

## Auswertung zum Versuch

### Das Oszilloskop als Messinstrument

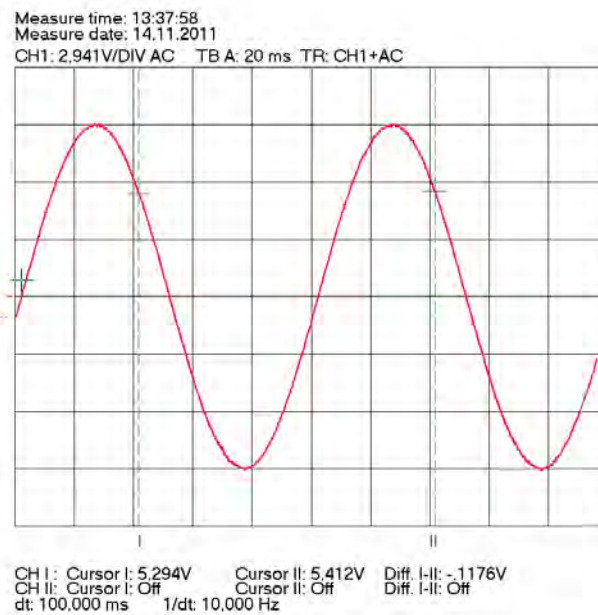
(P1-32, 33, 34)

Sebastian Eisenhardt, Martin Koppenhöfer  
(Montag-02)

14. November 2011

## 1 Einführender Versuch

Zum Kennenlernen der Bedienelemente wurde ein Sinussignal in das Oszilloskop eingespeist.



Im Digitalmodus wurden mittels der *Measure* und *Cursor-Measure* Funktionen nun die Frequenz  $f = 10$  Hz, der Abstand der Amplituden  $V_{SS} = 600$  mV und die Periodendauer  $T = 100$  ms der Sinusschwingung bestimmt. Zur Messung triggerten wir das Signal beim Nulldurchgang mit positiver Flanke und verwendeten die Digitalansicht. Im Analogmodus hingegen war deutlich zu beobachten, wie der Elektronenstrahl über den Bildschirm wanderte.

## 2 Messungen im Zweikanalbetrieb

In diesem Versuchsteil legten wir Wechselspannungen an verschiedene Schaltkreise an und untersuchten, wie sie die angelegte Eingangsspannung  $U_e$  im Vergleich zu ihrem Ausgangssignal  $U_a$  veränderten.

### 2.1 Sinussignal über Si-Dioden-Einweggleichrichter

Zunächst bauten wir eine Gleichrichterschaltung mit einer Si-Diode und einem  $R = 1 \text{ k}\Omega$  Widerstand auf (Schaltskizze siehe Vorbereitung). Am Kanal CHII des Oszilloskops legten wir die Eingangsspannung  $U_e$  an und am Eingang Kanal CHI legten wir das Ausgangssignal  $U_a$  an.

Unsere Messkurven zeigt Abbildung 1. Wir variierten die Amplitude des Sinusgenerators zwischen  $U_e = 0,5 \text{ V}$ ,  $1 \text{ V}$  und  $8 \text{ V}$ . Sie wurden am Oszilloskop jeweils mittels der Messfunktion **Peak-to-Peak** eingestellt. Durch die Digitalwandlung können die Spannungsmesswerte nur diskrete Werte annehmen, sodass man an den Grafiken die Auflösungsgenauigkeit des Analog-Digitalwandlers ablesen kann.

Man erkennt, dass die Diode als Gleichrichter die negativen Bereiche des Wechselspannungssignals unterdrückt und nur bei positiven Spannungen Strom fließen lässt. Für  $0,5 \text{ V}$  ist die Durchlassspannung  $U_D$  der Diode noch unterschritten und es fließt kein Strom.  $U_D$  lässt sich aus den übrigen Grafiken ablesen, indem man den Wert von  $U_e$  zu dem Zeitpunkt bestimmt, zu dem der Peak von  $U_a$  beginnt. Dabei ergaben sich aus den Rohdaten widersprüchliche Werte:  $U_D$  lag bei Grafik 2 und 3 zwischen  $0,2 \text{ V}$  und  $0,3 \text{ V}$ , was nicht in Korrelation zu Grafik 1 steht, da dort eine Amplitude von  $0,25 \text{ V}$  vorlag und  $U_a$  nicht anstieg, d.h.  $U_D$  noch nicht überschritten sein konnte.

Es fällt auf, dass die Sinusspannung des Generators nicht um das Nullniveau des Oszilloskops schwingt. Dies könnte daran liegen, dass die Massen von Generator und Oszilloskop nur über die Gleichrichterschaltung verbunden waren. Zur Bestimmung der Durchlassspannung berechneten wir mit *Octave* den Offset zur Korrektur der Rohdaten, damit das Sinussignal um den Nullwert herum oszilliert. Es zeigte sich, dass die Diode bei  $0,5 \text{ V}$  tatsächlich unter ihrer Durchlassspannung betrieben wurde. Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten Werte für den Offset und die Durchlassspannung  $U_D$  bezogen auf die korrigierten Eingangsspannungen  $U_e$ :

$U_{SS}$	$0,5 \text{ V}$	$1 \text{ V}$	$8 \text{ V}$
Offset	$0,02 \text{ V}$	$0,17 \text{ V}$	$0,20 \text{ V}$
$U_D$	$\geq 0,25 \text{ V}$	$0,36 \text{ V}$	$0,53 \text{ V}$

Nun wurde ein Kondensator mit der Kapazität  $C = 0,47 \mu\text{F}$  parallel zum Widerstand geschaltet, wobei erneut die Spannungsverläufe gemessen wurden. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 2. Die erste Messung erfolgte erneut unterhalb der Durchlassspannung. Bei der zweiten Messung erkennt man, dass der Kondensator die Ausgangsspannung glättet, was sich noch deutlicher bei der dritten Messung zeigt: Hier fällt die Ausgangsspannung nicht mehr auf  $0 \text{ V}$  ab, sondern es liegt eine pulsierende Gleichspannung von  $U_a \geq 2 \text{ V}$  vor.

### 2.2 Dreiecksspannung über RC-Differenzierglied

Für diesen Versuchsteil wurde ein Differenzierglied zwischen Generator und Oszilloskop geschaltet. Es wurde ein Widerstand  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und Kondensator mit Kapazität  $C = 1 \text{ nF}$  verbaut, womit die berechnete Grenzfrequenz bei  $f_g = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Hz}$  liegt. Das Eingangssignal ist eine Dreiecksspannung, die differenziert ein Rechteck ergibt. Abbildung 3 zeigt  $U_e$  und  $U_a$  für verschiedene Frequenzen der Eingangsspannung. Betreibt man den Hochpass unterhalb der Grenzfrequenz  $f_g$ , so arbeitet er wie vorhergesagt als Differenzierer: Bei positiven Flanken des Dreieckssignals wird eine positive konstante Spannung ausgegeben, bei negativen Flanken eine negative konstante Spannung. Es ergibt sich ein Rechteckssignal (Grafiken 1 und 2 in Abb. 3). Die Amplitude des Ausgangssignals ( $\hat{U}_a \approx 0,06 \text{ V}$ ) ist sehr gering, da der Hochpass tiefe Frequenzen stark dämpft. Nähert sich die Frequenz des Eingangssignals der Grenzfrequenz, so tritt die exponentielle Ladekurve in den Vordergrund und die Amplitude des Ausgangssignals nimmt zu. An der Grenzfrequenz (Grafik 3) wird der Kondensator während einer Flanke von  $U_e$  gerade komplett geladen bzw. entladen. Weit oberhalb der Grenzfrequenz wird das Eingangssignal unverändert bzgl. Amplitude und Form ausgegeben (Hochpass).

