

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: 13

Übungstitel: Oszillograph (TU)

Betreuer: Benedikt Fischer

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 13.10.2023

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Aufgabenstellung | 3 |
| 2 Voraussetzungen & Grundlagen | 3 |
| 3 Versuchsanordnung | 5 |
| 4 Geräteliste | 9 |
| 5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse | 9 |
| 5.1 Serienschaltung | 9 |
| 5.2 Serienschwingkreis | 10 |
| 5.3 Eigenfrequenz | 12 |
| 6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse | 13 |
| 6.1 Serienschaltung | 13 |
| 6.2 Serienschwingkreis | 14 |
| 6.3 Eigenfrequenz | 17 |
| 7 Diskussion | 17 |
| 7.1 Serienschaltung | 17 |
| 7.2 Serienschwingkreis | 17 |
| 7.3 Eigenfrequenzen | 17 |
| 8 Zusammenfassung | 18 |
| 8.1 Serienschaltung | 18 |
| 8.2 Serienschwingkreis | 18 |
| 8.3 Eigenfrequenzen | 19 |
| 9 Anhang | 19 |
| Literatur | 19 |

1 Aufgabenstellung

Der Versuch Oszillograph geht, wie der Name bereits vermuten lässt, auf die Funktion des Oszilloskopes ein, was in erster Linie die grafische Darstellung elektrischer Spannungen über einen bestimmten Zeitraum beinhaltet. Mit drei verschiedenen elektrischen Schaltungen soll dies ausprobiert und in diesem Protokoll veranschaulicht werden. Die tatsächliche Aufgabenstellung sieht hierfür wie folgt aus:

- Serienschaltung (Trafo, Kondensator, Widerstand)
 - Ermittlung des Phasenversatzes ϕ
 - Ermittlung der Zerfallskonstante τ
- Serienschwingkreis (Trafo, Kondensator, Widerstand, Potentiometer)
 - Graph von Kriechfall, Schwingfall, Aperiodischer Grenzfall des Serienschwingkreises
 - Induktion der Spulte mit und ohne Eisenkern $L_{mitEisenkern} / L_{ohneEisenkern}$
- Frequenzbestimmung (Piezo)
 - Eigenfrequenz des Stuhles f_{Stuhl}
 - Eigenfrequenz des Piezos f_{Piezo}

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [1].

2 Voraussetzungen & Grundlagen

Wie bereits in der Aufgabenstellung erwähnt werden Oszilloskope hauptsächlich zur grafischen Darstellung elektrischer Spannungen eingesetzt. Das Hauptbestandteil des Gerätes ist eine Braun'sche Röhre und sieht im groben Aufbau wie folgt aus:

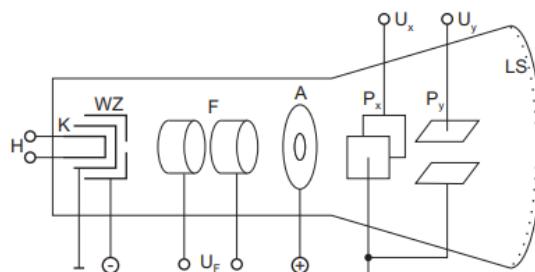


Abb. 1: Grundlegender Aufbau eines Oszilloskop/Braun'sche Röhre [1]

Die beheizte Kathode K beschleunigt Elektronen gegen eine Anode A. Diese besitzt eine Öffnung, durch die die Elektronen hindurchfliegen und mit Hilfe der Ablenkplatten P_x (horizontal) und P_y (vertikal) an die richtige Position des Leuchtschirms LS gelenkt werden. Ein Oszilloskop besitzt außerdem einen Triggerungsmechanismus. Dieser sorgt dafür,

dass das Signal beim erreichen des Bildschirmendes kurz pausiert wird, damit dieses wieder zum Anfang springen kann.

Zur erfolgreichen Durchführung des Versuches ist auch der Schwingkreis von Bedeutung. Dies ist im Prinzip eine einfache Schaltung, bestehend aus Kapazität, Induktivität und Widerstand. Mittels Gleichung

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

können hier drei verschiedene Fälle unterschieden werden:

- $R^2C - 4L > 0$: Kriechfall
- $R^2C - 4L = 0$: Aperiodischer Grenzfall
- $R^2C - 4L < 0$: Schwingfall

Für die Auswertung des Versuches ist auch die Formel für die Phasenverschiebung Φ wichtig, welche aus dem gemessenen Zeitunterschied und der Frequenz berechnet werden kann.

$$\Phi = \frac{360}{T} * \Delta t = 360 * \Delta t * f \quad (2)$$

$$\Delta\Phi = \left| \frac{\partial\Phi}{\partial\Delta t} * \Delta\Delta t \right| + \left| \frac{\partial\Phi}{\partial f} * \Delta f \right| \quad (3)$$

