

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: PHYC03UF

Übungstitel: Oszillograph

Betreuer: Philipp Christ

Gruppennummer: 1

Name: PHILIPP Maximilian

Name: STARK Matthias

Mat. Nr.: 11839611

Mat. Nr.: 12004907

Datum der Übung: 10 Dezember

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Grundlagen	4
2.1	Aufbau eines Kathodenstrahloszilloskops	4
2.2	Normalbetrieb, Triggerung	5
2.3	xy - Betrieb	6
2.4	Wandler	6
3	Versuchsanordnung	7
4	Geräteliste	8
5	Versuchsdurchführung & Messergebnisse	9
5.1	Kennenlernen des Kathodenstrahloszilloskops	9
5.2	Serienschaltung aus ohm'schen Widerstand und Kapazität	10
5.3	Serienschwingkreis	13
6	Auswertung	16
6.1	Serienschaltung aus ohm'schen Widerstand und Kapazität	16
7	Diskussion	20
7.1	Kennenlernen des Kathodenstrahloszilloskops	20
7.2	Serienschaltung aus ohm'schen Widerstand und Kapazität	20
7.3	Serienschwingkreis	20
8	Zusammenfassung	23
9	Anmerkungen	23

1 Aufgabenstellung

- Kennenlernen des Kathodenstrahlzosiloskops. Stellen Sie einige Lissajous-Figuren auf dem Kathodenstrahlzosiloskop dar. Beschreiben Sie kurz, wie damit grob der Frequenzunterschied von zwei Signalen ermittelt werden kann. Gehen Sie dazu wie folgt vor:
 - Schließen sie je einen Funktionsgenerator an je einen Kanal des Oszilloskops an.
 - Stellen Sie eine feste Frequenz an einem der beiden Funktionsgeneratoren ein.
 - Verändern sie jetzt die Frequenz am anderen Funktionsgenerator und beobachten sie den Schirm des Oszilloskops.
 - Wann bekommen sie ein stehendes Bild? Wann entstehen Kreuzungspunkte?
- Bauen Sie eine Serienschaltung aus einem ohm'schen Widerstand ($R = 200 \text{ k}\Omega$) und einer Kapazität ($C = 1 \mu\text{F}$) auf. Verwenden Sie für die folgenden Unterpunkte das digitale Oszilloskop. Lesen sie die Messdaten über den PC ein und stellen sie Strom und Spannung am Kondensator über der Zeit dar. Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf von Strom und Spannung am Kondensator für:
 - eine sinusförmige Speisespannung von $(50 \pm 1) \text{ Hz}$
 - eine rechteckförmige Speisespannung von $(50 \pm 1) \text{ Hz}$
 - Bestimmung der Abklingzeit für den Fall der rechteckförmigen Speisespannung von $(50 \pm 1) \text{ Hz}$: Exportieren Sie den Spannungsabfall über den PC und plotten ihn mit Hilfe eines Datenanalyseprogramms. Fitten Sie die Funktion und bestimmen Sie so die Zerfallskonstante. Überprüfen Sie Ihr Ergebnis durch vergleichen mit dem zu erwartenden Wert für $\tau = RC$.

Erklären Sie die Ergebnisse.

- Bauen Sie einen Serienschwingkreis nach Abbildung 6 mit $R = 200 \Omega$ und $C = 1 \mu\text{F}$ auf. Als Induktivität verwenden sie zwei in Serie geschaltete Spulen ($n = 500$) mit beweglichem Eisenkern. Zeichnen Sie mit dem digitalen Oszilloskop die folgenden Fälle des Serienschwingkreis bei $(50 \pm 1) \text{ Hz}$ auf:
 - Kriechfall
 - Aperiodischer Grenzfall
 - Schwingfall

Sie können durch verschieben des Eisenkerns in der Spule die Induktivität verändern und wechseln so zwischen den oben angeführten Fällen.

2 Grundlagen

2.1 Aufbau eines Kathodenstrahloszilloskops

Ein Oszilloskop dient im allgemeinen zur Darstellung zeitlicher Verläufe von elektrischen Spannungssignalen. Die Auslenkung am Schirm ist dabei der angelegten Spannung proportional. Sollen andere physikalische Größen dargestellt werden, so sind entsprechende Wandler notwendig.

In der Braun'schen Röhre des Kathodenstrahloszilloskops (siehe Abbildung 1) werden von der geheizten Kathode K Elektronen emittiert und gegen die Anode A hin beschleunigt. Durch eine Öffnung können die Elektronen diese durchsetzen. Durch die an die Horizontal- P_x bzw. Vertikalablenkplatten P_y angelegten Spannungen U_x bzw. U_y werden sie abgelenkt, und treffen auf den Leuchtschirm LS .

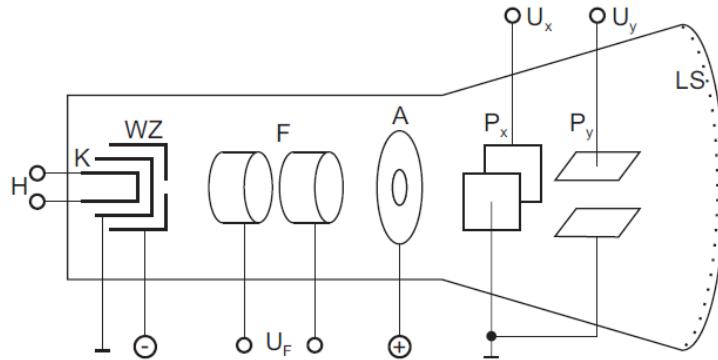


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Braun'schen Röhre. H Heizdraht; K Kathode; WZ Wehnelt-Zylinder; F Fokussierelektroden; U_F Fokussierspannung; A Anode; P_x, P_y Platten für Horizontal- und Vertikalablenkung; U_x, U_y Spannungen für horizontale und vertikale Ablenkung; LS Schirm mit Leuchtstoff.

Um die Stärke des Elektronenstrahls und somit die Helligkeit des Bildes zu regeln, kann die negative Spannung am Wehnelt-Zylinder WZ variiert werden. Damit können diesen nur Elektronen mit einer hinreichend großen Energie verlassen. Zur Fokussierung des Strahls werden meist elektrische Linsen F verwendet. Die notwendige Fokussierspannung U_F ist unter anderem von der Intensität des Elektronenstrahls abhängig.

Das Blockschaltbild eines einfachen, triggerbaren (s. Unterabschnitt 2.2) Zweikanal-Oszilloskops ist in Abbildung 2 zu sehen. Die an den Kanälen 1 und 2 anliegenden Spannungen können gefiltert und verstärkt, sowie in der Position verschoben werden. Im AC-Betrieb ist, anders als im DC-Mode, der Kondensator (s. Abbildung 2) nicht durch den Schalter kurzgeschlossen, weshalb die Nulllinie am Oszilloskop der Zeitmittelwert der untersuchten Spannung ist. Zu beachten ist der Spannungsabfall von zwar rein periodischen Spannungen mit niedriger Frequenz. Hier kann es zu Verzerrungen im AC-Modus kommen (Versuch: Rechtecksignal bei (50 ± 1) Hz).