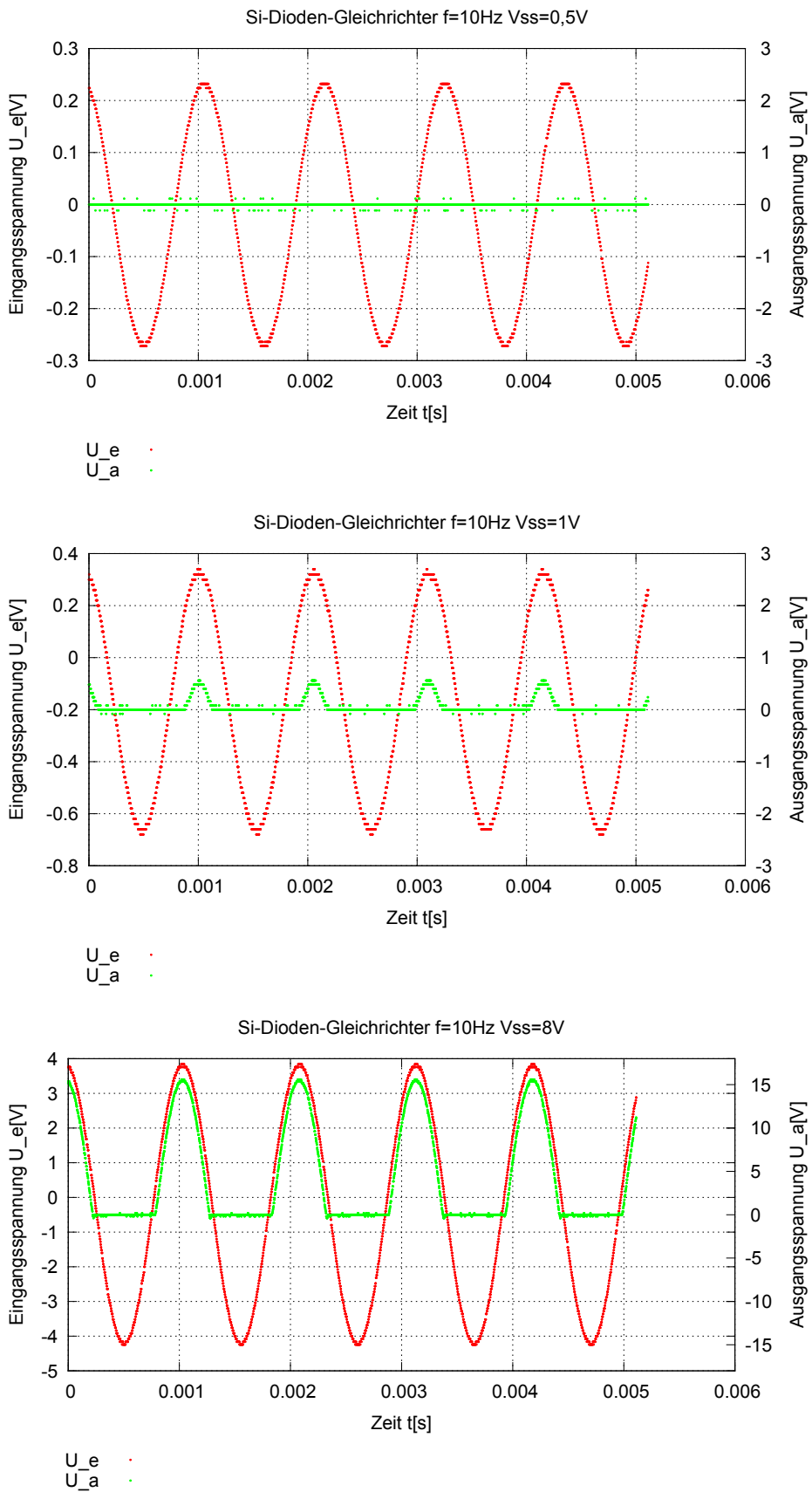


Abbildung 1: Eingangsspannung  $U_e$  und Ausgangsspannung  $U_a$  ohne Kondensator

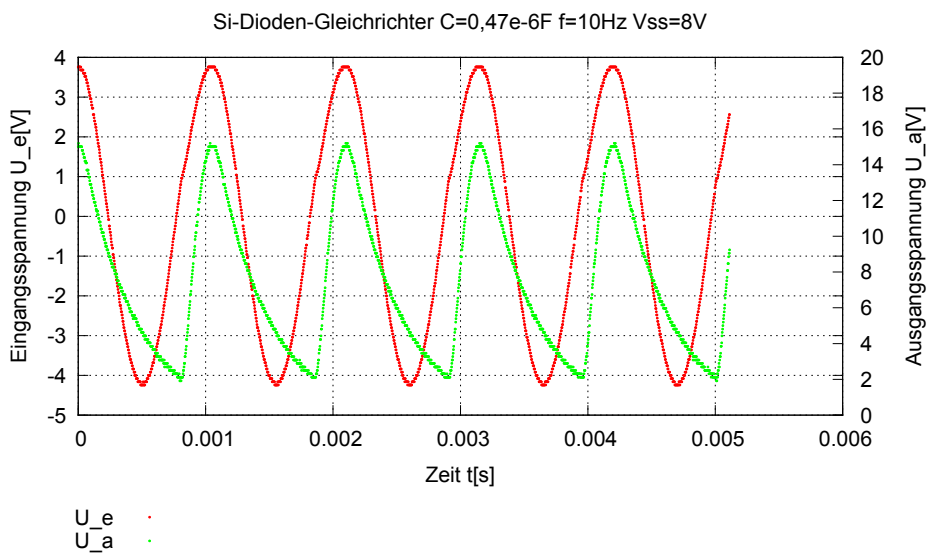
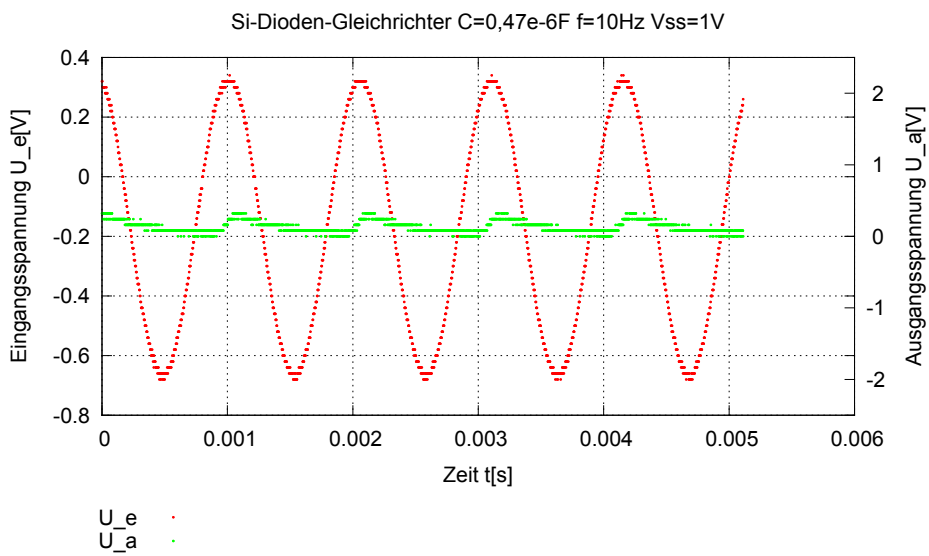
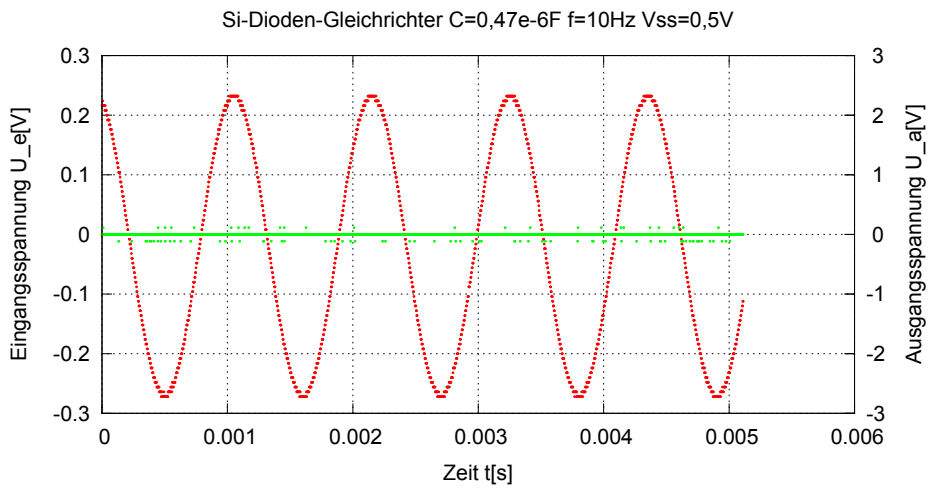