Außerdem wird für den Vergleich der gemessenen Zerfallskonstante mit der berechneten noch eine Formel für letztere benötigt.

$$\tau = R * C \quad (4)$$

Zur Bestimmung der Induktivität mittels Gesamtwiderstände ist wichtig zu wissen, dass beim aperiodischen Grenzfall die Formel

$$R = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \implies L = \left(\frac{R}{2}\right)^2 * C \quad (5)$$

$$\Delta L = \left| \frac{\partial L}{\partial R} * \Delta R \right| + \left| \frac{\partial L}{\partial C} * \Delta C \right| \quad (6)$$

3 Versuchsanordnung

Als Grundstein des gesamten Experimentes steht natürlich das Oszilloskop, abgebildet in nachstehender Grafik.

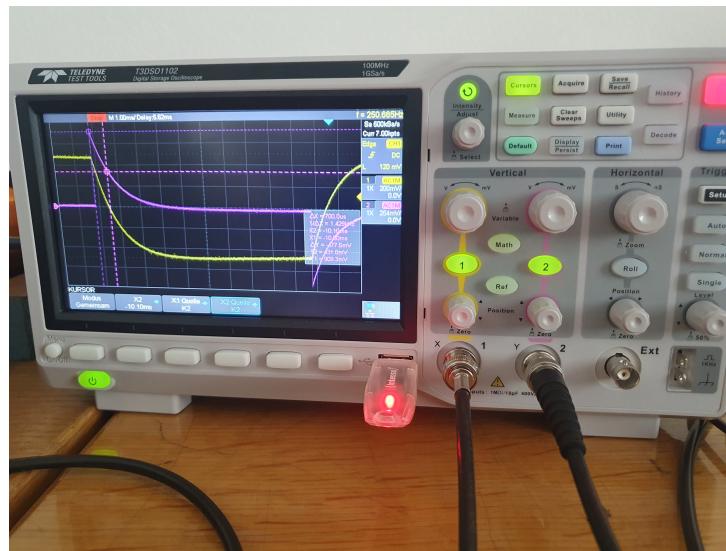


Abb. 2: Oszilloskop

Auch Trafo und Frequenzgenerator, zu sehen in folgenden Abbildungen, sind weitere, wichtige Elemente des Versuches.



Abb. 3: Trafo



Abb. 4: Frequenzgenerator

Weiters kamen dann noch einige kleinere Utensilien zum Einsatz:



Abb. 5: Utensilien

Basierend darauf war der Versuch dann in drei Teilversuche gegliedert. Im ersten Abschnitt davon sollte eine Serienschaltung, bestehend aus einem Widerstand $R = 1000 \text{ Ohm}$, einem Kondensator $C = 1 \mu\text{F}$, einem Trafo und einem Frequenzgenerator aufgebaut- und dann an das Oszilloskop angeschlossen werden. Der Schaltplan hierzu ist in folgender Abbildung zu erkennen:

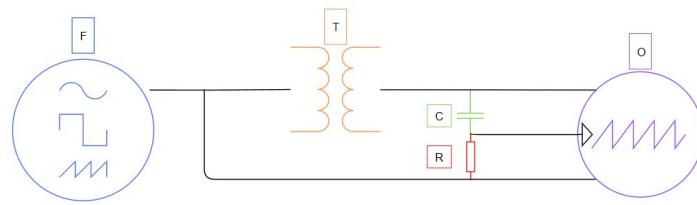


Abb. 6: Schaltplan Serienschaltung

Praktisch aufgebaut sieht der Versuch wie folgt aus:



Abb. 7: Aufbau Serienschaltung

Der Aufbau des zweiten Teiles kann sich mit der Grafik zum Schaltplan des Serienschwingkreises vorgestellt werden:

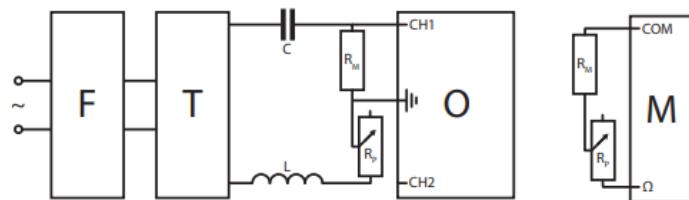


Abb. 8: Schaltplan Serienschwingkreis

In der Realität sieht die aufgebaute Schaltung dann so aus:

