

**PROTOKOLL ZUM ANFÄNGERPRAKTIKUM
PHYSIK**

**Elektronenstrahl-Oszilloskop,
Digital-Speicher-Oszilloskop und
Funktionsgeneratator**

-Teil 2-

Sebastian Wilken

Versuchsdurchführung:
02. November 2005

1. Einleitung

Dieses Protokoll ist als Fortsetzung des letzten Protokolls zu verstehen. Alle theoretischen Überlegungen zum Oszilloskop im Allgemeinen sind dort zu finden. Dieses Protokoll beschäftigt sich mit den Versuchen 3.1.4.3 bis 3.2.2. Der Versuch 3.2.3 konnte aus zeitlichen Gründen nicht durchgeführt werden.

2. Theoretischer Teil

Siehe Protokoll „Elektronenstrahl-Oszilloskop, Digital-Speicher-Oszilloskop und Funktionsgenerator -Teil 1-“.

3. Praktischer Teil

Im Praktischen Teil werden die durchgeführten Versuche beschrieben und ausgewertet. Für die Versuche wurden die Oszilloskope TEKTRONIX 2213A und TEKTRONIX TDS 220, sowie die Funktionsgeneratoren AGILENT 33120A und TOELLNER 7401 eingesetzt.

3.1.4.3. Zusammenspiel Trigger / Kippgenerator

Für diesen Versuch benötigen wir einen Signalformer. Dieser erzeugt eine gedämpfte harmonische Schwingung. Die genaue Funktionsweise des Signalformers ist an dieser Stelle nicht von Interesse. An den Eingang des Signalformers legen wir eine Rechteckspannung aus dem Funktionsgenerator an (Frequenz: 10 kHz, Amplitude: ~ 5 V); den Ausgang legen wir an CH1 des Elektronenstrahl-Oszilloskops. Getriggert wird ebenfalls auf Kanal 1.

Wir erkennen auf dem Oszilloskopschirm eine Sinussignal, dessen Amplitude periodisch abnimmt. Die Frequenz des Signals bleibt dabei gleichmäßig. Bei einer Variation des Trigger-Level tauchen weitere Signale auf dem Oszilloskopschirm auf. Dieser Effekt wird durch Veränderungen an der SEC/DIV-Einstellung noch verstärkt. Bei einer Einstellung von $0,5\mu\text{s}$ wird das Bild unübersichtlich, da sehr viele Signale mit verschiedenen Amplituden zugleich dargestellt werden (siehe Abb. 1). Die Darstellung mehrerer Signale ist durch das Trigger-Level zu erklären: Verringert man das Trigger-Level, so lösen bei der gedämpften harmonischen Schwingung nicht nur die maximalen Amplituden den Trigger aus, sondern auch die kleineren folgenden Amplituden. Je nach Trigger-Level sind so unterschiedlich viele Signalverläufe auf dem Oszilloskopschirm zu sehen.

Abb. 1: Signalverlauf einer gedämpften harmonischen Schwingung

3.1.5. Quantitative Messung von Spannungssignalen

Bei diesem Versuch wird mit Hilfe eines Fotodetektors der zeitliche Verlauf der Lichtintensität einer Glühlampe und einer Leuchtstofflampe gemessen. Dazu schließen wir den Fotodetektor an CH 1 am Elektronenstrahl-Oszilloskop an und halten ihn nacheinander unter eine ans Stromnetz angeschlossene Schreibtischlampe und an die Leuchtstoffröhren der Deckenbeleuchtung. Dabei ergeben sich unterschiedliche Signalverläufe auf dem Oszilloskopschirm:

Glühlampe

Bei der Messung der Glühlampe erhalten wir eine gleichmäßige Sinusfunktion mit einer Frequenz von 100 Hz. Damit ist die gemessene Frequenz genau doppelt so groß wie die Frequenz der Netzspannung. Dies verwundert auf den ersten Blick, lässt sich aber ganz einfach erklären: Das Stromnetz wird mit einem sinusförmigen Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz betrieben. Die Glühlampe leuchtet aber pro Periode genau zweimal auf, nämlich bei der positiven und der negativen Halbwelle der Sinusfunktion. Daher ist die Frequenz der Glühlampe doppelt so groß wie die Frequenz der Netzspannung.