Abbildung 2: Eingangsspannung  $U_e$  und Ausgangsspannung  $U_a$  mit Kondensator

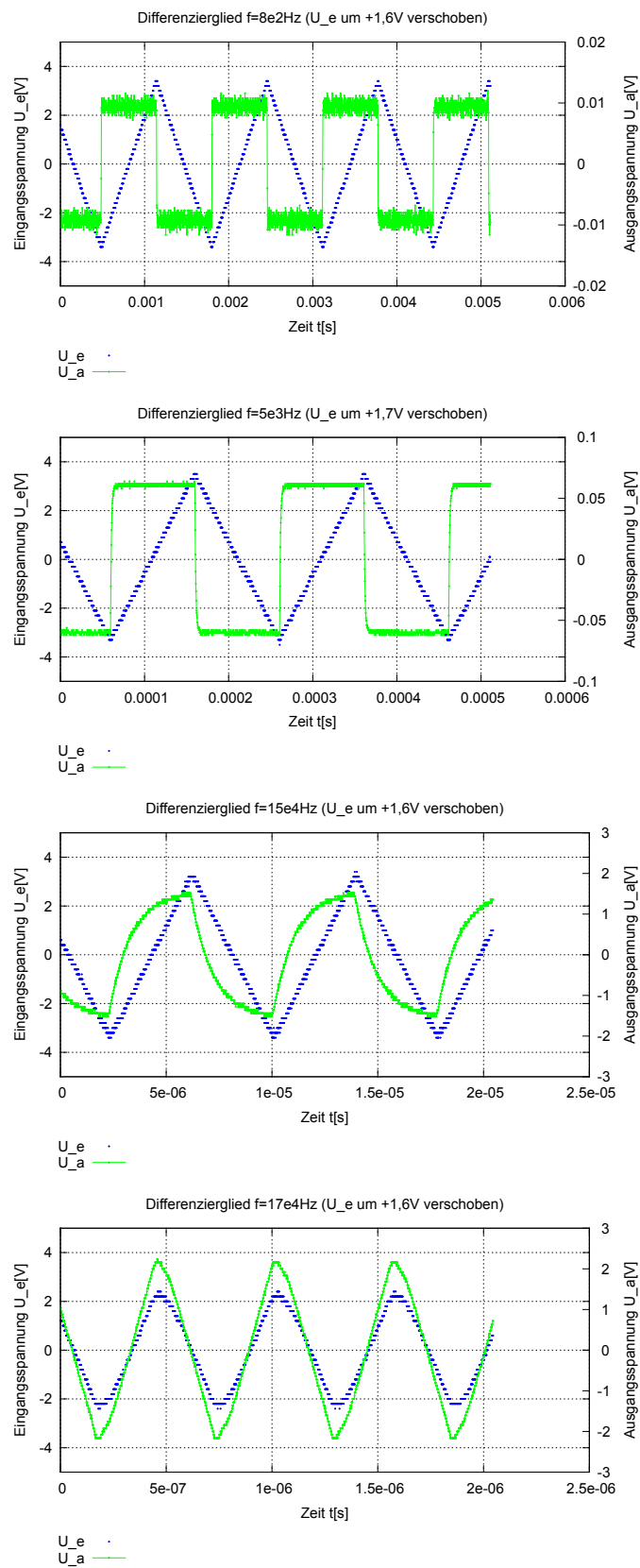


Abbildung 3: Eingangsspannung  $U_e$  und Ausgangsspannung  $U_a$  am Differenzierer



## 2.3 Rechtecksspannung über RC-Integrierglied

Nun verwenden wir das Integrierglied, wobei die Bauteilgrößen von Widerstand und Kondensator beibehalten wurden. Im Gegensatz zum Differenzierer ist der Integrierer für Eingangsspannungen unterhalb  $f_g$  durchlässig (Tiefpass, Grafik 1 in Abb. 4) und dämpft bei höheren Frequenzen die Eingangsspannung auf  $\hat{U}_a \approx 1,5 \text{ V}$  (Grafik 3 in Abb. 4). Hier lässt sich auch das integrierende Verhalten der Schaltung erkennen: Das Rechtecksignal integriert und als Dreieck ausgegeben. Für Frequenzen nahe  $f_g$  erhält man, wie beim Differenzierer, die exponentielle Lade- und Entladekurve des Kondensators.

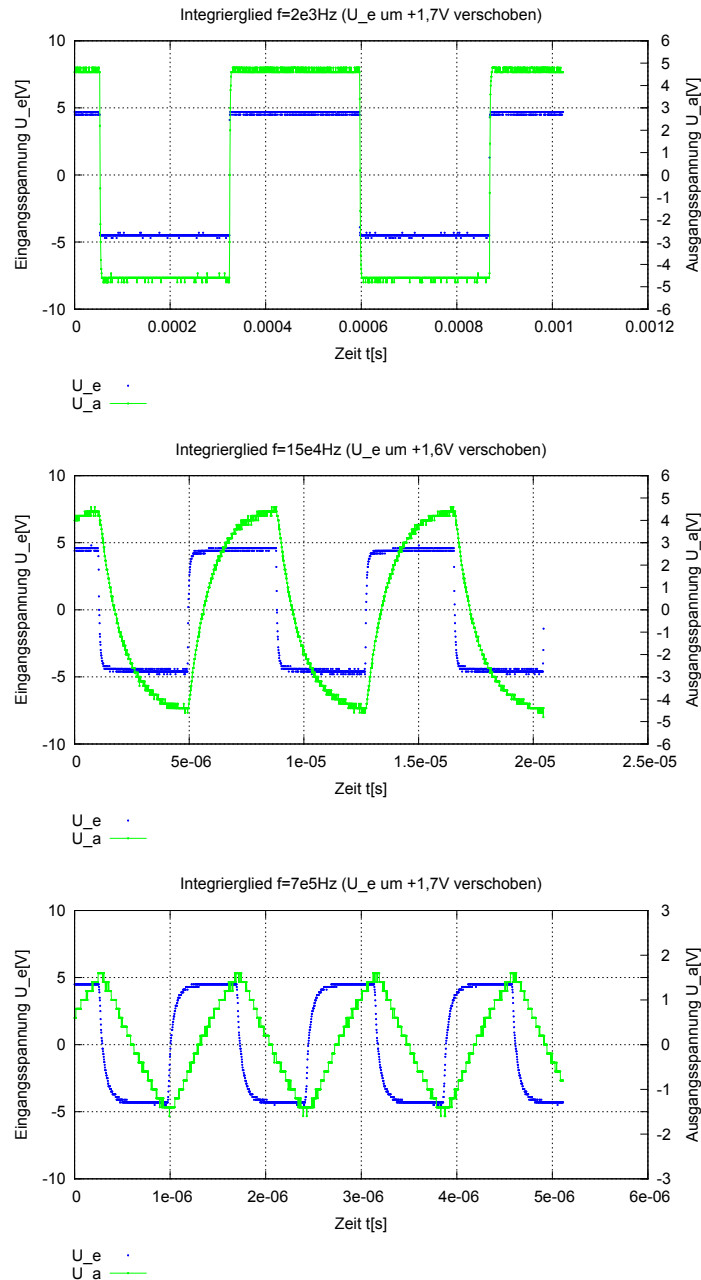


Abbildung 4: Eingangsspannung  $U_e$  und Ausgangsspannung  $U_a$  am Integrierer

## 2.4 Sinussignal über RC-Phasenschieber

Gemäß der Aufgabenstellung wurde erneut das Differenzierglied mit einem Widerstand über  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und einem Kondensator der Kapazität  $C = 0,47 \mu\text{F}$  aufgebaut. In der Vorbereitung hatten wir die Frequenz des Eingangssignals  $f \approx 195,5 \text{ Hz}$  berechnet, bei der sich ein Amplitudenverhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangssignal von  $U_a = \frac{U_e}{2}$  einstellt. Im Versuchs ermittelten wir mit der Peak-to-Peak-Funktion eine Frequenz von  $f = 220 \text{ Hz}$ , bei der  $U_e V_{SS} = 9,8 \text{ V}$  gerade doppelt so groß, wie  $U_a V_{SS} = 4,88 \text{ V}$  ist. Der Unterschied zu den theoretischen Werten könnte daher kommen, dass das Oszilloskop eine weitere Kapazität und einen Widerstand in die Schaltung brachte. Die zeitliche Verschiebung  $\Delta t$  bestimmten wir über die Cursor Funktion, die wir auf die Minima der Eingangs- und Ausgangsschwingung einstellten. Als Ausgangssignal ergab sich in Übereinstimmung mit der Vorbereitungsrechnung eine um  $\frac{2\pi}{\Delta t} \approx 60^\circ$  zur Eingangsspannung phasenverschobene Sinusschwingung (Abb. 5).