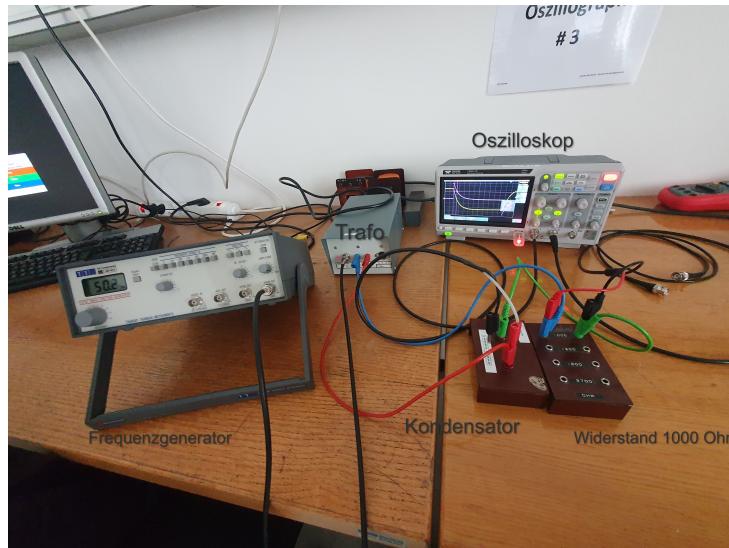


Abb. 9: Aufbau Serienschwingkreis

Die dritte und letzte Schaltung ist im Gegensatz zu den anderen beiden sehr einfach strukturiert und setzt sich lediglich aus zwei Komponenten zusammen:

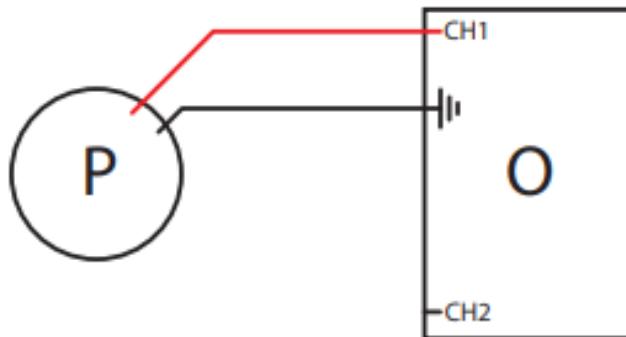


Abb. 10: Aufbau Serienschaltung

Das Piezo P, welches im dritten Aufgabenteil an das Oszilloskop angeschlossen wird, ist in folgender Abbildung zu sehen:

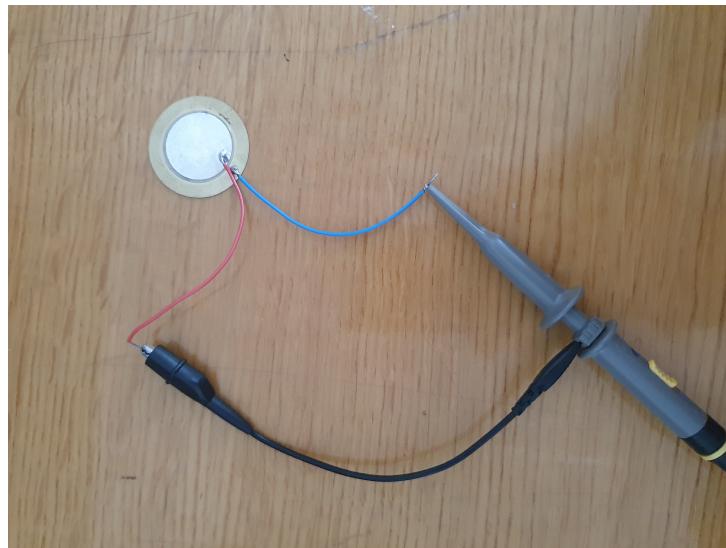


Abb. 11: Piezo

4 Geräteliste

Tab. 1: Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

| Gerät | Gerätenummer | Unsicherheit |
|--|--------------|-----------------------|
| Oszilloskop | n.a | n.a |
| Trafo | n.a | n.a |
| Frequenzgenerator | n.a | $\pm 5\%$ |
| Spule mit entfernbarer Eisenkern ($n=500$) | n.a | n.a |
| 50 Ohm Widerstand | n.a | n.a |
| 470 Ohm Potentiometer | n.a | $\pm 10\%$ |
| 50 Ohm / 1000 Ohm Widerstand | n.a | $\pm 1\%$ |
| 1 μF Kondensator | n.a | $\pm 10\%$ |
| Piezo | n.a | n.a |
| Multimeter | n.a | $\pm 1.2\% + 2$ digit |

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

5.1 Serienschaltung

Zu Beginn des ersten Teiles des Versuchs wurde die Schaltung wie in Abbildung 7 gezeigt aufgebaut. Am Frequenzgenerator wurde eine Frequenz von 50 Hz eingestellt und als sinusförmige Speisespannung an die Schaltung und in weiterer Folge an das Oszilloskop übermittelt werden. Damit soll nun der Spannungsverlauf als Funktion der Zeit grafisch dargestellt werden.