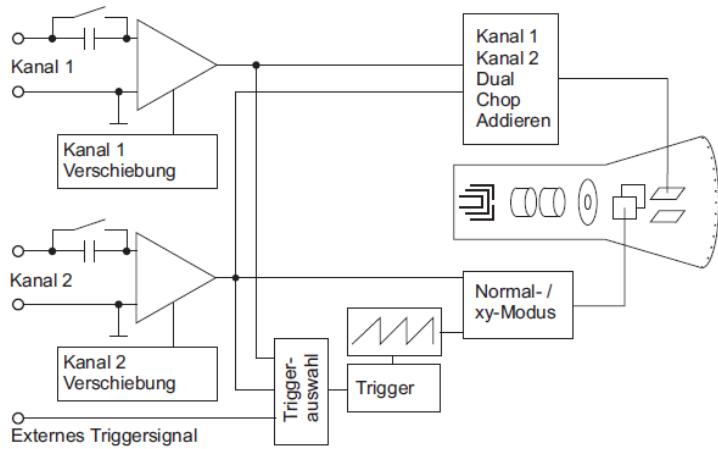


Abbildung 2: Blockschaltbild eines einfachen triggerbaren Zweikanal-Oszilloskops

Im Normalbetrieb kann gewählt werden, ob nur ein Kanal oder beide angezeigt werden. Auch eine Addition der Kanäle ist möglich. In diesen Betriebsarten liegt an den horizontalen Ablenkplatten eine Sägezahnspannung an, die über einen Trigger angesteuert wird.

Im xy-Modus liegt Kanal 1 an der y-Ablenkung, Kanal 2 an der x-Ablenkung. Sägezahn sowie Triggerung sind in diesem Modus unbenutzt.

2.2 Normalbetrieb, Triggerung

An die Horizontalablenkung wird eine Sägezahnspannung gelegt, das heißt, der Kathodenstrahl wird mit konstanter Geschwindigkeit über den Schirm bewegt. Ist er am rechten Rand angekommen, so wird er rasch an den linken zurückbewegt. In dieser Zeit wird der Elektronenstrahl abgeschaltet. Wird ohne Triggerung gearbeitet, so startet der Sägezahn sofort wieder (dies ist beim Hameg HM 203-6 Oszilloskop z.B. dann der Fall, wenn im automatischen Triggermodus kein Triggerpuls gefunden wird).

An der y-Ablenkung liegt im Einkanal-Betrieb einer der beiden Kanäle an. Im Zweikanal-Betrieb wird zuerst der eine Kanal ganz gezeichnet, mit dem nächsten Sägezahnpuls der andere. Bei sehr langsamem Signalen führt dies zu einem störenden Flackern der Messkurven. In diesem Fall kann auf Chop-Betrieb umgestellt werden, d.h. während eines Sägezahnpulses werden wechselweise Kanal 1 und 2 dargestellt.

Um für periodisch wiederkehrende Signale ein stehendes Bild zu erhalten, wird in den heute üblichen Oszilloskopen die Triggerung verwendet (vgl. Abbildung 3). Die Spannung an der Horizontalablenkung wird so gewählt, dass sich der Elektronenstrahl am linken Schirmrand befindet, die Intensität ist Null (Ruhestellung). Über- bzw. unterschreitet die Triggerspannung U_y einen vorgegebenen Wert (Triggerlevel), so startet der Sägezahn und das Signal wird auf den Schirm geschrieben. Ist der Strahl am rechten Rand angelangt, so kehrt er in die Ruhestellung zurück und wartet auf den nächsten Triggerpuls.

Bei älteren Geräten wurde ein stehendes Bild dadurch erzeugt, dass die Periodendauer des Sägezahns mit jener des Signals synchronisiert wurde.

Zur Darstellung nicht periodischer Signale werden Speicheroszilloskope verwendet. Dabei wird das zu untersuchende Signal zwischengespeichert und der Inhalt des Speichers am Schirm angezeigt.



Abbildung 3: Triggerung: U_y zu messendes Signal, dient hier **Abbildung 4:** Kalibrierung gleichzeitig zur Triggerung; U_x von Trigger und Sägezahngenerator erzeugte Spannung für Horizontalablenkung.

des Spannungs- bzw. Zeitalbenkfaktors.

2.3 xy - Betrieb

Der xy-Betrieb des Kathodenstrahloskops wird zur Darstellung von funktionalen Abhängigkeiten zwischen zwei zeitabhängigen Größen $U_x \hat{=} x(t)$ und $U_y \hat{=} y(t)$ verwendet. Dabei wird U_y an die Vertikalablenkung (Kanal 1) und U_x an die Horizontalablenkung (Kanal 2) gelegt, am Schirm wird damit $y = f(x)$ dargestellt.

Eine Anwendung ist die Darstellung von Kennlinien elektrischer Bauelemente, vgl. Praktikumsübung "Halbleiterdiode". Weiters können unter Zuhilfenahme von Lissajou-Figuren die Frequenzen zweier Signale angeglichen bzw. Frequenzverhältnisse gemessen werden. Auch die Bestimmung von kleinen Phasenverschiebungen zwischen zwei Signalen ist so möglich.

Werden im xy-Betrieb beide Kanäle gleichzeitig auf Erdpotential gelegt, so ist nur mehr ein Punkt am Bildschirm zu sehen. Diese Einstellung sollte vermieden werden, weil der Fluoreszenzbelag durch andauernde Bestrahlung zerstört werden kann.

2.4 Wandler

Sollen andere Größen als Spannungen am Oszilloskop gemessen werden, so müssen diese in Spannungen umgewandelt werden. Zur Messung von elektrischen Strömen werden ohm'sche Widerstände als Wandler verwendet, für Temperaturen z.B. Thermoelemente, für Magnetfelder Hallsonden, etc. Die Bestimmung der jeweiligen Ablenkfaktoren (z.B. A/cm) kann entweder durch das Anlegen bekannter Signale oder die Ausnutzung physikalischer Zusammenhänge im Wandler (z.B. $U = RI$) geschehen.

3 Versuchsanordnung

Zur Bestimmung des zeitlichen Verlaufs von Strom und Spannung an einem Kondensator wird ein Aufbau nach Abbildung 5 verwendet. Ein spezieller Trenntrafo T dient zur Trennung des erdbehafteten Signals aus F von der Erde. Dennoch ist zu beachten, dass Erdschleifen über das Oszilloskop vermieden werden.

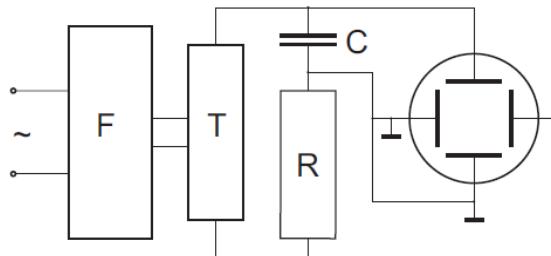


Abbildung 5: Aufbau zur Messung des zeitlichen Verlaufs von Strom und Spannung an einer Kapazität C .

Ein geschlossener Stromkreis, bestehend aus einer Kapazität, einer Induktivität und einem Widerstand, stellt einen gedämpften elektrischen Schwingkreis dar (siehe Abbildung 6). Im Falle eines Serienschwingkreis gilt die Maschenregel:

$$u_C + u_L + u_R = 0 \quad (1)$$

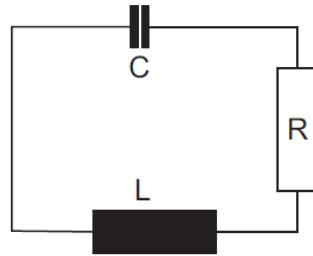
Setzt man $u_L = L di/dt$, $u_R = Ri$, folgt durch Differenzieren von Glg. 1 und mit $i_c = C du_c/dt$ die Differentialgleichung des Schwingkreises:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + i \frac{1}{LC} = 0 \quad (2)$$

Mit Hilfe der charakteristischen Gleichung (Glg. 3) können drei Fälle unterschieden werden.