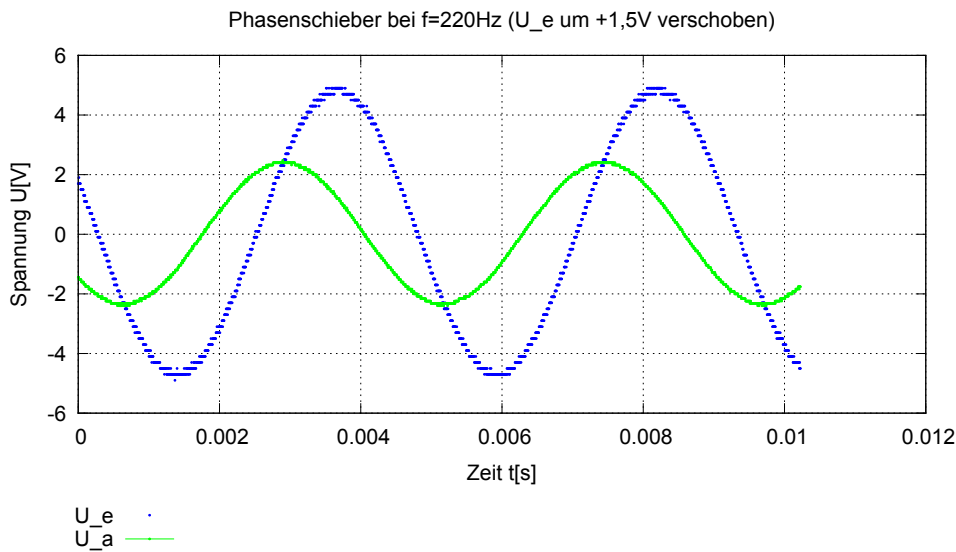


Abbildung 5: Eingangsspannung  $U_e$  und Ausgangsspannung  $U_a$  am Phasenschieber

## 2.5 Darstellung einer frequenzmodulierten Schwingung

In dieser Aufgabe erzeugten wir eine frequenzmodulierte Schwingung, indem wir, wie in der Vorbereitung beschrieben, zwei Generatoren hintereinander schalteten. Der zweite Generator variiert dabei seine Frequenz entsprechend der vom ersten Generator ausgegebenen momentanen Spannung:

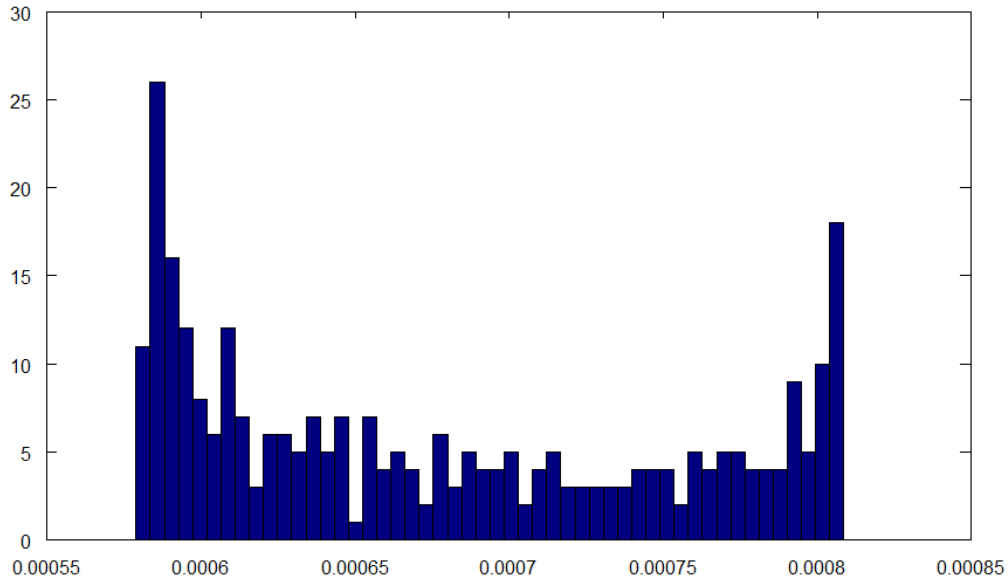
$$U(t) = U_0 \sin \cdot \left( \Omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\omega} \sin(\omega t) + \varphi_0 \right)$$

Zunächst triggerten wir das Spannungssignal immer beim Nulldurchgang. Da die Periodendauer mit der Zeit oszilliert, erhielten wir die abgebildete Schar von Sinusfunktionen mit unterschiedlicher Periodendauer. Mit der Cursor-Messung ermittelten wir die maximale Differenz der Periodendauern zweier Schwingungen. Wir erhielten den Wert  $\Delta t = 0,216 \mu\text{s}$ . Die Momentanfrequenz variiert um die Trägerfrequenz  $f_T = 1,5 \text{ kHz}$ . Diese Trägerfrequenz hat die Periodendauer  $\bar{T}$ . Es gilt

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{1}{\bar{T} + \frac{\Delta t}{2}} - \frac{1}{\bar{T} - \frac{\Delta t}{2}} = \frac{\Delta t}{\bar{T}^2 + (\Delta t/4)^2} = 499 \text{ Hz}$$

Zudem haben wir  $\Delta f$  mit folgendem Algorithmus in *Octave* aus der Spannungsmessreihe ermittelt: Zunächst suchten wir Wertepaare  $(t_i, U_i)$ ,  $(t_{i+1}, U_{i+1})$  bei denen die Spannung einen Nulldurchgang mit positiver Flanke hat, d.h.  $U_i < 0 < U_{i+1}$  gilt. Da das Digital-Oszilloskop nur Messwerte

an diskreten Zeitpunkten aufnehmen kann, haben wir die Sinusspannung zwischen  $t_i$  und  $t_{i+1}$  linear approximiert und mit der so erhaltenen Geraden den exakten Zeitpunkt des Nulldurchgangs bestimmt. Anschließend ermittelten wir die Zeitdifferenzen (Periodendauern)  $T$  zwischen benachbarten Nulldurchgängen und trugen diese Ergebnisse zur Kontrolle als Histogramm auf.



Man erkennt, dass das Histogramm von zwei Extremwerten  $T_{max}$  und  $T_{min}$  scharf begrenzt ist, die Messreihe also keine nennenswerten Fehler enthält. Über  $f = 1/T$  errechneten wir die Maximal- und Minimalfrequenzen  $f_{max} = 1727,7$  Hz sowie  $f_{min} = 1236,6$  Hz. Daraus folgt der Frequenzhub  $\Delta f = 491,1$  Hz.

**Messergebnisse** Entsprechend  $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$  ermittelten wir den Frequenzhub für beide Auswertemethoden:

Auswertemethode	$\Delta\omega$
Cursor am Oszilloskop	$3135,1 \frac{1}{s}$
Nullstellen des Spannungsverlaufs	$3085,7 \frac{1}{s}$

Die Ergebnisse aus der Messung der Nullstellen sind vermutlich genauer, da die Messung am Oszilloskop durch die Breite des Elektronenstrahls und die grafische Überlagerung mehrerer Sinusschwingungen relativ ungenau ist. Größte Fehlerquelle bei der Auswertung mit dem Computer ist die Approximation durch eine Gerade, die jedoch nahe der Nullstellen eines Sinus kaum von der exakten Sinuskurve abweicht. Zudem verwendet diese Methode eine größere Zahl von Messwerten, sodass sich statistische Abweichungen an einem einzelnen Messwert herausmitteln.