Weiters soll nun eine rechteckige Speisespannung mit erneut 50 Hz eingerichtet werden. Diesmal wird jedoch nicht die Phasenverschiebung ermittelt, sondern die Zerfallskonstante τ . Diese gibt jenen Zeitabschnitt an, in welchem die Spannung auf die Hälfte ihres Ursprungswertes (Halbwertszeit) gesunken ist.

Die Messergebnisse in Form von exportierten Bildern lassen sich in folgenden Abbildungen erkennen.



Abb. 12: Messergebnisse 3.2a



Abb. 13: Messergebnisse 3.2b

Der Graph für den zweiten Teil des Versuches wurde außerdem als CSV Datei exportiert.

5.2 Serienschwingkreis

Im zweiten Teil des Experimentes soll nun die Serienschaltung zum in Abbildung 8 erwähnten Serienschwingkreis erweitert werden. Mit dem neu hinzugefügten Potentiometer können nun durch einspeisen einer 50 Hz Rechtecksspannung die drei im Kapitel Grundlagen beschriebenen Fälle grafisch dargestellt werden.

Auch hier wurden wieder für jeden Fall ein Bild und ein CSV-File exportiert:

Der Kriechfall konnte bestimmt werden, indem das Potentiometer so adjustiert wurde, dass das Spannungsbild eine fallende Kurve bzw. den Kriechfall ergibt.



Abb. 14: Messergebniss Kriechfall

Für den Schwingfall wurde das Potentiometer ganz aufgedreht, bis die gedämpfte Schwingung am Oszilloskop zu sehen war.



Abb. 15: Messergebniss Schwingfall

Um weiters den aperiodischen Grenzfall zu zeigen, musste das Potentiometer langsam zurückgedreht werden, bis der Übergang von Kriechfall zum Schwingfall erreicht wurde. Dies lies sich daran erkennen, dass das untere Ende des Kriechfalles gerade zu "Schwingen" anfängt.

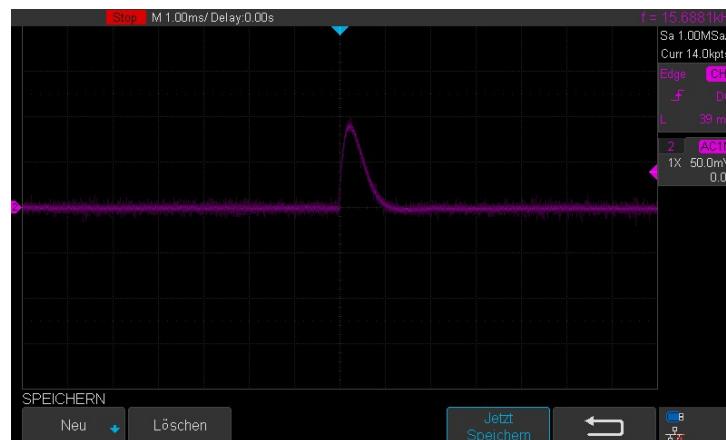


Abb. 16: Messergebniss aperiodischer Grenzfall

Außerdem sollte noch die Induktivität der Spule mit und ohne Eisenkern festgestellt werden. Hierfür soll der aperiodische Grenzfall jeweils einmal mit- und einmal ohne Eisenkern eingestellt werden. Dann wird mittels Potentiometer der Gesamtwiderstand beider Fälle gemessen und der Wert für die Auswertung festgehalten.

Tab. 2: Messwerte Gesamtwiderstand

| Gesamtwiderstand mit Eisenkern [Ohm] | Gesamtwiderstand ohne Eisenkern [Ohm] |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 298.0 ± 3.6 | 115.8 ± 1.4 |

5.3 Eigenfrequenz

Im dritten und letzten Teil der Aufgabe soll die Eigenfrequenz eines Stuhles bestimmt werden. Dazu wurde die Schaltung aus den vorherigen Aufgaben durch das Piezo ersetzt. Da das Piezo mittels Tastkopf mit dem Oszilloskop verbunden wurde, musste dessen Faktor (1x, 10x) beachtet und am Oszilloskop eingestellt werden.

Zur Bestimmung der Eigenfrequenz des Stuhles wurde das Piezo nun auf diesen gelegt und mit einem Metallzylinder beschwert. Dann konnte mit einem leichten Klopfen auf den Suhl die Schwingung am Oszilloskop beobachtet werden. Dabei wurden durch unterschiedliche Klopfstellen am Stuhl verschiedene Frequenzen beobachtet. Nach dem Klopfen auf die Stuhllehne wurde die Schwingung am Oszilloskop grafisch festgehalten.