- 1. $R^2C - 4L > 0$: zwei reelle Lösungen \Rightarrow Kriechfall
- 2. $R^2C - 4L = 0$: eine reelle doppelte Lösungen \Rightarrow Aperiodischer Grenzfall
- 3. $R^2C - 4L < 0$: zwei imaginäre Lösungen \Rightarrow Schwingfall

$$\lambda^2 + \lambda \frac{R}{L} + \frac{1}{LC} = 0 \quad (3)$$

**Abbildung 6:** Serienschwingkreis

Im, in der Übung vorliegenden Fall, wird der Schwingkreis durch einen Frequenzgenerator als Spannungsquelle periodisch mit einer rechteckförmigen Spannung angeregt. Es sollen die drei unterschiedlichen Verhaltensweisen des Schwingkreises mit dem Oszilloskop aufgenommenen werden. Es wird sich zeigen, dass der Strom/Spannungsverlauf von den gewählten Bauteilgrößen abhängen wird.

4 Geräteliste

Für die Messungen wurden folgende Geräte verwendet:

Tabelle 1: Verwendete Geräte

Gerät	Typ	Hersteller
Digitales Oszilloskop	DS1052E	Rigol
Analoges Oszilloskop	HM203-6	Hameg
Computerprogramm	Ultrascope	
Funktionsgenerator	FG-5000 (VII/1287/1)	Wavetek
Trenntrafo	30 Vpp Max	
Widerstand	1000 Ω	
Widerstand	200 Ω (C6)	
Kondensator	1 μF	
4 Spulen	500 Windungen	
Eisenkerne	E23 / VII/816/1	
Kabel	Bananenstecker	
Kabel	Koaxialanschluss	

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

5.1 Kennenlernen des Kathodenstrahloszilloskops

Dieser Teil des Versuchs wird vom Laborbetreuer durchgeführt, indem 2 Frequenzgeneratoren an das Kathodenstrahloszilloskop auf Kanal 1 und 2 angeschlossen werden. Nun werden die Frequenzen variiert und der Bildschirm des Oszilloskops betrachtet. Wird bei beiden Generatoren annähernd die selbe Frequenz eingestellt, entsteht ein Kreis, welcher solange rotiert, bis die Frequenzen exakt gleich sind. An der Rotationsgeschwindigkeit kann bestimmt werden, wie weit entfernt die Frequenzen voneinander sind. Die erhaltenen Bilder werden "Lissajou Figuren" genannt. Sind auf den beiden Kanälen nicht die selben Amplituden eingestellt, wird anstatt des Kreises eine Ellipse sichtbar, anhand deren Ausrichtung die Amplitudenverhältnisse bestimmt werden können.

Nun wird am 2. Frequenzgenerator eine deutlich größere Frequenz eingestellt. Handelt es sich dabei um ein Vielfaches des anderen Frequenz, so entstehen Knotenpunkte, wie beispielsweise für die Frequenzen von 50 Hz und 200 Hz in folgender Abbildung 7 ersichtlich. Da 3 Knotenpunkte sichtbar werden handelt es sich um das Verhältnis 1:4, was sich auch mit den Werten deckt. Auch hier ergibt sich nur dann ein stehendes Bild, wenn die Frequenzen einem genauen Vielfachem entsprechen.

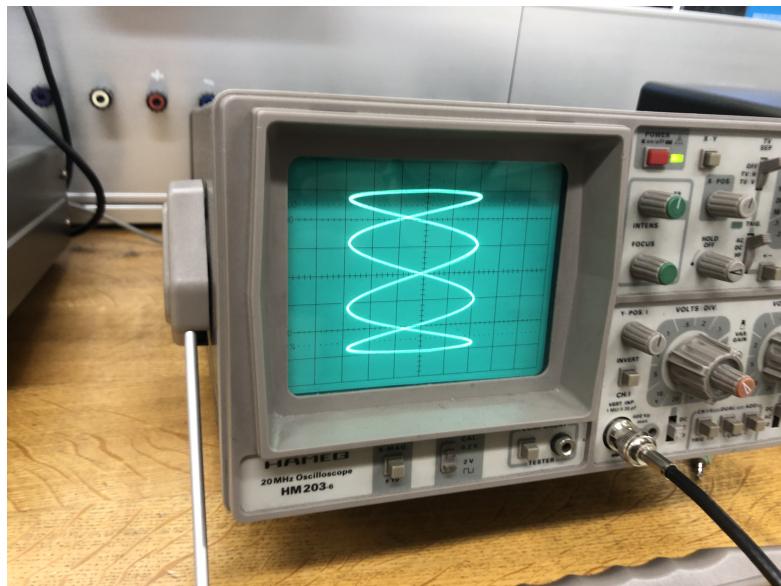


Abbildung 7: Lissajou Figur mit 3 Knotenpunkten

5.2 Serienschaltung aus ohm'schen Widerstand und Kapazität

Der weitere Versuch wird mithilfe des digitalen Oszilloskops durchgeführt. Zunächst wird der Versuch nach der Skizze in Abbildung 5 aufgebaut, wodurch sich folgende Schaltung ergibt.

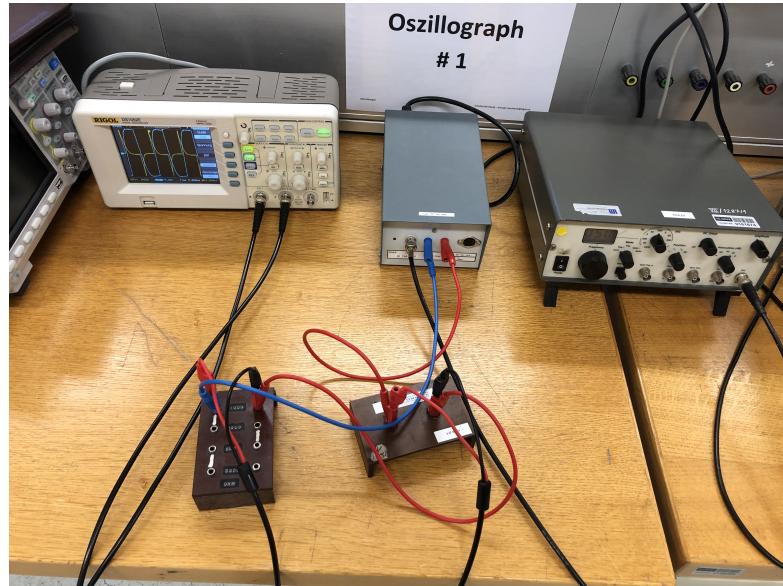


Abbildung 8: Versuchsaufbau für die Serienschaltung aus ohm'schen Widerstand und Kapazität

Für diesen Teil des Versuchs wird ein Widerstand von $(1000 \pm 100) \Omega$, sowie ein Kondensator mit einer Kapazität von $(1,00 \pm 0,10) \mu\text{F}$ verwendet. Das Ausgangssignal des Generators beträgt $(50 \pm 1) \text{ Hz}$. Beim Oszilloskop ist zu beachten, dass das Signal auf CH1 noch invertiert werden muss, um sicherzustellen, dass die Phasenverschiebung richtig dargestellt wird. Zunächst wird eine Sinusspannung angelegt, wodurch folgende Grafik am Oszilloskop entsteht.

