

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

# LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungstitel: Oszillograph

Betreuer: Florian Kametriser

Gruppennummer: 

41

Vorbereitung	Durchführung	Protokoll

$\Sigma$
----------

Name: Tanja Maier, Johannes Winkler

Kennzahl: 033 678 Matrikelnummer: 11778750, 00760897

Datum: 16. Oktober 2020 WS 20

## 1 Aufgabenstellung

Es sind 2 Schaltungen aufzubauen und die dazugehörigen Spannungsverläufe sind zu messen.

1. Eine RC-Schaltung mit  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$  bei einer Frequenz mit  $f = 50 \text{ Hz}$ , wobei einmal eine Sinus- und einmal eine Rechtecksfrequenz angewendet wird.
2. eine RLC-Schaltung mit  $R = 1 \text{ k}\Omega$  bzw.  $R = 200 \text{ }\Omega$  und  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$  und variabler Induktivität. Zusätzlich müssen durch variieren der Induktivität folgende Fälle dargestellt werden. Die Frequenz beträgt erneut  $f = 50 \text{ Hz}$ .
  - (a) Schwingfal
  - (b) Kriechfall
  - (c) aperiodischer Grenzfall

## 2 Grundlagen

### 2.1 Oszilloskop

Ein Oszilloskop ist ein Gerät aus der Elektronik, mit dem man Spannungsschwankungen innerhalb zeitlicher Abläufe messen kann. Auf der  $x$ -Achse ist dabei die Zeit und auf der  $y$ -Achse die jeweilige Spannung abzulesen.

Das Prinzip dahinter ist auf die Bewegung von Teilchen in einem elektrischen Feld und somit auf die Braun'sche Röhre zurückzuführen.

Bei der Braun'schen Röhre (= Kathodenstrahlröhre) kann durch zwei parallel ausgerichtete Metallplatten Elektronenstrahl quer zu seiner Flugrichtung beeinflusst werden. Die Elektronen werden von der Kathode emittiert und durch eine angelegte Spannung zur Anode  $A$  hin beschleunigt.

Um den Strahl zu fokussieren werden zwei elektrische Linse  $F$  und die angelegte Fokussierspannung  $U_F$  genutzt.

Zur Ablenkung des Elektronenstrahls werden dann vier weitere Platten nach der Anode angebracht. Diese werden zu zweit platziert und mit einer horizontalen Kippspannung ( $U_x$ ) bzw. einer vertikalen Messspannung ( $U_y$ ) versehen. Damit werden die Elektronen abgelenkt und treffen auf den Leuchtschirm am Ende der Röhre.

Mithilfe der Spannung zwischen Kathode  $K$  und Wehnelt-Zylinder  $WZ$  kann dann noch die Helligkeit des am Schirm abgebildeten Leuchtpunktes variiert werden. [1] [6]

### 2.2 RLC-Stromkreis

Ein RLC-Stromkreis besteht aus einem Kondensator mit der Kapazität  $C$ , einer Spule mit Induktivität  $L$  und einem Widerstand mit der Größe  $R$ . Alle Bauteile

sind hierfür in Reihe geschaltet und somit gilt die Kirchhoff'sche Maschenregel

$$U_C + U_L + U_R = 0 \quad (1)$$

$U_C$  ist dabei die Spannung am Kondensator,  $u_L$  die Spannung an der Spule und  $u_R$  die Spannung am Widerstand. Durch Ersetzen von

$$U_L = L \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$U_R = R_i \cdot I$$

sowie differenzieren der Formel (1) und ersetzen von

$$I = i_C = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

erhält man die Differentialgleichung des Schwingkreises

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dI}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot I = 0 \quad (2)$$

Durch Lösung dieser Differentialgleichung ergeben sich im wesentlichen 3 mögliche Fälle

1.  $R^2 \cdot C - 4 \cdot L > 0$ : 2 reelle Lösungen, Kriechfall
2.  $R^2 \cdot C - 4 \cdot L = 0$ : 1 reelle Lösung, aperiodischer Grenzfall
3.  $R^2 \cdot C - 4 \cdot L < 0$ : 2 konjugiert-komplexe Lösungen, Schwingfall

### 3 Versuchsaufbau

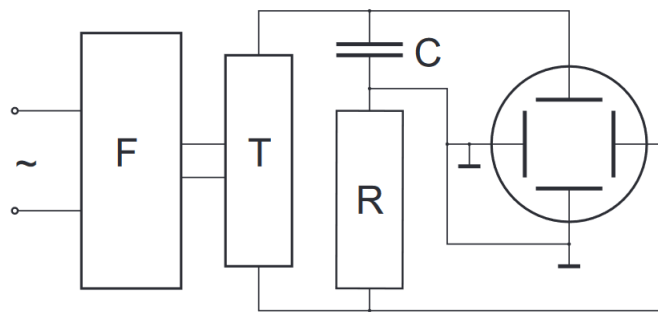


Abbildung 1: Versuchsaufbau der RC-Schaltung.  $F$  Frequenzgenerator,  $T$  Trenntrafo,  $R$  Widerstand,  $C$  Kondensator.