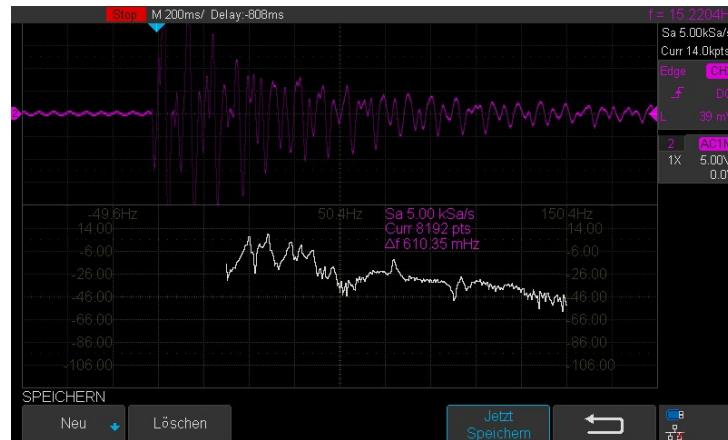


Abb. 17: Messergebniss Eigenfrequenz Stuhl

Letztenendes soll noch die Eigenfrequenz des Piezos selbst ermittelt werden. Hierzu wurde das Messgerät frei hängen gelassen und vorsichtig an der Messoberfläche (helle Seite) angetippt. Die Ergebnisse konnten wiederum am Oszilloskop beobachtet werden, die Eigenfrequenz wurde diesesmal jedoch mit einer FastFourierTransformation (FFT) bestimmt.



Abb. 18: Messergebniss Eigenfrequenz Piezo mit FFT

6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

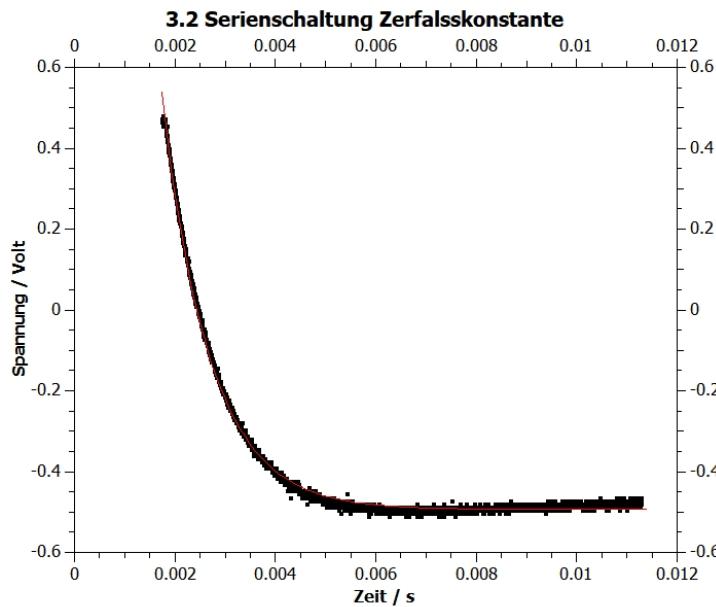
In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheiten wird, wenn nicht anders angegeben, die Größtunsicherheitsmethode verwendet. Bei Ableseaufgaben wird auf eine mitangegebene Ableseunsicherheit gesetzt.

6.1 Serienschaltung

Wie in Abbildung 12 erkennbar ist, beträgt der mittels Oszilloskop tools gemessene Zeitunterschied Δt 4.7 ms. Setzt man dies nun gemeinsam mit der verwendeten Frequenz von 50 Hz in Formel 2 ein, so erhält man für den Phasenversatz einen Wert von $\Phi = (84.6 \pm 22.3)$ °. Die Unsicherheit ergibt sich dabei aus mit der Unsicherheit des Frequenzgenerators aus Tabelle 1, einer Ablesegenauigkeit am Oszilloskop von einem halben Kästchen (= 1 ms) und der Formel 3.

Zur Bestimmung der Zerfallskonstante τ wurde nun die CSV Datei des resultierenden Spannungsbildes 13 in qti-Plot importiert und linear gefittet.



```
[28/10/2023 18:24:41      Plot: "Graph1"]
Exponential decay of dataset: Table 1_2, using function: y0+A*exp(-x/t)
Weighting Method: No weighting
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0.0001
From x = 1.738000000000000e-03 to x = 1.128600000000000e-02
A (amplitude) = 6.425027218429095e+00 +/- 2.306100773841188e-02
t (e-folding time) = 9.504995247445986e-04 +/- 1.512258170033157e-06
y0 (offset) = -4.938550690803531e-01 +/- 2.048879665203040e-04
```

Abb. 19: Serienschaltung Zerfallskonstante Plot

Zur Bestimmung der Zerfallskonstante wurde nun der Wert von t des exponenziellen fits abgelesen, womit man auf einen Wert für $\tau = (0.0009505 \pm 0.0000016)$ s kommt. Dieses Ergebniss kommt dem theoretisch berechneten Wert der Zerfallskonstante (Formel 4) von 0.1 ms sehr nahe.