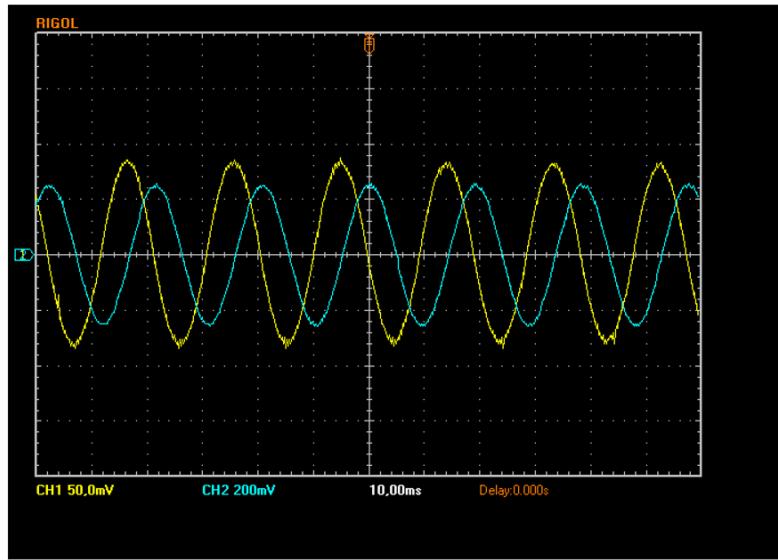


Abbildung 9: Aufgezeichnetes Signal am Oszilloskop bei einer Sinusspannung mit einer Frequenz von (50 ± 1) Hz

Dabei ist zu beachten, dass es sich bei beiden Kurven um Spannungen handelt, die um den Faktor 1000 proportional zum Strom skaliert sind.

Die so erhaltene Grafik wird mithilfe des Computerprogramms "Ultrascope" ausgewertet und die erhaltenen Daten als "xls-Datei" abgespeichert.

Nun wird eine Rechteckspannung mit einer Frequenz von (50 ± 1) Hz angelegt, wodurch sich folgende Grafik ergibt.

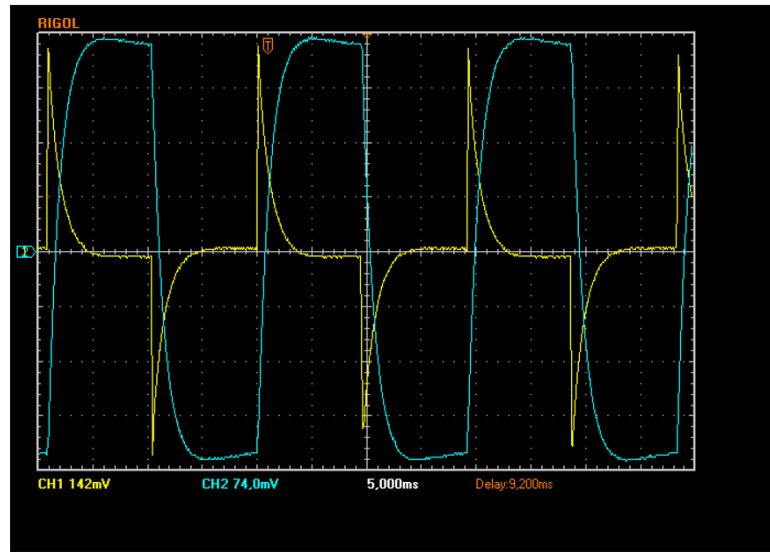


Abbildung 10: Aufgezeichnetes Signal am Oszilloskop bei einer Rechteckspannung mit einer Frequenz von (50 ± 1) Hz

Um nun die Abklingzeit der Rechteckspannung zu bestimmen wird das zuvor bestimmte Signal am Oszilloskop vergrößert, sodass nur noch eine Periode sichtbar wird, wodurch folgende Grafik entsteht.

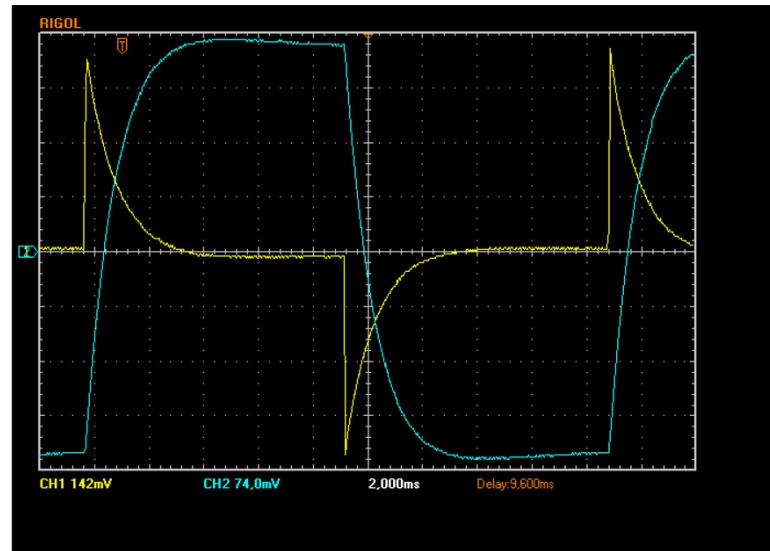


Abbildung 11: Vergrößerter Ausschnitt des aufgezeichneten Signal am Oszilloskop bei einer Rechteckspannung mit einer Frequenz von (50 ± 1) Hz

Auch diese Grafik und Daten werden mithilfe des Computerprogramms “Ultrascope“ gespeichert. Weil die so erhaltenen Daten nur als “xls-Datei“ gespeichert wurden und so

nicht weiterverwendet werden können, werden diese nochmals separat direkt am Oszilloskop als “CSV-Datei“ abgespeichert.

5.3 Serienschwingkreis

Für diesen Teil des Versuchs wurde der Stromkreis nach der Skizze in Abbildung 6 aufgebaut, wodurch sich folgender Aufbau ergibt. Das Oszilloskop wird dabei über den Widerstand in den Stromkreis angeschlossen.

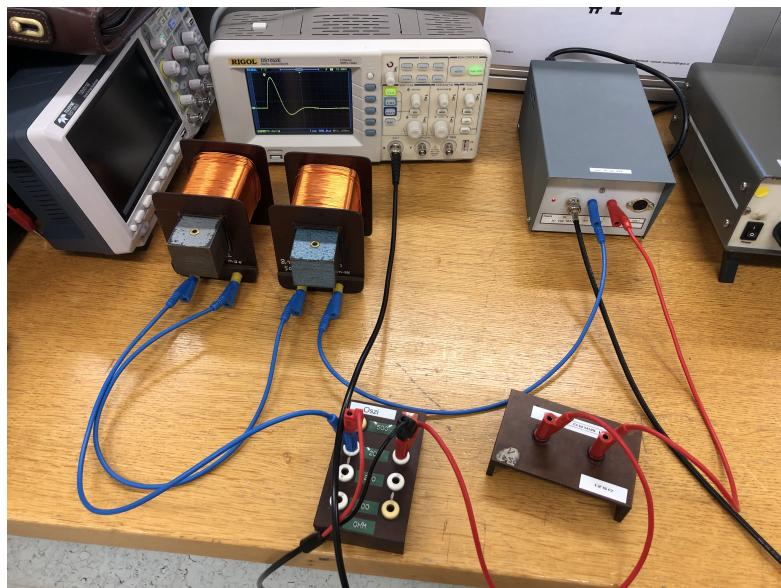


Abbildung 12: Versuchsaufbau für den Serienschwingkreis

Um die einzelnen Schwingfälle zu ermöglichen, werden in die Spulen der Reihe nach Eisenkerne eingeschoben.