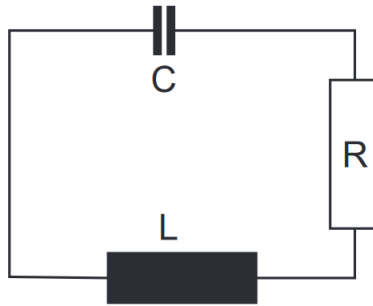


Abbildung 2: Versuchsaufbau der RLC-Schaltung.

## 4 Geräteliste

Tabelle 1: Liste der verwendeten Geräte

Bezeichnung	Hersteller	Gerätenummer	Unsicherheit
Frequenzgenerator	Wavetek	0161674	
Trenntransformator			
Oszilloskop	RIGOL	DS1ET204711289	
Widerstand 1 k $\Omega$	Rosenthal		$\pm 1\%$
Widerstand 200 $\Omega$	Rosenthal		$\pm 1\%$
2x Spule $n = 500$		843/3	
Kondensator 1 $\mu\text{F}$	Philips		

## 5 Durchführung und Messwerte

### 5.1 RC-Schaltung

Ein in Serie geschalteter Kondensator  $C$  und ein Widerstand  $R$  werden mit einem Frequenzgenerator verbunden. Um einen Kurzschluss über die Erdung und die dadurch resultierende Schädigung der Bauteile zu vermeiden, wird zwischen Frequenzgenerator und den Bauteilen noch ein Trenntrafo geschaltet. Der Frequenzgenerator wird auf eine konstante Frequenz von  $f = 50$  Hz geschaltet, wobei einmal eine Rechtecksspannung und einmal eine Sinusspannung angelegt wird. Die Spannungsverläufe über Kondensator und Widerstand werden mit dem Oszilloskop gemessen. Der Versuchsaufbau ist in Grafik 1 beschrieben.

### 5.2 RLC-Schwingkreis

In die gegebene Schaltung werden zwei seriell geschaltene Spulen mit jeweils  $n = 500$  Windungen eingefügt. Dadurch wird aus der RC-Schaltung ein Schwingkreis. Der Versuchsaufbau ist in Grafik 2 beschrieben.

## 6 Auswertung

### 6.1 RC-Schaltung

Die Spannungsverläufe über Kondensator und Widerstand sind in Grafik 3 beschrieben. Da Spannung und Strom in einem Widerstand proportional sind, kann anhand der Grafik auch die Phasenverschiebung bestimmen.

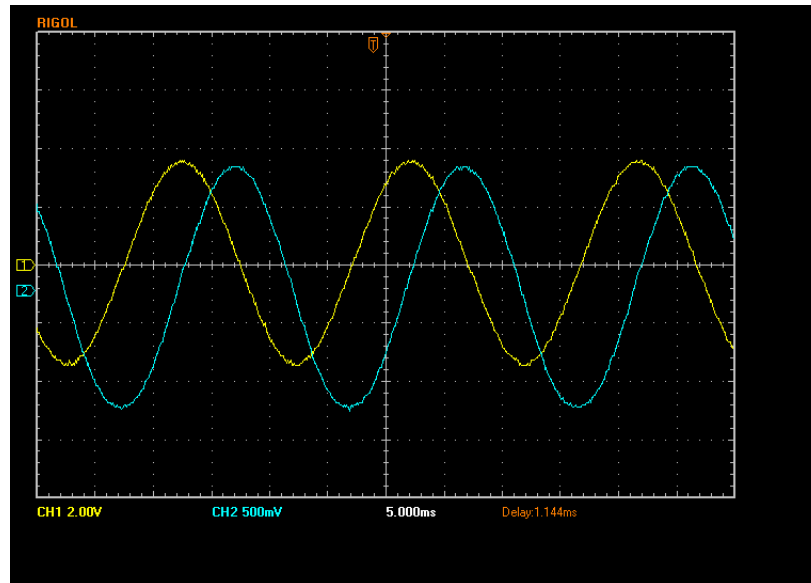


Abbildung 3: Spannungsverläufe einer RC Schaltung mit  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und  $C = 1 \mu\text{F}$  bei einer Sinusfrequenz mit  $f = 50 \text{ Hz}$ . Channel 1 ist die Spannung über den Widerstand, Channel 2 ist die Spannung über den Kondensator. Channel 2 ist um den Faktor 4 vertikal skaliert.