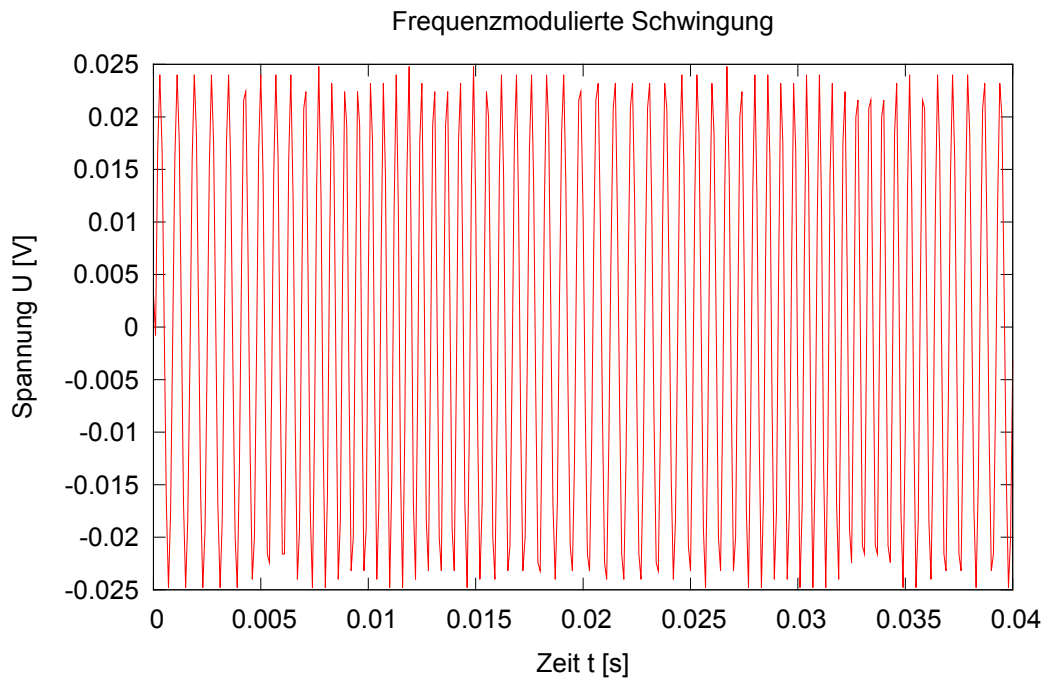
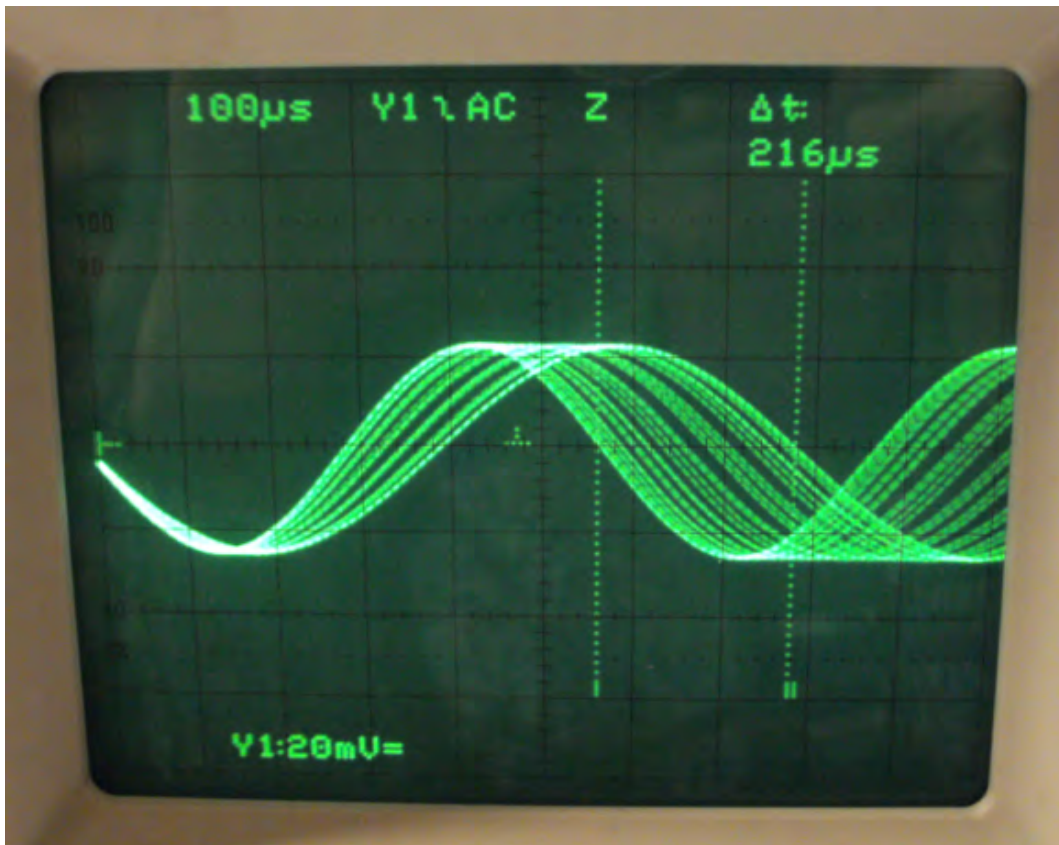
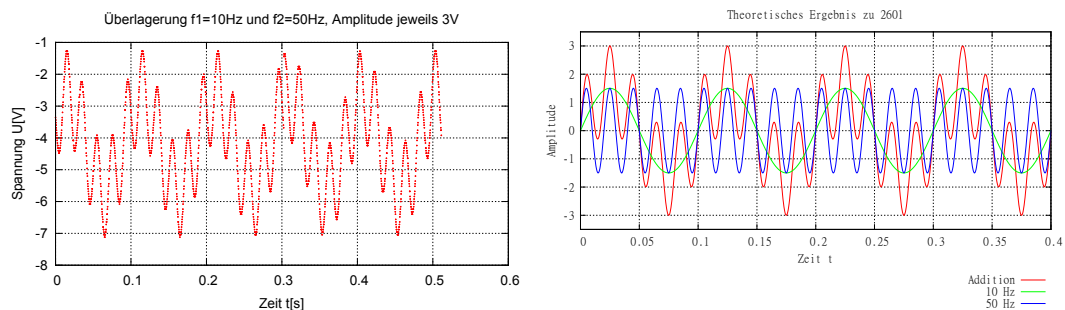


Abbildung 6: Frequenzmodulierte Sinusschwingung, dargestellt auf dem Oszilloskop (oben) und als Plot der Messwerte (mit *Gnuplot* reproduziert, unten). Man erkennt zu den Zeiten  $t = 0,01$  s und  $t = 0,02$  s eine Verdichtung (höherfrequenter Schwingungsanteil) bzw. eine Dehnung (niederfrequenter Schwingungsanteil) des Signals.

## 2.6 Addieren und Subtrahieren zweier Sinussignale

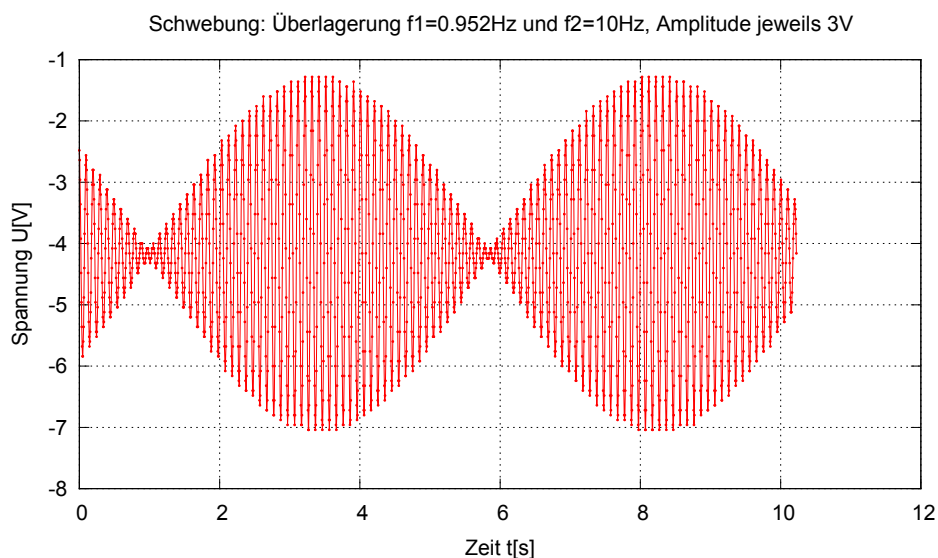
Mithilfe der Add-Funktion wurden nun unterschiedliche Sinusschwingungen addiert bzw. subtrahiert und jeweils das resultierende Signal auf dem Oszilloskop betrachtet.