Ohne die Eisenkerne ergibt sich folgende Grafik, die den Kriechfall darstellt.

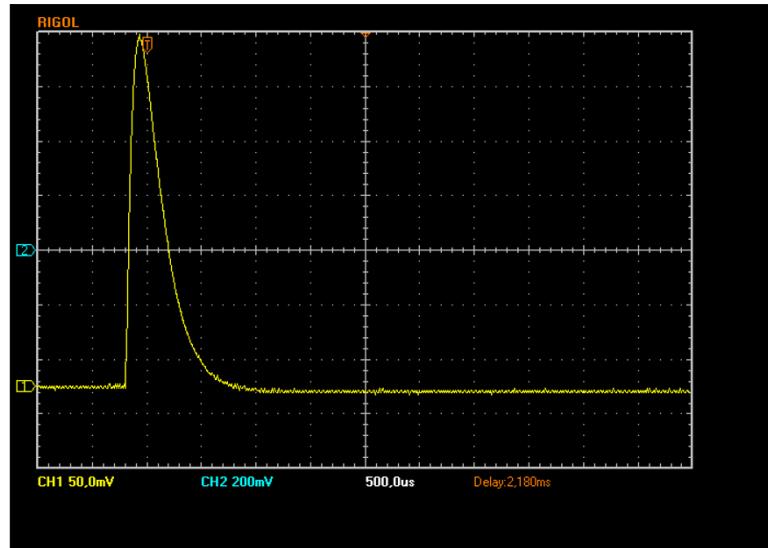


Abbildung 13: Aufgezeichnetes Signal des Kriechfalls

Nun wird ein Eisenkern so weit in die erste Spule eingeschoben, wie in Abbildung 15 ersichtlich, bis die Kurve kurz vor dem Durchschwingen ist, was den aperiodischen Grenzfall darstellt, wie in folgender Grafik ersichtlich.

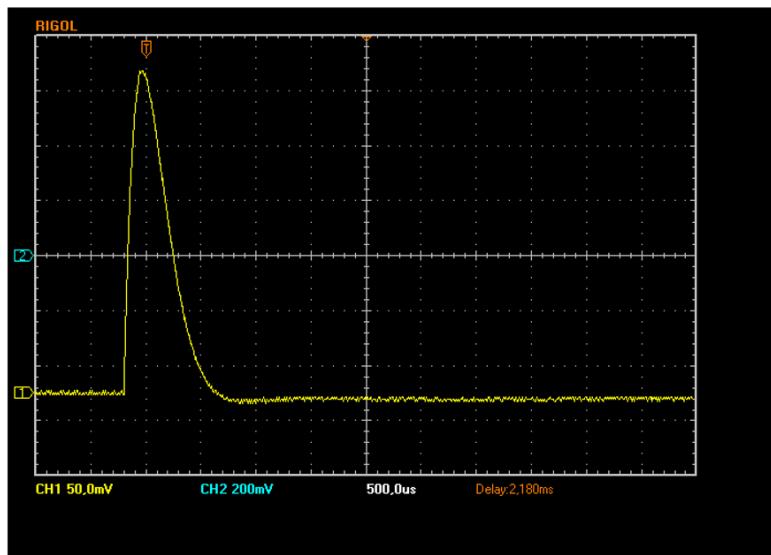


Abbildung 14: Aufgezeichnetes Signal des Grenzfalls



Abbildung 15: Eingeschobener Eisenkern für den Kriechfall

Zuletzt werden beide Eisenkerne noch in die Spulen eingeschoben, was den Schwingfall des Serienschwingkreises repräsentiert, wie in folgender Grafik sichtbar.

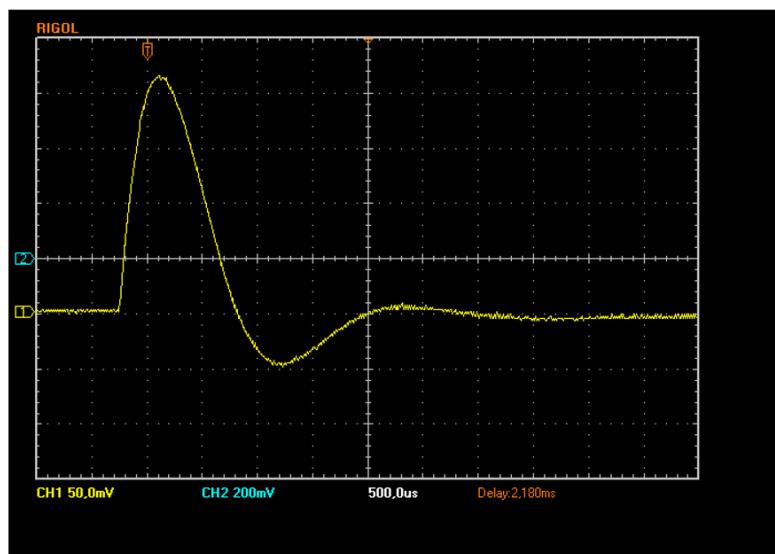


Abbildung 16: Aufgezeichnetes Signal des Schwingfalls

6 Auswertung

Um zu sehen wie sich die Unsicherheit der Messungen bis in die Ergebnisse fortplanzt, ist Gleichung 4 verwendet worden. Die Grundlagen dieser Gleichung stammen von den Powerpointfolien von GUM.[3] Die Verallgemeinerung ist von Wikipedia entnommen worden [1]. Für die Auswertung ist die Programmiersprache Python im speziellen das Packet `scipy`, zur Hilfe genommen worden.

$$V_y = J(x) \cdot V_x \cdot J^T(x) \quad (4)$$

Wobei V_y und V_x die Kovarianzmatrizen von den Vektoren \mathbf{y} und \mathbf{x} sind. \mathbf{x} ist der Vektor der Eingangsvariablen und \mathbf{y} ist der Vektor der Ausgangsvariablen. J ist die Jakobimatrix der vektorwertigen Funktion $\mathbf{y} = \vec{F}(\mathbf{x})$. So lassen sich die Komponenten der Matrix relativ einfach anschreiben $J_{ij}(x) = \frac{\partial y_i}{\partial x_j}(x)$. Damit man die Unsicherheit der einzelnen Variablen y_i bekommt, muss nur die Quadratwurzel des i-ten Diagonalelementes der \mathbf{y} -Kovarianzmatrix genommen werden $u_i = \sqrt{\text{diag}(V_y)_i}$. Da in diesem Experiment meistens nur skalare Funktionen untersucht werden, vereinfacht sich die Gleichung 4 dramatisch und die Unsicherheit der Variable y lässt sich einfach so berechnen:

$$u_y = \sqrt{\text{grad}y^T \cdot V_x \cdot \text{grad}y} \quad (5)$$

Für die Unsicherheit der Bauteile wurde dabei ein Wert von 10 % angenommen.