Leuchtstofflampe

Bei der Messung für eine Leuchtstoffröhre erhalten wir ein anderes Bild. Es handelt sich um eine sinusähnliche, aber asymmetrische Funktion. Die positive Halbwelle der Funktion hat einen weiteren und runderen Bauch als die negative Halbwelle. Die Frequenz beträgt ebenso wie bei der Glühlampe 100 Hz. Um dies richtig interpretieren zu können, müssen wir uns das Funktionsprinzip einer Leuchtstofflampe klar machen:

Nachdem die Lampe angeschaltet wurde, bleibt der Glimmstarter für ca. 0,5 – 2 Sekunden geschlossen. In dieser Zeit fließt der Strom durch beide Glühwendel der Lampe und heizt diese stark auf. Sobald sich der Glimmstarter öffnet, versucht die Spule den Stromfluss aufrecht zu erhalten. Da der Glimmstarter aber geöffnet ist, bleibt dem Strom nur noch der Weg durch das Gas in der Leuchtstoffröhre. Die Spannung steigt so lange an, bis ein Funke durch das Gas schlägt und so einen Kontakt zwischen beiden Glühwendeln herstellt. Dies geschieht durch die Aufheizung der Glühwendel recht leicht. Nun kommt es zu einem permanenten Elektronenstrom durch die Leuchtstoffröhre und die Lampe leuchtet.

Nun lässt sich auch erklären, warum das Signal des Fotodetektors für die Leuchtstofflampe anders aussieht als bei der Glühlampe. Dafür ist in erster Linie die Spule verantwortlich, welche

durch den induktiven Effekt das Signal für die Leuchtstofflampe verfälscht (vgl. Frage 9).

3.1.6. Scheitel- und Effektivwert der Netzspannung

Für diesen Versuch schließen wir einen hochohmigen Spannungsteiler (Verhältnis 100:1, Genauigkeit der Widerstände +/-1%) an das Stromnetz an und geben die Spannung über dem kleineren Widerstand auf CH1 des Elektronenstrahl-Oszilloskops. Bei einer SEC/DIV-Einstellung von 2 ms erhalten wir folgendes Oszilloskopbild:

Abb. 2: Scheitel- und Effektivwert der Netzspannung

Aus dem Oszilloskopbild können wir ablesen, dass es in einem Zeitintervall von 20 ms genau eine Schwingung gibt. Somit beträgt die Frequenz der Netzspannung $20 \text{ ms}^{-1} = 0,02 \text{ s}^{-1} = 50 \text{ Hz}$. Für die Amplitude lässt sich durch Ablesen ein Wert von ca. 3 V ermitteln. Da der Spannungsteiler die Spannung im Verhältnis 100:1 teilt, liegt der Scheitelwert der Netzspannung bei $3 \text{ V} * 100 = 300 \text{ V}$. Um den Effektivwert zu ermitteln, benutzt man folgende Formel:

$$U_{\text{Effektiv}} = \frac{U_{\text{Scheitelwert}}}{\sqrt{2}} \qquad U_{\text{Effektiv}} = \frac{300 \text{ V}}{\sqrt{2}} \approx 212,13 \text{ V}$$

Unsere Messungen haben also einen Effektivwert von 212,13 V ergeben. Der theoretische Wert liegt bei 230 V. Bei einer Rechteckspannung wären der Effektivwert und der Scheitelwert gleich und in unserem Falle bei 300 V. Das ist dadurch zu erklären, dass eine Rechteckspannung nur aus zwei Extremstellen ohne Zwischenwerten besteht. Die sinusförmige Netzspannung hingegen hat zwischen den Extremstellen an- und absteigende Zwischenwerte zu bewältigen. Dadurch ist der Effektivwert einer Sinusspannung geringer als ihr Scheitelwert (vgl. Frage 10).

Zum Verständnis sei eine weitere Beispielaufgabe angeführt (vgl. Frage 11):

Das Typenschild einer Heizplatte trägt die Angabe „220 V / 1,5 kW“. Wie groß sind Effektiv- und Scheitelwert des durch die Heizplatte fließenden Stromes?