6.2 Serienschwingkreis

Um beim Serienschwingkreis die drei verschiedenen Fälle darzustellen, wurden sie zunächst vom Oszilloskop als CSV Datei exportiert und in qti-Plot importiert. Die Ergebnisse dazu sehen wie folgt aus:

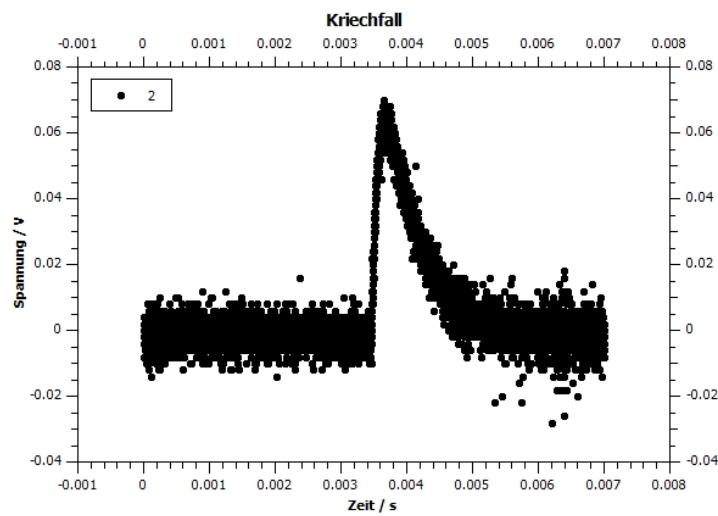


Abb. 20: Kriechfall Plot

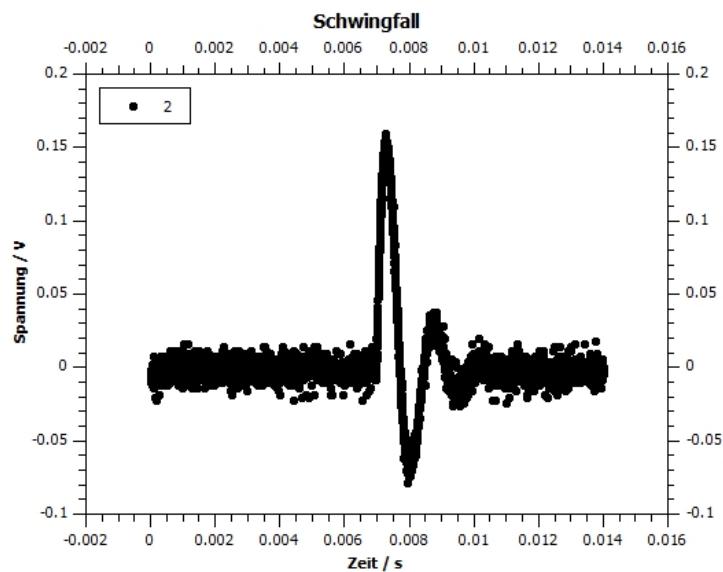


Abb. 21: Schwingfall Plot

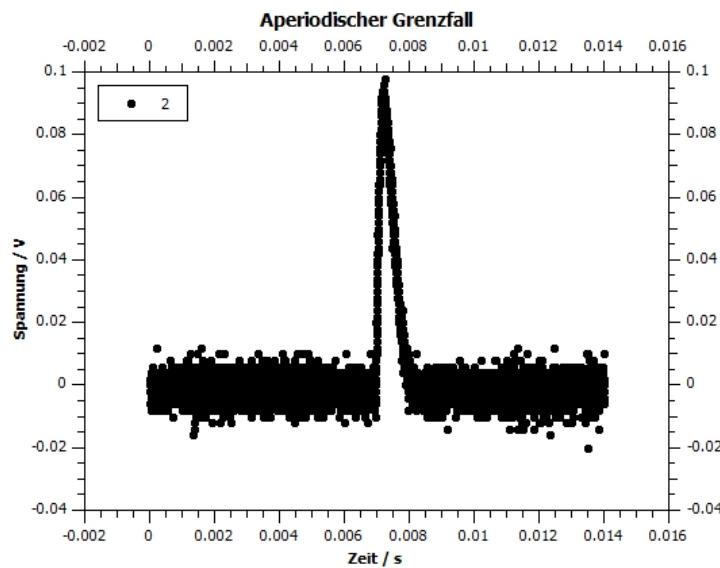


Abb. 22: Aperiodischer Grenzfall Plot

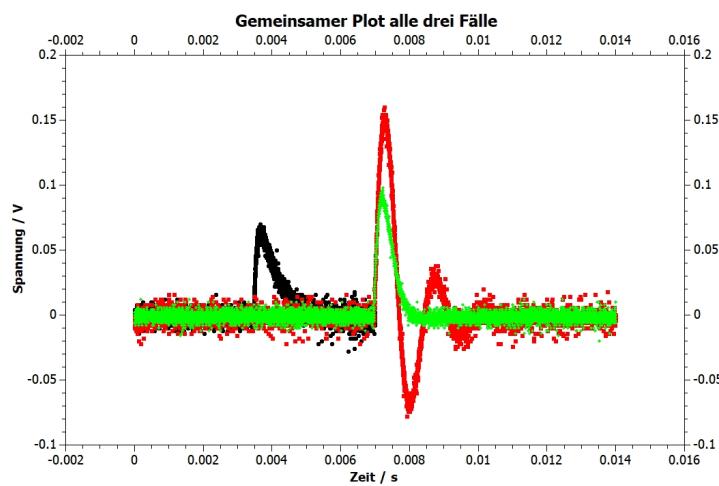


Abb. 23: Alle drei Fälle in einem Plot

Im weiteren Verlauf des Experimentes galt es noch mittels der Gesamtwiderstände (veranschaulicht in Tabelle 2) einmal mit und einmal ohne Eisenkern die Induktivität zu bestimmen.

Hierfür werden die Widerstandswerte aus eben genannter Tabelle gemeinsam mit dem Wert für $C = 1 \mu F$ in Formel 5 eingesetzt und damit die Induktivitäten bestimmt. Zur Unsicherheitsberechnung wurden die Unsicherheiten aus Tabelle 1 entnommen.

Tab. 3: Induktivitäten

| | Gesamtwiderstand [Ohm] | Induktivität [H] |
|----------|------------------------|-------------------|
| Mit EK. | 298.0 ± 51.3 | 0.03 ± 0.01 |
| Ohne EK. | 115.8 ± 49.1 | 0.004 ± 0.004 |

6.3 Eigenfrequenz

Im letzten Teil des Versuches wird nun die Eigenfrequenz des Stuhles mittels Cursor- und die Eigenfrequenz des Piezos mittels FFT am Oszilloskop ermittelt. Die resultierenden Messdaten sind in Abbildung 18 und 17 ersichtlich.

Durch Ablesen mit einer Ableseunsicherheit von einem viertel Kästchen erhält man für die Eigenfrequenzen folgende Werte:

Tab. 4: Eigenfrequenzen

| Eigenfrequenz Stuhl [Hz] | Eigenfrequenz Piezo [Hz] |
|--------------------------|--------------------------|
| 24 ± 5 | 3036 ± 250 |

7 Diskussion

Das Oszilloskop ist der Grundstein eines jeden Elektronikversuches und ist in der heutigen Forschungszeit nicht mehr wegzudenken.

7.1 Serienschaltung