#### 6.1.1 Periodendauer

Hier kann aus den Daten verschiedene Eigenschaften der Schaltung ermitteln. Aus den  $f = 50 \text{ Hz}$  folgt, dass die Periodendauer  $\tau = 20 \text{ ms}$  sein muss. Tabelle 2 bestätigt diese Vermutung, wenn man die Abstände der Maxima betrachtet. Eine statistische Untersuchung ist bei 3 Maximumstellen nicht sinnvoll. Dazu bräuchte man mehr Samples.

Tabelle 2: Maxima der Spannungen aus Grafik 3.  $t_1, U_1$  Zeiten und Spannungen der Maxima von Channel 1,  $t_2, U_2$  Zeiten und Spannungen der Maxima von Channel 2. Diese Daten wurden mit dem Python-Skript im Anhang erzeugt.

Nr.	$t_1$ / ms	$U_1$ / V	$t_2$ / ms	$U_2$ / V
1	-16.6	3.6	-12.4	1.06
2	3.2	3.6	7.4	1.06
3	22.8	3.6	26.8	1.06

### 6.1.2 Phasenverschiebung

Wesentlich interessanter ist die Phasenverschiebung zwischen der Spannung am Kondensator und jener am Widerstand (letztere ist proportional zum Strom durch den Kondensator). Die Theorie besagt, dass der Strom der Spannung im Kondensator vorausgeht. Das wird aufgrund der gegebenen Daten überprüft. Die Impedanz einer RC-Schaltung ist

$$Z = R + \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C}$$

Interessant ist der Winkel von  $\arg\{Z\}$  in Polardarstellung. Dieser gibt die Phasenverschiebung an. Numerisch ergibt sich für  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 100 \cdot \pi$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ .

$$\arg\{Z\} = \arctan\left(\frac{1}{R \cdot C \cdot \omega}\right) = \arctan\left(\frac{10}{\pi}\right) \approx 1.266$$

Der Winkel ist in Radianen gegeben. Durch die Kreisfrequenz umgerechnet auf die Zeitachse ergibt sich

$$\frac{\arg\{Z\}}{\omega} = 0.004 \text{ s}$$

Es handelt sich also um eine Phasenverschiebung von 4 ms. Diese sind auch in Tabelle 2 gut sichtbar.

### 6.1.3 Rechtecksverteilung

Da der Kurvenverlauf der Rechtecksverteilung in dieser Schaltung mathematisch deutlich schwerer zu beschreiben ist, haben wir die wesentlichen Dinge aus der Sinusfrequenz bestimmt. Der Vollständigkeit halber ist der Kurvenverlauf in Abbildung 4 zu sehen.

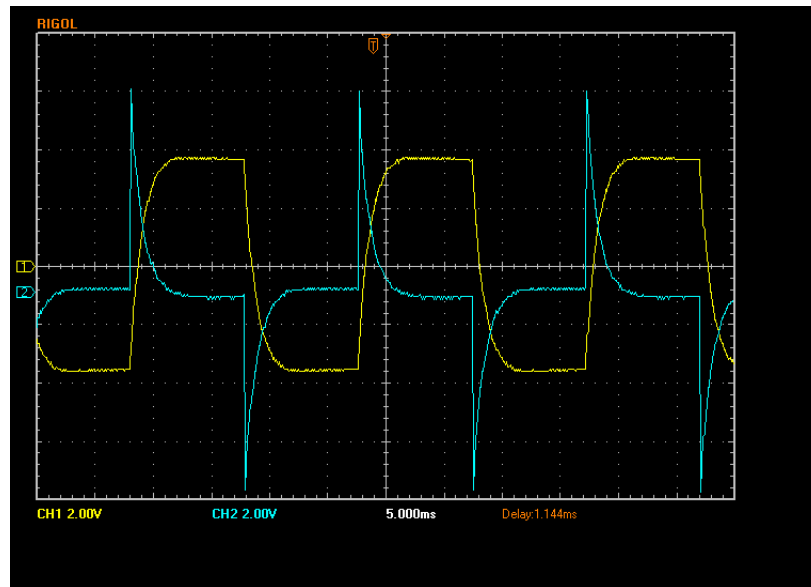


Abbildung 4: Spannungsverläufe einer RC Schaltung mit  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und  $C = 1 \mu\text{F}$  bei einer Sinusfrequenz mit  $f = 50 \text{ Hz}$ . Channel 1 ist die Spannung über den Widerstand, Channel 2 ist die Spannung über den Kondensator.