Gesucht ist die effektive Stromstärke sowie deren Scheitelwert.

Gemäß dem Ohm'schen Gesetz gilt:

$$P = U \cdot I \Leftrightarrow I = \frac{P}{U} \quad P = \text{Leistung, } U = \text{Spannung, } I = \text{Stromstärke}$$

Da die Heizplatte bei einer Spannung von 220 V eine Leistung von 1,5 kW erzeugt, gilt für die Effektivspannung:

$$I_{\text{Effektiv}} = \frac{P_{\text{Effektiv}}}{U_{\text{Effektiv}}} = \frac{1500 \text{ W}}{220 \text{ V}} \approx 6,82 \text{ A}$$

Um den Scheitelwert zu bestimmen, müssen wir die Scheitelwerte der Netzspannung und der Leistung kennen. Diese ergeben sich, indem man die bekannten Effektivwerte mit Wurzel 2 multipliziert.

Somit ergibt sich für den Scheitelwert der Heizplatte:

$$I_{\text{Scheitelwert}} = \frac{P_{\text{Scheitelwert}}}{U_{\text{Scheitelwert}}} = \sqrt{2} \cdot \frac{1500 \text{ W}}{220} \text{ V} \approx 9,64 \text{ A}$$

3.1.7. Lissajous-Figuren

Auf dem Oszilloskopschirm entstehen so genannte Lissajous-Figuren, wenn man zwei harmonische Signale in geeigneten Verhältnissen überlagert. Dazu müssen wir am Oszilloskop den XY-Betrieb wählen, welcher die Eingangssignale aus CH1 und CH2 in einer Funktion gegeneinander aufträgt. Dabei kommen je nach Phasenverschiebung verschiedene Figuren zum Vorschein. Es sind zwei Extremwerte zu beobachten, nämlich die Momente, in denen sich die beiden Signale in Phase oder außer Phase befinden (vgl. Frage 12).

Eine Lissajous-Figur aus der Überlagerung zweier Sinussignale im Amplitudenverhältnis 1:2 und im Frequenzverhältnis 2:3 sieht zum Beispiel wie folgt aus (vgl. Frage 12):

Abb. 3: Lissajous-Figur zur Frage 12

Für den Versuch benötigen wir zwei Funktionsgeneratoren. Der Funktionsgenerator AGILENT 33120A wird auf eine feste Frequenz von $f_1 = 50$ Hz eingestellt und an CH1 des Elektronenstrahl-Oszilloskops angeschlossen. Den Funktionsgenerator TOELLNER 7401 schließen wir an CH2 an und stellen die Frequenz nacheinander auf $f_2 = (25, 50, 100, 150, 200)$ Hz ein. Dabei waren folgende Lissajous-Figuren zu erkennen:

Abb. 4: Lissajous-Figuren zum Versuch 3.1.7

Anhand der Form der Lissajous-Figuren lassen sich Aussagen zum Frequenzverhältnis der beiden Eingangssignale machen: Haben beide Signale die selbe Frequenz, also $f_1 = f_2 = 50$ Hz, entsteht als Lissajous-Figur in Phase ein Strich und außer Phase ein Kreis. Bei Frequenzen f_2 die größer sind als f_1 , sehen wir Lissajous-Figuren, deren „Bauch“anzahl dem Frequenzverhältnis von f_1 zu f_2 entspricht.

Die Bilder der Lissajous-Figuren sind auf dem Oszilloskopschirm nur schwer stabil zu halten, da sie nur entstehen, wenn die Frequenzen f_1 und f_2 in einem exakten, ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen (zum Beispiel 1:1, 1:2, 2:3, etc). Da zwei Funktionsgeneratoren bedient werden müssen, führt schon die kleinste Abweichung an einer Einstellung zu Abweichungen und Ungenauigkeiten im Bild. Daher lassen sich stabile Lissajous-Figuren nur mit sehr exakten Einstellungen an beiden Funktionsgeneratoren erreichen (vgl. Frage 13).