6.1 Serienschaltung aus ohm'schen Widerstand und Kapazität

Zunächst wurde bei der Sinusschwingung die Phasenverschiebung berechnet. Der Strom im Schaltkreis wird nach folgender Gleichung 6 berechnet:

$$I = \frac{U_R}{R} \quad (6)$$

Um die Zerfallskonstante $\lambda = \frac{1}{\tau}$ zu bestimmen, wird der entsprechende Bereich vom Entladenvorgang aus den aufgezeichneten Daten extrahiert und mit einer Exponentialfunktion gefittet, wodurch folgende Grafik entsteht.

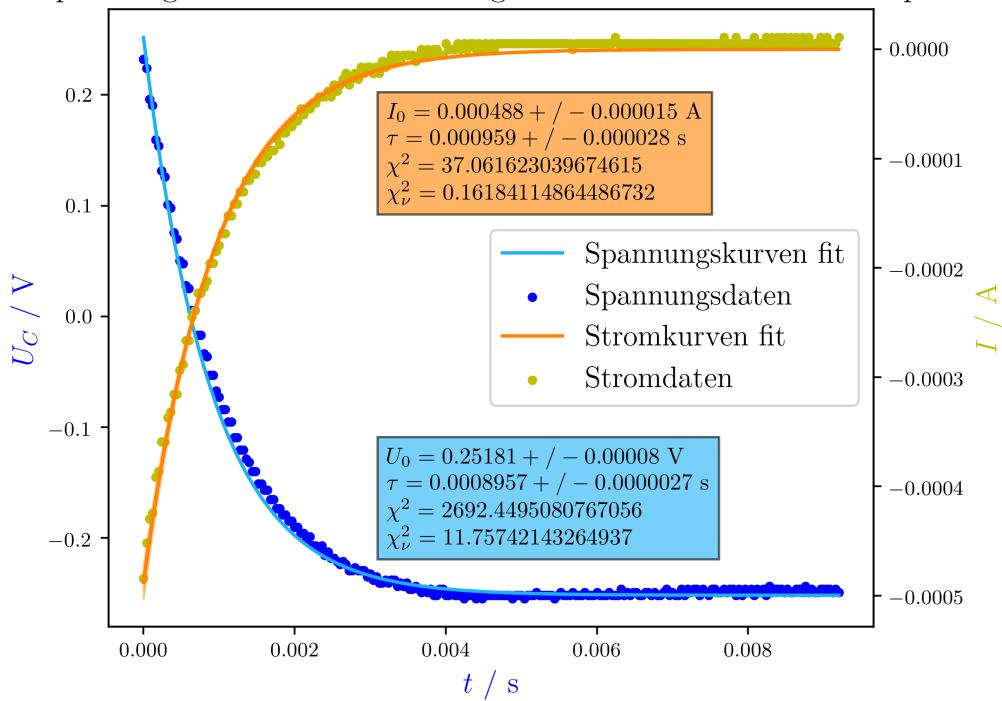
Spannungs- und Stromentladungskurve am Kondensator @1 μF 

Abbildung 17: Dies ist der Fit der Strom- (gelb) und Spannungs- (blau) Entladekurve eines RC Kreises mit einem Widerstand R von $(1000 \pm 100) \Omega$ und einer Kapazität C von $(1,0 \pm 0,1) \mu\text{F}$. Die Daten sind aus Abbildung 11 entnommen worden

Die gefitteten Funktionen sehen wie folgt aus:

$$U_C = 2U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - U_0$$

$$I = -I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Es wurde nicht nur der Entladevorgang aufgezeichnet, deshalb wurden zusätzlich noch die Ladevorgänge gefittet, indem erneut der Bereich vom Ladevorgang aus den aufgezeichneten Daten extrahiert und mit einer Exponentialfunktion gefittet wurde:

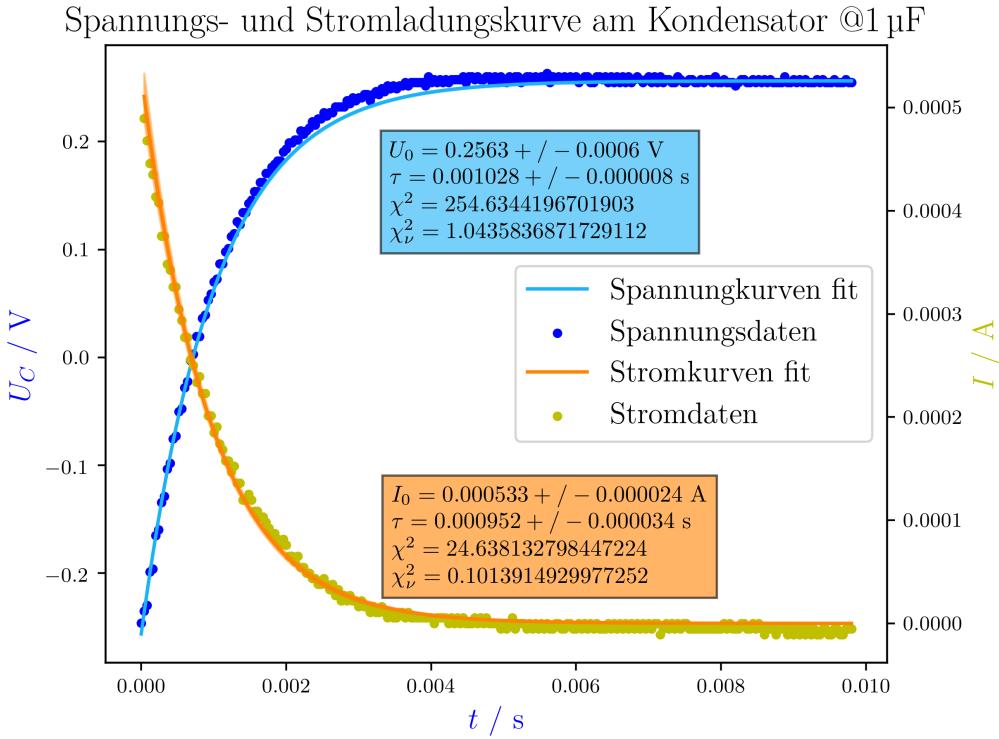


Abbildung 18: Dies ist der Fit der Strom- (gelb) und Spannungs- (blau) Ladekurve eines RC Kreises mit einem Widerstand R von $(1000 \pm 100) \Omega$ und einer Kapazität C von $(1,0 \pm 0,1) \mu\text{F}$. Die Daten sind aus Abbildung 11 entnommen worden

Die gefitteten Funktion haben folgende Gestalt:

$$U_C = -2U_0 e^{\frac{-t}{\tau}} + U_0$$

$$I = I_0 e^{\frac{-t}{\tau}}$$

Weiters wurden auch eine Linearisierung der Daten vorgenommen indem bei den Spannungen erst der Offset addiert wurde, damit jeder Wert größer Null ist und Logarithmus der Daten berechnet werden kann. Das gleiche wurde auch, zur Sicherheit, bei den Strömen gemacht, falls einen negativen Wert in den Daten auftritt. Da das Oszilloskop nur 8 bit Auflösung hat leiden beim Logarithmus berechnen, die niedrigen Spannungs und Stromwerte an hoher Unsicherheit und sind daher sehr verstreut. Deshalb wurde ein Zeitabschnitt gewählt bei dem sich die Streuung der Wert noch in Grenzen hält.