- Signale mit gleicher Amplitude bei verschiedenen Frequenzen (Messung 2601)



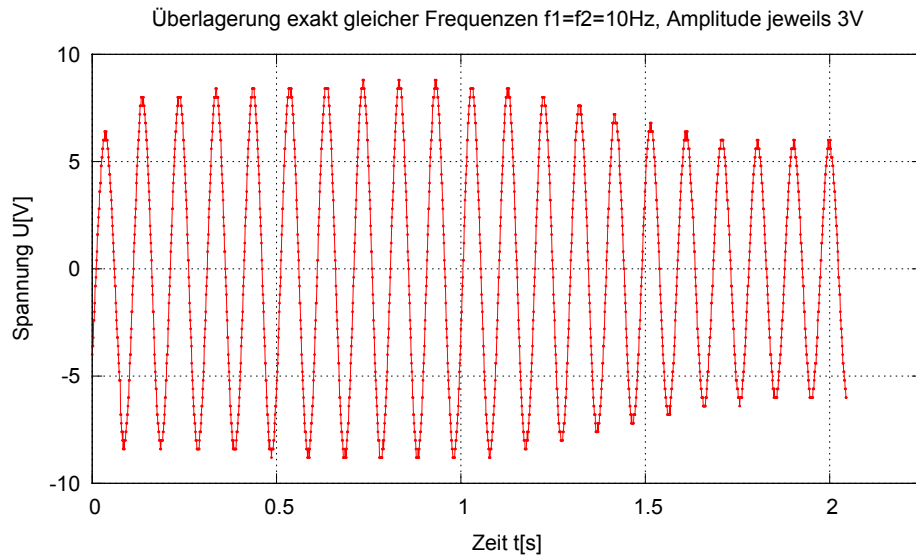
Verwendet wurden die Frequenzen  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 50 \text{ Hz}$  und als Amplituden  $U_1 = U_2 = 1,5 \text{ V}$ . Das Gesamtsignal schwingt um  $-4 \text{ V}$ , weil beim Anschließen der Sinusgeneratoren vermutlich die Masse und der Signalkanal vertauscht wurden. Wie zu erwarten beträgt die maximale Amplitude  $3 \text{ V}$  (bezogen auf die  $-4 \text{ V}$  Grundlinie). Das Signal schwingt mit einer Frequenz von  $10 \text{ Hz}$  auf und ab (grüne Kurve in der theoretischen Überlegung). Um diese Grundschiwingung schwingt das  $50 \text{ Hz}$  Signal herum (blaue Kurve).

- Signale mit gleichen Amplituden bei fast gleicher Frequenz (Schwebung, Messung 2602)



Verwendet wurden die Frequenzen  $f_1 = 0,952 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 10 \text{ Hz}$  und als Amplituden  $U_1 = U_2 = 1,5 \text{ V}$ . Bei nahezu identischer Frequenz stellt sich eine Schwebung ein: Die Amplitude des Gesamtsignals schwingt sinusförmig mit einer geringeren Frequenz, als die Ausgangssignale. Analog zu oben hat auch hier das Gesamtsignal die maximale Amplitude  $3 \text{ V}$ .

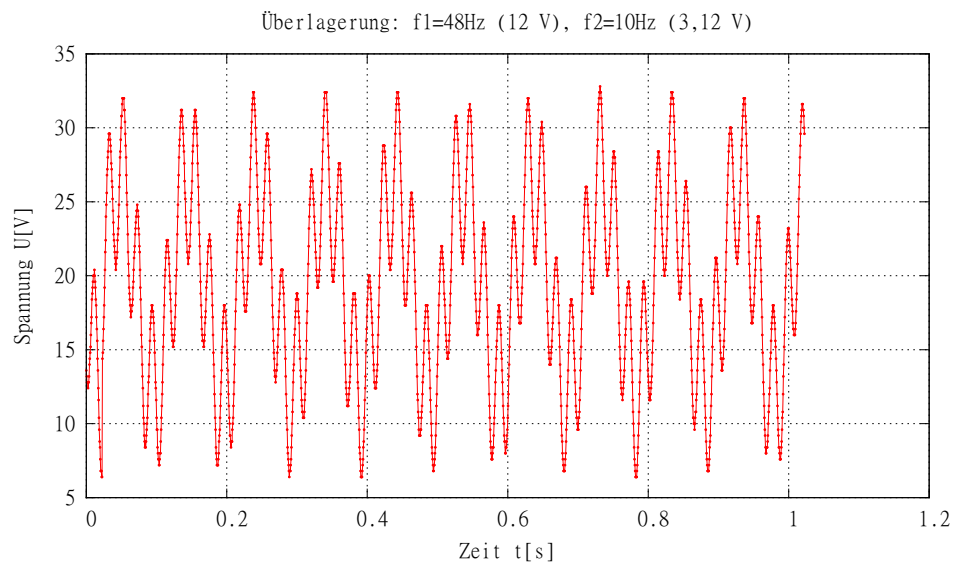
- Signale mit gleichen Amplituden bei gleicher Frequenz (Messung 2603)



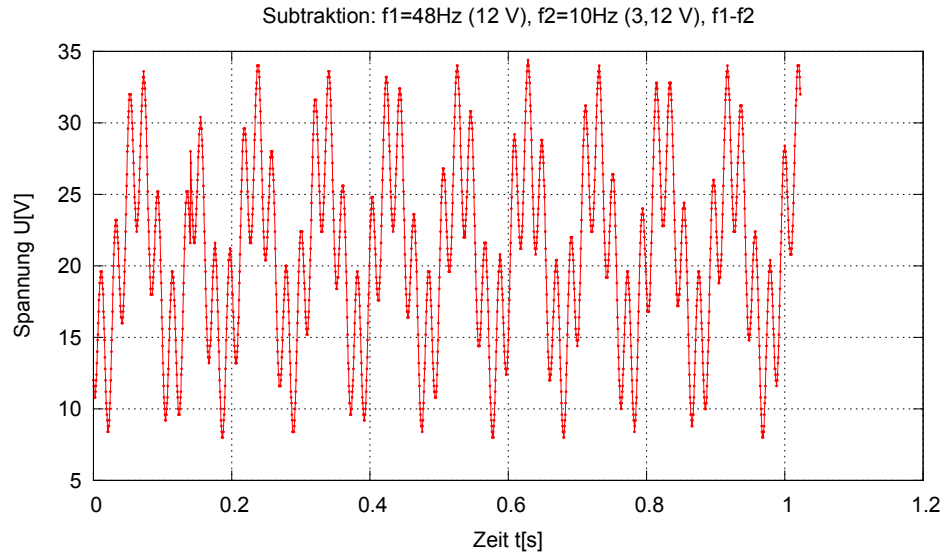
Zur Einstellung einer exakt gleichen Frequenz  $f_1 = f_2 = 10\text{ Hz}$  an beiden Generatoren, wurden diese synchronisiert, d.h. das Ausgangssignal des ersten Generators wurde zur Kopplung an einem separaten Eingang am zweiten Generator angeschlossen. Als Amplituden verwendeten wir jeweils  $U_1 = U_2 = 3,04\text{ V}$ . Trotz Koppelung waren die Generatoren nicht vollständig synchron, daher weist das resultierende Signal eine leichte Schwebung auf.

- Signale mit verschiedenen Amplituden bei unterschiedlichen Frequenzen. Bei dieser Messung ist uns offensichtlich ein Fehler beim Protokollieren unterlaufen: Man erkennt am Schaubild, dass die Amplitude des niederfrequenten Signals größer sein muss, als die des hochfrequenten. Wir folgern daher (im Gegensatz zum Protokoll):  $f_1 = 47,6\text{ Hz}$ ,  $f_2 = 10\text{ Hz}$ ,  $U_1 = 12\text{ V}$ ,  $U_2 = 3,12\text{ V}$ .