Angefangen mit dem bestimmen des Phasenversatzes lässt sich mit Augenmaß in Abbildung 12 eine ungefähre Übereinstimmung des berechneten mit dem tatsächlichen Wert erkennen. Auch die Zerfallskonstante, welche mittels linearem fit mit 0.8 ms angenähert bestimmt wurde, lässt sich in Abbildung 13 mit einem Wert von 0.7 ms wiederfinden. Weiters lässt er sich jedoch auch mittels Formel 4 und den Werten des hier verwendeten Widerstandes (1000 Ohm) und Kondensators ($1 \mu F$) berechnen. Hierfür erhält man eine Zerfallskonstante von 1 ms, was den experimentell bestimmten Werten sehr nahe kommt und ebenfalls auf eine richtige Versuchsdurchführung schließen lässt.

7.2 Serienschwingkreis

Die resultierenden Graphen der einzelnen Fälle im Serienschwingkreis decken sich mit den erhofften Resultaten.

Die Werte der Induktivitäten stimmen unter einbezug der Unsicherheiten mit denen der Literatur überein, welche für Spulen dieser Größe eine Induktivität zwischen 1 und 10 mH ohne Eisenkern und 10 bis 100 mH mit Eisenkern besagen. Die Beschriftung der Spule besagt eine Induktivität von 7.9 mH, was mit Unsicherheiten dem Ergebnis von (0.004 ± 0.004) H entspricht. In Realität könnte der Wert hierfür etwas anders aussehen, da die Innenwiderstände der Geräte nicht miteinbezogen wurden. Auch durch Materialeigenschaften, Temperaturunterschiede oder magnetische Störung von außen kann das Ergebnis beeinflusst werden.

7.3 Eigenfrequenzen

Piezosensoren sind ein wichtiges Werkzeug zur Bestimmung von Frequenzen. Der Nutzen davon kann zum Beispiel im Gesundheitswesen und der Maschinenüberwachung sein.

Mögliche Anwendungsbereiche:

- Ultraschallprüfung / Ulltraschallgeräte
- Überprüfung von Herzfrequenzen
- Erkennung von Vibrationen bzw. Schwingungen von Maschinen (bei bspw. Störungen)

Das Datenblatt des verwendeten Piezos besagt eine Eigenfrequenz von (3.6 ± 0.6) kHz, was sich mit einbezogenen Unsicherheiten mit den Versuchsergebnissen deckt.