Durch fitten der folgenden linearen Gleichung für die Ströme und Spannungen:

$$\ln I = \frac{-t}{\tau} + \ln I_0$$

$$\ln U_C = \frac{-t}{\tau} + \ln 2U_0$$

entstehen schließlich folgende Graphen:

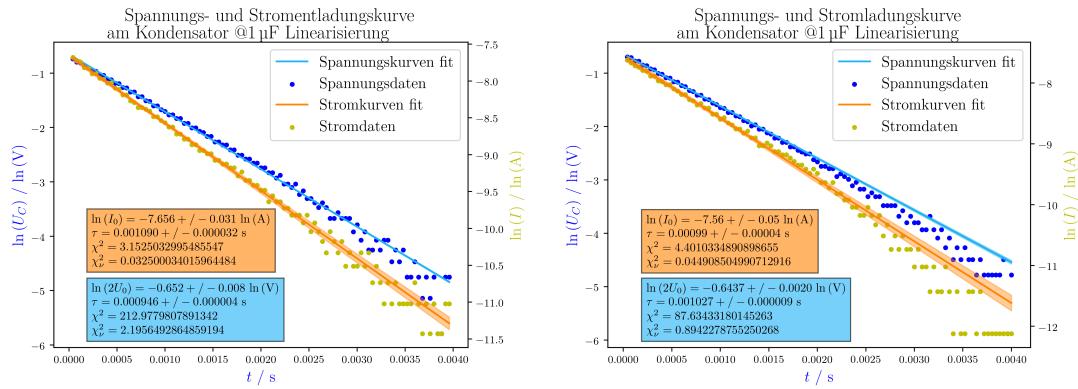


Abbildung 19: Dies ist der linearisierte Fit der Strom- (gelb) und Spannungs- (blau) Ladekurve und Entladekurve eines RC Kreises mit einem Widerstand R von $(1000 \pm 100) \Omega$ und einer Kapazität C von $(1,0 \pm 0,1) \mu\text{F}$. Die Daten sind aus Abbildung 11 entnommen worden

7 Diskussion

7.1 Kennenlernen des Kathodenstrahloszilloskops

Aufgrund leicht aus dem Gleichgewicht bring-baren Einstellung der Frequenzen ist es relativ schwierig einen perfekten Kreis abzubilden, der nicht rotiert und somit die Frequenzen aufeinander abzustimmen. Anhand der Rotationsgeschwindigkeit kann die Schwebungsfrequenz bestimmt werden, welche der Differenz der zwei Frequenzen entspricht. Bei der Erzeugung der Knotenpunkte fällt diese Einstellung leichter, weil die Einstellung der Punkte auf die Nulllinie, dem Menschen leichter fällt.

7.2 Serienschaltung aus ohm'schen Widerstand und Kapazität

Es ist klar ersichtlich das alle erhaltenen Werte aus den Fits mit dem theoretischen Wert von

$$\tau_{\text{theo}} = RC = (1000 \pm 100) \Omega (1,0 \pm 0,1) \mu\text{F} = (1,0 \pm 0,2) \text{ ms} \quad (7)$$

größenordnungsmäßig übereinstimmen und in dessen Fehlerintervall enthalten sind. Es ist jedoch anzumerken, dass das Linearisieren der Daten hier nicht die beste Strategie ist, da die Auflösung des Oszilloskop zu gering ist um niedrige Potenzen (10^{-5} und niedriger) akkurat im linearisierten Datensatz darzustellen.

Es gäbe noch eine dritte Methode die Zerfallskonstante zu bestimmen indem einfach die Halbwertszeit gemessen wird. Da "Matplotlib" die Funktion auf eigenen Achsen auf Fullscale zeichnet, die gleiche Zeitachse teilen und sie die gleiche Zerfallskonstante in sich tragen, ist der Schnittpunkt der beiden Kurven gleich der Hälfte des Anfangswerts. Somit ist der Wert an der x-Achsen-Stelle des Schnittpunkts gleich der Halbwertszeit, welche so abgelesen werden kann. Damit kann τ auch bestimmt werden indem $\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$. Dies wurde auch per Hand durchgeführt, lieferte aber nicht so überzeugende Werte weshalb entschieden wurde, diese nicht weiterzuverfolgen.

Ein Verbesserungsvorschlag wäre anstatt nur einen Wert mehrere Halbwertszeiten computerunterstützt auszurechnen wodurch sich die Unsicherheit ein bisschen bessern würde. Jedoch würde so auch das Problem mit der Auflösung des Oszilloskops nicht umgangen werden.

7.3 Serienschwingkreis

Um den Schwingfall zu erzeugen, muss folgender Wert möglichst negativ gebracht werden.

$$R^2C - 4L < 0 \quad (8)$$

Weiters muss der Dämpfungsfaktor

$$\delta = \frac{R}{2L} \quad (9)$$

möglichst minimiert werden, damit die Schwingung so lange wie möglich stattfinden kann.

Grundsätzlich hätten diese Werte nur durch das Einschieben von Eisenkernen variiert werden sollen. Durch Erhöhen der Induktivität verhalten sich obige Gleichungen wie gewünscht, indem Gleichung 8 negativer und Gleichung 9 kleiner wird.

Um den Kriechfall noch weiter zu verbessern, wurden folgende Änderungen vorgenommen.

Zunächst wird der Widerstand verringert, indem dieser halbiert wird, wodurch sich folgende Grafik am Oszilloskop ergibt.

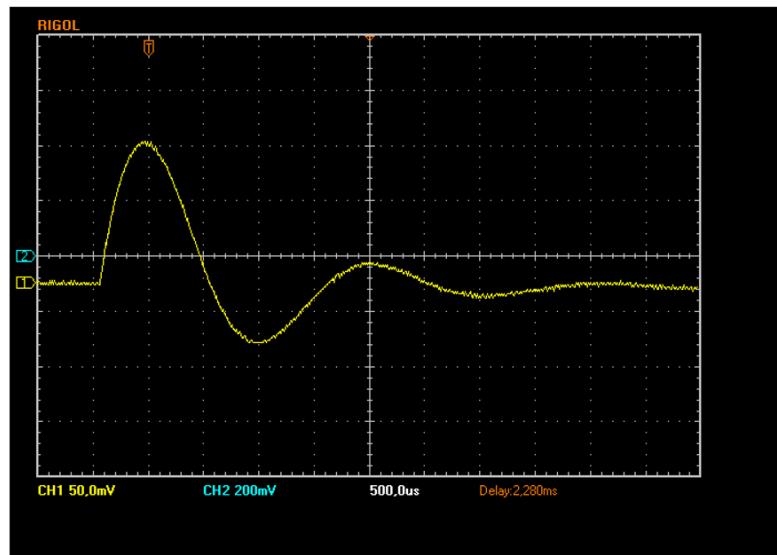


Abbildung 20: Aufgezeichnetes Signal des Schwingfalls bei einer Anpassung des Widerstands auf $(100 \pm 10) \Omega$

Um nun eine noch stärkere Schwingung zu erzeugen werden 2 weitere Spulen mit Eisenkern in die Schaltung mittels Serienschaltung integriert, wodurch sich schließlich folgender Graph ergibt.