– Addition (Messung 2606)



– Subtraktion (Messung 2605)



Beide Kurven sehen sich sehr ähnlich. Dies liegt daran, dass die Subtraktionskurve und Additionskurve sich nur durch eine konstante Phasenverschiebung unterscheiden. Diesen Zusammenhang kann man mit einem Additionstheorem herleiten:

$$\begin{aligned}\sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t) &= 2 \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot t\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot t\right) \\ &= -2 \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= -\left(\sin\left(\omega_1 t + \frac{\pi}{2}\right) - \sin\left(\omega_2 t + \frac{\pi}{2}\right)\right)\end{aligned}$$

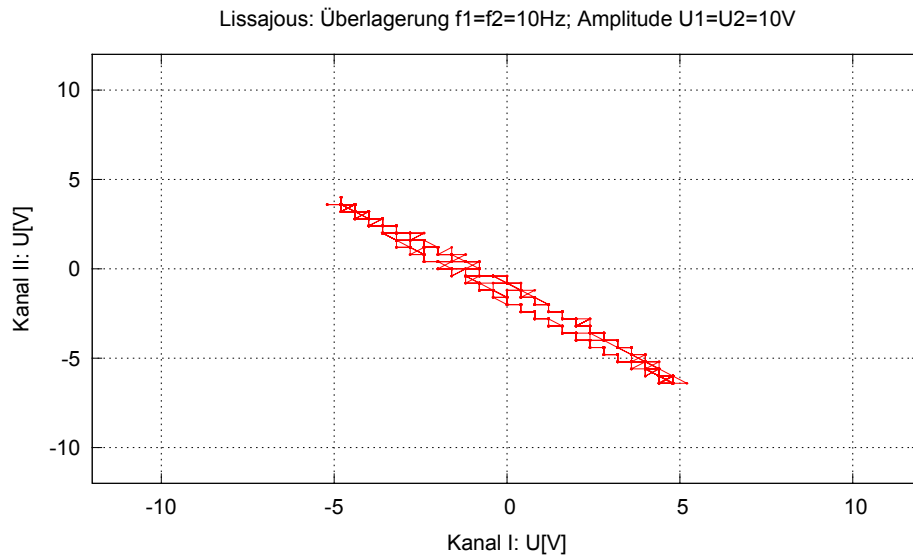
### 3 X-Y-Darstellungen

In dieser Aufgabe wurde das Oszilloskop im Dual-Modus betrieben, d.h. die Ablenkung des Elektronenstrahls in  $x$ -Richtung wurde nicht von einem Zeitgeber, sondern von CHII gesteuert.

#### 3.1 Lissajous-Figuren

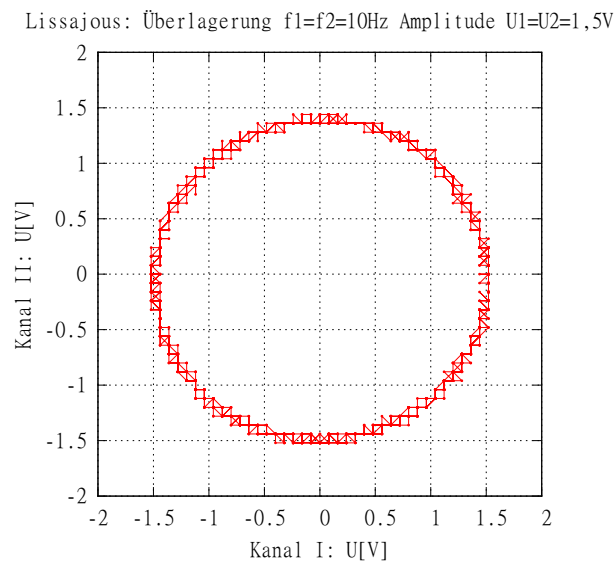
Zunächst wurden die Messungen aus Abschnitt 2.6 im Dualmodus wiederholt. Die so entstandenen Figuren werden Lissajous-Figuren genannt.

- Signale mit gleichen Amplituden bei gleicher Frequenz (Messung 3104)



Die Frequenz war  $f_1 = f_2 = 10\text{ Hz}$ , die Amplituden betragen  $U_1 = U_2 = 5\text{ V}$ . Es ergibt sich die Diagonale eines Quadrates mit der Kantenlänge  $10\text{ V}$ . Die Phasenverschiebung beträgt  $180^\circ$ , da die Kurve im 2. und 4. Quadranten verläuft.

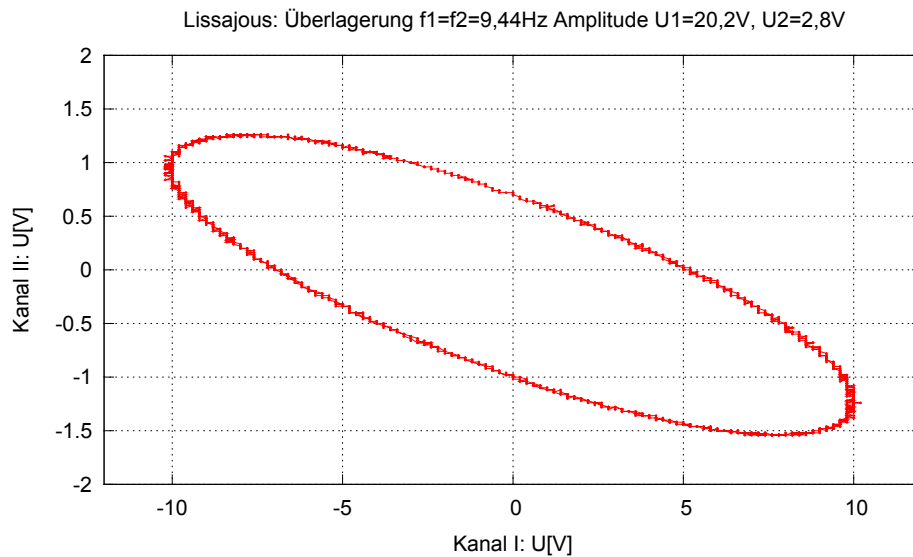
- Signale mit gleichen Amplituden bei gleicher Frequenz (Messung 2603)



Diese Figur wurde aus den Daten der Messung zur Addition von Sinusspannungen (2603) gewonnen. Die Frequenzen sind  $f_1 = f_2 = 10\text{ Hz}$ , die Amplituden betragen  $U_1 = U_2 = 1,5\text{ V}$ . Im Unterschied zum vorherigen Bild beträgt die Phasenverschiebung zwischen  $U_x$  und  $U_y$  hier  $90^\circ$ , daher ergibt sich ein Kreis.



- Signale mit unterschiedlichen Amplituden bei gleicher Frequenz (Messung 3101)

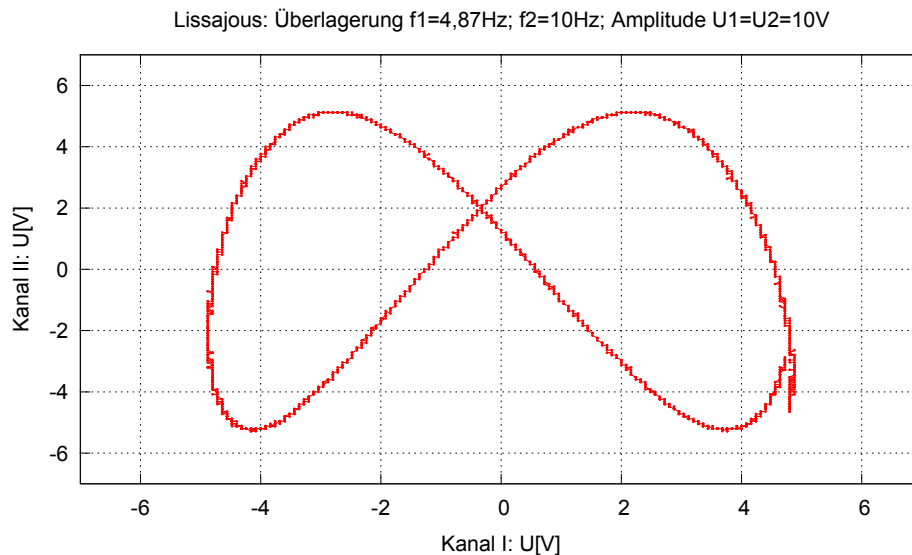


Verwendet wurden  $f_1 = f_2 = 9,44\text{ Hz}$  und  $U_1 = 10,1\text{ V}$  sowie  $U_2 = 1,4\text{ V}$ . Wir beobachteten eine Ellipse. Aus dem Verhältnis von  $y$ -Achsenabschnitt  $y_b$  und Amplitude  $b$  in  $y$ -Richtung errechneten wir den Betrag der Phasenverschiebung zwischen den Eingangsspannungen

$$\delta\varphi = \arcsin \frac{y_b}{b} = \frac{0,848}{1,4} = 37,28^\circ$$

Da die Kurve entgegen dem Uhrzeigersinn durchlaufen wird, läuft  $U_x$  um  $37,28^\circ$  vor  $U_y$ .