3.2. Messungen mit dem Digital-Oszilloskop

Die folgenden Messungen werden mit dem Digital-Oszilloskop TEKTRONIX TDS 220 durchgeführt. Nachdem das Gerät eingeschaltet wurde, führt es einen kurzen Selbsttest durch.

Dannach können die Messungen beginnen. Die Arbeit mit dem Digital-Oszilloskop gestaltet sich durch die AUTOSET-Funktion recht komfortabel: Das Oszilloskop ist dazu in der Lage, automatisch sinnvolle Parameter für die x- und y-Ablenkung zu wählen. Das bedeutet, dass man während einer Messung durch drücken der AUTOSET-Taste sofort ein brauchbares Bild auf dem Oszilloskopschirm hat, während man beim Elektronenstrahl-Oszilloskop erst mit Hilfe der SEC/DIV- und VOLTS/DIV-Funktion nach geeigneten Einstellungen suchen muss.

3.2.1. Quantitative Messung von Spannungssignalen

Für diesen Versuch benutzen wir wieder den aus Versuchsteil 3.1.4.3. bekannten Signalformer. Dieser wird am Eingang mit einem Funktionsgenerator verbunden und auf Kanal 1 des Oszilloskops gelegt. Wir erzeugen nun eine gedämpfte harmonische Schwingung auf dem Oszilloskopschirm. Mit Hilfe der CURSOR können wir nun quantitative Messungen durchführen. Die CURSOR können in x- und y-Richtung mit den POSITION-Reglern an die Funktion herangelegt werden. Auf dem Oszilloskopschirm wird direkt der momentane x- bzw. y-Wert für den jeweiligen CURSOR angezeigt. Auf diese Weise erhalten wir für die gedämpfte harmonische Schwingung folgende Ergebnisse:

(a) Frequenz der gedämpften Schwingung

$$\text{Frequenz} = \frac{1}{1,44 \mu\text{s}} = \frac{1}{1,44 \cdot 10^{-6} \text{s}} \approx 694444,44 \text{ Hz} \approx 694,44 \text{ kHz}$$

(b) Spannungsamplituden U_i der ersten sieben Teilschwingungen

i	U_i
1	3,56 V
2	1,84 V
3	1,00 V
4	520 mV
5	280 mV
6	160 mV
7	120 mV

Tab. 1: Spannungsamplituden U_i der Teilschwingungen i

(c) Wiederholrate der gedämpften Schwingungen

$$\text{Wiederholrate} = \frac{1}{37,6 \mu\text{s}} = \frac{1}{37,6 \cdot 10^{-6} \text{s}} \approx 26595,74 \text{ Hz} \approx 26,6 \text{ kHz}$$

Abb. 5: Der Spannungsverlauf U_i als Funktion von t

Der Spannungsverlauf lässt sich auch durch folgende Funktion ausdrücken:

$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

Für die Darstellungen U_i über der Zeit t und $\log(U_i/1 \text{ V})$ über t ergeben sich folgende Schaubilder (für die Konstanten wurden beliebige Werte gewählt):