8 Zusammenfassung

Die resultierenden Werte werden in diesem Abschnitt noch einmal zusammengefasst:

8.1 Serienschaltung

$$\tau = (0.0009505 \pm 0.0000016) \text{ s}$$

$$\Phi = (84.6 \pm 22.3)^\circ$$

8.2 Serienschwingkreis

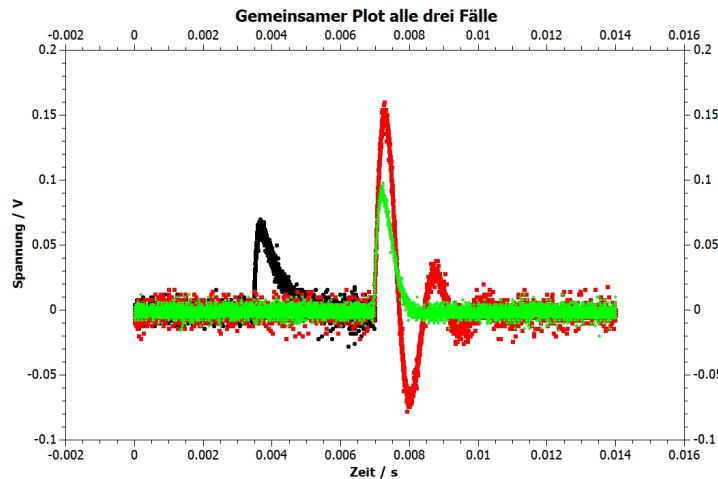


Abb. 24: Kriechfall, Schwingfall und Aperiodischer Grenzfall

Tab. 5: Induktivitäten

| | Gesamtwiderstand [Ohm] | Induktivität [H] |
|----------|------------------------|-------------------|
| Mit EK. | 298.0 ± 51.3 | 0.03 ± 0.01 |
| Ohne EK. | 115.8 ± 49.1 | 0.004 ± 0.004 |

8.3 Eigenfrequenzen

Tab. 6: Eigenfrequenzen

| Eigenfrequenz Stuhl [Hz] | Eigenfrequenz Piezo [Hz] |
|--------------------------|--------------------------|
| 24 ± 5 | 3036 ± 250 |

9 Anhang

Unsicherheitsberechnung

halbe Abzügliches

1.) Phasenversatz

$$\Delta f = \pm 5\% \quad \Delta \omega = \pm 1 \text{ rad} = 0,001$$

$$\Delta \phi = \left| \frac{\frac{1}{2}\varphi}{\Delta \omega} \cdot \Delta \omega \right| + \left| \frac{1}{2}\varphi \cdot \Delta \omega \right| = |360 \cdot \frac{1}{2}\varphi \cdot \Delta \omega| + |360 \cdot \Delta \omega \cdot \Delta \varphi| =$$

$$= |360 \cdot 50 \cdot 0,001| + |360 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 0,001| = 22,23 \approx 22,3$$

$\underbrace{}_{\text{Stz von } 50 \text{ Hz}}$

3.) Induktivität $\Delta C = 10\% \rightarrow 10^{-6} \cdot 0,1 = 10^{-7}$ $\Delta R \rightarrow \Delta \text{Potentiometer} + \Delta \text{Widerstand} + \Delta \text{Magnet}$

$$\Delta R_1 = 50 \cdot 0,01 + 470 \cdot 0,1 + 298,0 \cdot 1,2\% + 2 \cdot 1,1 = 47,5 + 3,6 + 2 \cdot 1,1 = 51,2$$

$$\Delta R_2 = 50 \cdot 0,01 + 470 \cdot 0,1 + 115,8 \cdot 1,2\% + 2 \cdot 1,1 = 47,5 + 1,4 + 2 \cdot 1,1 = 50,1$$

$$\Delta L = \left| \frac{\partial L}{\partial R} \cdot \Delta R \right| + \left| \frac{\partial L}{\partial C} \cdot \Delta C \right| = \left| \frac{e^2 k}{2} \cdot \Delta R \right| + \left| \frac{e^2 k}{4} \cdot \Delta C \right|$$

$$\Delta K_1 = 51,2 \rightarrow \Delta L = \left| \frac{e^2 k \cdot 2,9e}{2} \cdot 51,2 \right| + \left| \frac{e^2 k}{4} \cdot 10^{-7} \right| \cdot 0,0098 \approx 0,01$$

$$\Delta K_2 = 50,1 \rightarrow \Delta L = \left| \frac{e^2 k \cdot 1,1e}{2} \cdot 50,1 \right| + \left| \frac{e^2 k}{4} \cdot 10^{-7} \right| \cdot 0,0098 \approx 0,004$$

Abb. 25: Unsicherheitsberechnung

Literatur

- [1] TU Graz TeachCenter. "Laborübungen 1: Mechanik und Wärme". Kurs: PHYD20UF. (besucht am 21.10.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=127>.