- Signale mit gleichen Amplituden bei unterschiedlichen Frequenzen (Messung 3105)



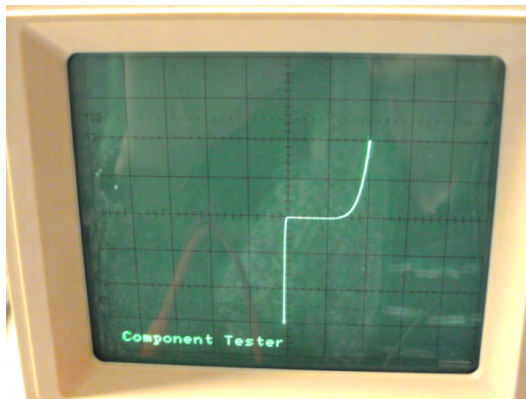
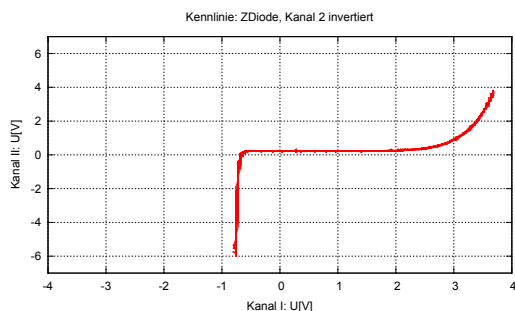
Die Frequenzen betragen  $f_1 = 4,87\text{ Hz}$  und  $f_2 = 10\text{ Hz}$ . Als Amplitude wählten wir jeweils  $U_1 = U_2 = 5\text{ V}$ . Die Lissajous-Figur ist (näherungsweise) geschlossen, da die Frequenzen (fast) in einem ganzrationalen Verhältnis zueinander stehen. Am oberen Bildschirmrand gibt es 2 Umkehrpunkte, am rechten Bildschirmrand einen. Damit beträgt das Frequenzverhältnis

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{2}{1}$$

## 3.2 Kennlinien

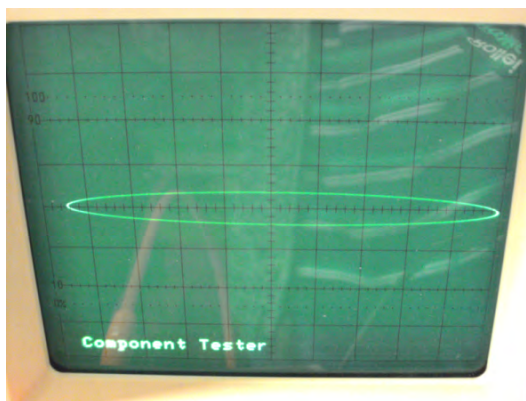
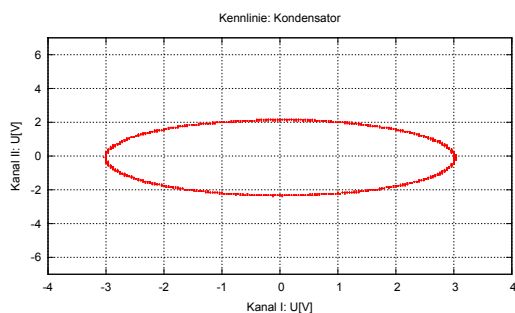
Mit der in der Vorbereitung beschriebenen Schaltung ermittelten wir die Kennlinien einer Z-Diode und eines Kondensators der Kapazität  $C = 0,47 \mu\text{F}$ .

### 3.2.1 Z-Diode



Die Kennlinie der Z-Diode hatte den in der Vorbereitung beschriebenen Verlauf. Der eingebaute Komponententester des Oszilloskops lieferte dasselbe Ergebnis. Die charakteristische Durchbruchspannung in Sperrichtung beträgt  $-0,67 \text{ V}$ , es handelt sich also um eine  $0,7 \text{ Z}$ -Diode.

### 3.2.2 Kondensator



Der Kondensator bewirkt bei anliegender Wechselspannung eine Phasenverschiebung, was durch die ellipsenförmige Kennlinie deutlich wird. Aus dieser Kennlinie sollte zur Kontrolle die Kapazität  $C$  des Kondensators ermittelt werden. Hierfür bestimmten wir die maximalen Amplituden  $|\hat{U}_x| = 3,04 \text{ V}$  und  $|\hat{U}_y| = 2,28 \text{ V}$  mithilfe des Programmes *Octave*. Berücksichtigt man zusätzlich die auf dem Aufgabenblatt angegebenen Ungenauigkeiten der Frequenz des Generators I ( $\pm 20\%$  der Skaleneichung) und Widerstandes  $R = 1 \text{ k}\Omega$  ( $\pm 5\%$  des Absolutwertes), so ergibt sich:

$$C = \frac{\hat{U}_y}{\hat{U}_x \cdot 2\pi \cdot fR} \quad \Delta_C = C \cdot \left( \left| \frac{\Delta f}{f} \right| + \left| \frac{\Delta R}{R} \right| \right)$$

**Messergebnis** Es ergibt sich

$$C = 0,41 \pm 0,10 \mu\text{F}$$

womit die angegebene Kapazität im Vertrauensbereich unseres Messwertes liegt. Der Komponententester bestätigte auch hier die ermittelte Kennlinie.

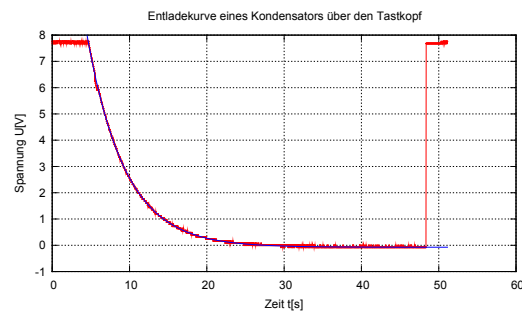
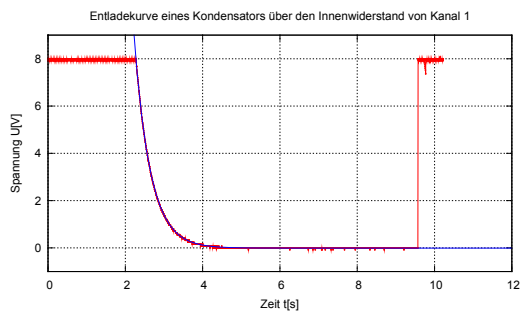
## 4 Einmalvorgänge: Entladekurve eines Kondensators

Zuletzt maßen wir die Entladekurve eines Kondensators. Als Entladewiderstand wurde zunächst der Eingangswiderstand des Oszilloskops verwendet (1 MΩ Nennwert) und anschließend der 10 : 1-Tastkopf (10 MΩ). Wie in der Vorbereitung hergeleitet, gilt für die Entladekurve eines Kondensators:

$$U(t) = U_0 e^{-t/RC}$$

Wir legten daher einen exponentiellen Fit  $U = a \cdot e^{b(t-c)} + d$  an unsere Messwerte an und erhielten mit *Gnuplot* für  $b$  die Werte

Widerstand	$b$
Eingang	$b = -2,3965 \pm 0,002694$
Tastkopf	$b = -0,2037 \pm 0,000216$



Wegen  $b = \frac{1}{RC}$  gilt

$$R = \frac{1}{bC} \quad \Delta_R = R \left( \left| \frac{\Delta b}{b} \right| + \left| \frac{\Delta C}{C} \right| \right)$$

womit sich bei bekannter Kapazität  $C = 0,47 \mu\text{F} \pm 1\%$  folgende Widerstände ergeben:

**Messergebnisse** Die Widerstände, über die die Entladekurve aufgenommen wurde, betragen

Widerstand	Wert
Eingang	$R = 887,820 \pm 9,855 \text{ k}\Omega$
Tastkopf	$R = 10,448 \pm 0,116 \text{ M}\Omega$

Es ergeben sich also in etwa die erwarteten Werte für den jeweiligen Innenwiderstand.