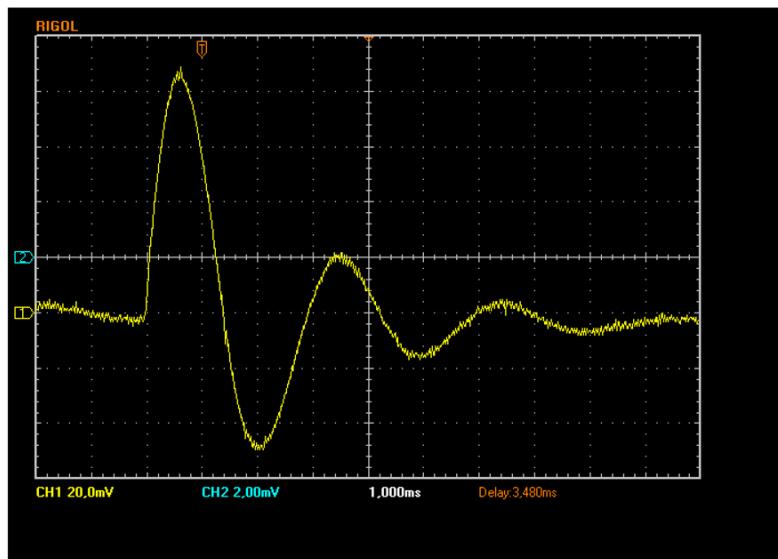


Abbildung 21: Aufgezeichnetes Signal des Schwingfalls bei einer Anpassung des Widerstands auf $(100 \pm 10) \Omega$ und der Verwendung von 4 Spulen

Betrachtet man nun die obigen Graphen ist ersichtlich, dass eine deutlich größere Schwingung vorliegt, was sich auch mit den zuvor aufgestellten Gleichungen deckt.

8 Zusammenfassung

Mithilfe des Kathodenstrahlzosiloskops konnten verschiedene “Lissajou Figuren“ erzeugt werden, wie beispielsweise in Abbildung 7 ersichtlich. Anhand deren Formen und Ausrichtungen können Aussagen über die Frequenz- und Amplitudenverhältnisse getroffen werden.

Beim Sinussignal ist, wie erwartet eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung entstanden. Wie anhand Abbildung 9 ersichtlich ist, geht beim Kondensator der Strom vor.

Weiters wurde das Entlade und Lade verhalten eines Kondensators untersucht indem die gemessenen Daten an einen Exponentialfunktion gefittet wurden, um die Zerfallskonstante zu bestimmen. Zusätzlich wurden die Spannungs- und Stromdaten linearisiert und an linearen Funktionen gefittet, welche auch im Unsicherheitsintervall des theoretischen Werts liegen.

Hier werden nochmals alle erhaltenen Werte für die mittlere Lebensdauer mit dem theoretischen Wert gegenübergestellt.

Tabelle 2: Dies ist die Vergleichstabelle aller erhaltenen Werte für die mittlere Lebensdauer τ und deren multiplikativen Inversen der Zerfallskonstante λ

	τ / ms	$\Delta\tau$ / ms	λ / Hz	$\Delta\lambda$ / Hz
theo.	1.0	0.2	1000	200
lin. Laden Strom	0.99	0.04	1010	50
lin. Laden Spannung	1.027	0.009	974	9
lin. Entladen Strom	1.09	0.04	920	40
lin. Entladen Spannung	0.946	0.004	1046	5
exp. Laden Strom	0.95	0.04	1050	50
exp. Laden Spannung	1.028	0.008	973	8
exp. Entladen Strom	0.96	0.03	1040	40
exp. Entladen Spannung	0.896	0.003	1116	4

Die 3 Schwingfälle konnten durch Variation der Eisenkerne gezeigt werden.

9 Anmerkungen

Die ersten 3 Kapitel, sowie die dazugehörigen Abbildungen, wurden nicht von den Autoren persönlich erstellt, sondern sind schon im Zuge der Aufgabenstellung, in Form einer PDF, bereitgestellt und davon entnommen worden. [2]

Literatur

- [1] *Fehlerfortpflanzung*. de. Page Version ID: 205827844. Nov. 2020. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fehlerfortpflanzung&oldid=205827844> (besucht am 08.05.2021).
- [2] *Kathodenstrahlzosiloskop*. de. Version 30. November 2021. Petersgasse 16, 8010 Graz, Institut für Experimentalphysik Technische Universität Graz, 2021.
- [3] Braunschweig Wolfgang Kessel. *Die ISO/BIPM-GUM Sicht: Schätzwert & Messunsicherheit*. 2004.

Abbildungsverzeichnis

1	Schematische Darstellung einer Braun'schen Röhre. H Heizdraht; K Kathode; WZ Wehnelt-Zylinder; F Fokussierelektroden; U_F Fokussierspannung; A Anode; P_x , P_y Platten für Horizontal- und Vertikalablenkung; U_x , U_y Spannungen für horizontale und vertikale Ablenkung; LS Schirm mit Leuchtstoff.	4
2	Blockschatzbild eines einfachen triggerbaren Zweikanal-Oszilloskops	5
3	Triggerung: U_y zu messendes Signal, dient hier gleichzeitig zur Triggerung; U_x von Trigger und Sägezahngenerator erzeugte Spannung für Horizontalablenkung.	6
4	Kalibrierung des Spannungs- bzw. Zeitablenkfaktors.	6
5	Aufbau zur Messung des zeitlichen Verlaufs von Strom und Spannung an einer Kapazität C	7
6	Serienschwingkreis	8
7	Lissajou Figur mit 3 Knotenpunkten	9
8	Versuchsaufbau für die Serienschaltung aus ohm'schen Widerstand und Kapazität	10
9	Aufgezeichnetes Signal am Oszilloskop bei einer Sinusspannung mit einer Frequenz von (50 ± 1) Hz	11
10	Aufgezeichnetes Signal am Oszilloskop bei einer Rechteckspannung mit einer Frequenz von (50 ± 1) Hz	12
11	Vergrößerter Ausschnitt des aufgezeichneten Signal am Oszilloskop bei einer Rechteckspannung mit einer Frequenz von (50 ± 1) Hz	12
12	Versuchsaufbau für den Serienschwingkreis	13
13	Aufgezeichnetes Signal des Kriechfalls	14
14	Aufgezeichnetes Signal des Grenzfalls	14
15	Eingeschobener Eisenkern für den Kriechfall	15
16	Aufgezeichnetes Signal des Schwingfalls	15
17	Dies ist der Fit der Strom- (gelb) und Spannungs- (blau) Entladekurve eines RC Kreises mit einem Widerstand R von (1000 ± 100) Ω und einer Kapazität C von $(1,0 \pm 0,1)$ μF . Die Daten sind aus Abbildung 11 entnommen worden	17

18	Dies ist der Fit der Strom- (gelb) und Spannungs- (blau) Ladekurve eines RC Kreises mit einem Widerstand R von $(1000 \pm 100) \Omega$ und einer Kapazität C von $(1,0 \pm 0,1) \mu\text{F}$. Die Daten sind aus Abbildung 11 entnommen worden	18
19	Dies ist der linearisierte Fit der Strom- (gelb) und Spannungs- (blau) Ladekurve und Entladekurve eines RC Kreises mit einem Widerstand R von $(1000 \pm 100) \Omega$ und einer Kapazität C von $(1,0 \pm 0,1) \mu\text{F}$. Die Daten sind aus Abbildung 11 entnommen worden	19
20	Aufgezeichnetes Signal des Schwingfalls bei einer Anpassung des Widerstands auf $(100 \pm 10) \Omega$	21
21	Aufgezeichnetes Signal des Schwingfalls bei einer Anpassung des Widerstands auf $(100 \pm 10) \Omega$ und der Verwendung von 4 Spulen	22

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte	8
2	Dies ist die Vergleichstabelle aller erhaltenen Werte für die mittlere Lebensdauer τ und deren multiplikativen Inversen der Zerfallskonstante λ . .	23