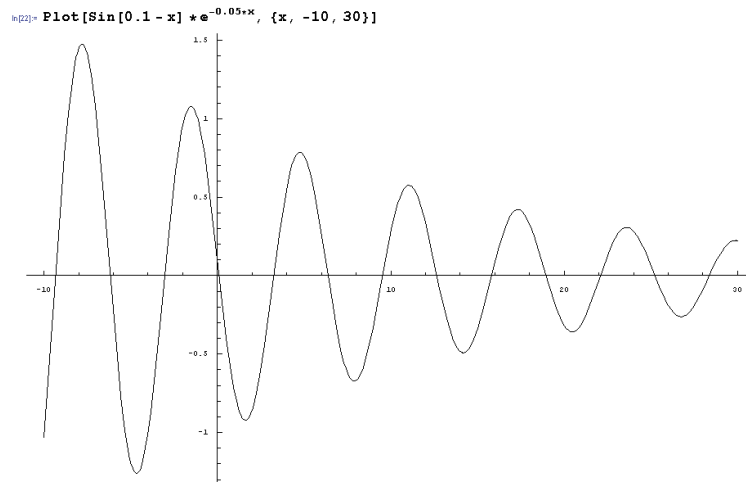


Abb. 6: Darstellung von U_i über der Zeit t laut der Funktion $U(t)$

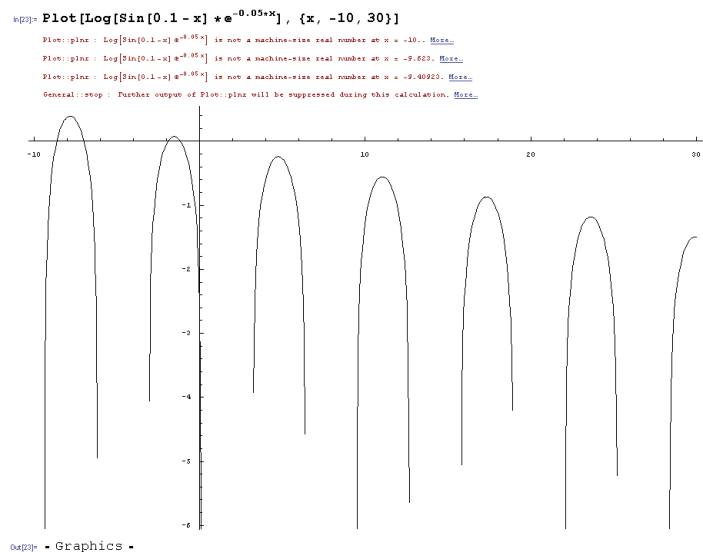


Abb. 7: Darstellung von $\log(U_i / 1 \text{ V})$ über der Zeit t

3.2.2. Frequenzstabilität eines Strobokops

Für diesen Versuch legen wir auf Kanal 1 des Oszilloskops das Signal eines Fotodetektors. Dieser wird zusammen mit einem Stroboskop unter eine Abdeckung gelegt. Wir stellen am Stroboskop eine Wiederholrate von 30 Hz ein führen mehrere Messungen durch. Dazu stellen wir den Triggermodus auf SINGLE SHOT und betätigen bei jeder Einzelmessung die Taste

RUN/STOP. Dadurch wird ein Impulsverlauf gespeichert und bis zum nächsten Versuchsdurchlauf auf dem Oszilloskopschirm dargestellt. Diese Messung wiederholen wir zehnmal und messen mit Hilfe des Zeit-CURSORS den Abstand zwischen zwei Impulsen. Folgende Ergebnisse wurden dabei erzielt:

<i>Messung</i>	<i>T</i>
1	57,6 ms
2	56,8 ms
3	58,0 ms
4	57,2 ms
5	57,2 ms
6	57,6 ms
7	56,8 ms
8	58,4 ms
9	57,2 ms
10	58,4 ms

Anhand unserer Messergebnisse erhalten wir folgenden Mittelwert für die Periodendauer:

$$\bar{T} = \frac{1}{10} \cdot \sum_{i=1}^{10} T_i = 57,52 \text{ ms}$$

Die maximale Zeitspanne ΔT , um die ein Messwert T vom Mittelwert abweicht, beträgt in unserem Fall:

$$\Delta T = T_{i(\text{Max})} - \bar{T} = 58,4 \text{ ms} - 57,52 \text{ ms} = 0,88 \text{ ms}$$

Die maximale Abweichung und damit die Frequenzstabilität des Stroboskops beträgt also 0,88 ms.

3.2.3 Prellvorgang an einem Schalter

Dieser Versuch konnte aus Zeitgründen leider nicht durchgeführt werden.

4. Anhang

4.1. Quellen

- [1] Skript zum Anfängerpraktikum Physik I, CvO Universität Oldenburg, Institut für Physik, Oktober 2005
- [2] dtv-Atlas Physik, Band 1, Deutscher Taschenbuch Verlag, 7. Auflage, August 2004
- [3] dtv-Atlas Physik, Band 2, ebd.
- [4] <http://de.wikipedia.org/wiki/Oszilloskop>
- [5] <http://www.elektronikinfo.de/strom/gasentladungslampen.htm>
- [6] <http://de.wikipedia.org/wiki/Effektivwert>
- [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/Spannungsform>