## 6.2 RLC-Schwingkreis

Hier wurde die Spannung über den Widerstand im RLC-Schwingkreis vermessen. Es gibt 3 mögliche Fälle

$$\begin{cases} R^2 \cdot C - 4 \cdot L > 0 & 2 \text{ reelle Lösungen, Kriechfall} \\ R^2 \cdot C - 4 \cdot L = 0 & 1 \text{ reelle Lösung, aperiodischer Grenzfall} \\ R^2 \cdot C - 4 \cdot L < 0 & 2 \text{ konjugiert-komplexe Lösungen, Schwingfall} \end{cases}$$

## 6.3 Schwingfall

Im Schwingfall gilt

$$R^2 \cdot C - 4 \cdot L < 0$$

Daraus folgt mit  $R = 200 \Omega$

$$R^2 \cdot C < 4 \cdot L \quad \Rightarrow \quad \frac{R^2 \cdot C}{4} < L \quad \Rightarrow \quad 0.01 < L$$

Die Induktivität der Spule muss also größer als 10 mH sein. Um das zu erreichen wurde in beide Spulen der Metallkern eingesetzt. Grafik 5 zeigt den Verlauf der Spannung über den Widerstand.

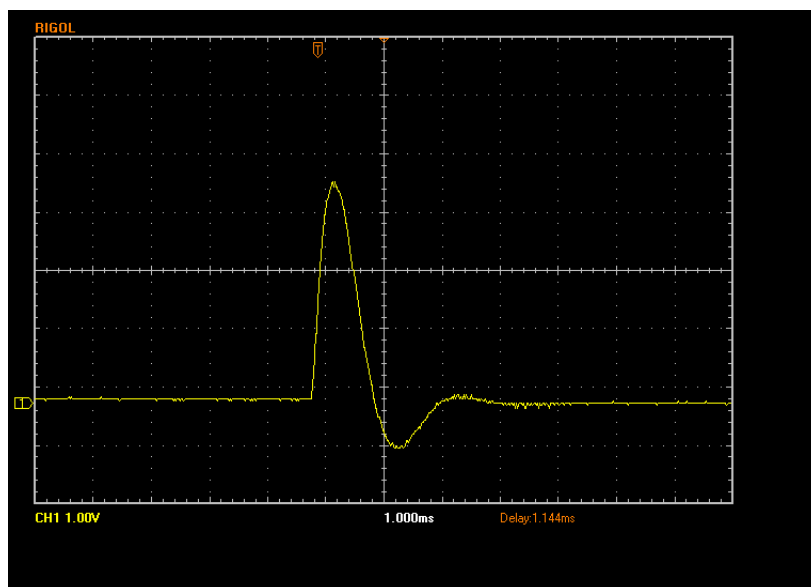


Abbildung 5: Spannungsverlauf über den Widerstand im RLC-Schwingkreis im Schwingfall.  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ , beide Spulen ohne Kern.

## 6.4 Kriechfall

Für den Kriechfall gilt

$$R^2 \cdot C - 4 \cdot L > 0$$

Daraus folgt mit  $R = 1 \text{ k}\Omega$

$$R^2 \cdot C > 4 \cdot L \quad \Rightarrow \quad \frac{R^2 \cdot C}{4} > L \quad \Rightarrow \quad 0.25 > L$$

In diesem Fall wurde aus beiden Spulen der Kern entfernt.



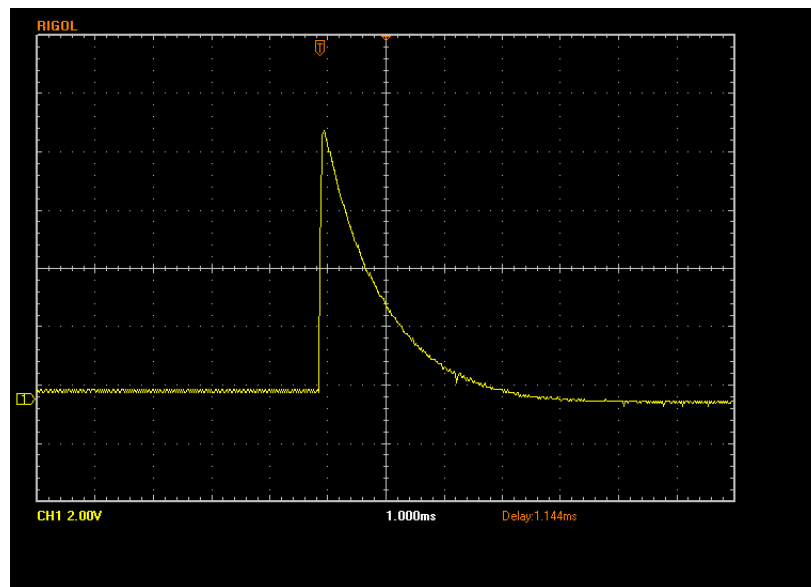


Abbildung 6: Spannungsverlauf im Kriechfall.

## 6.5 Aperiodischer Grenzfall

Im aperiodischen Grenzfall gilt

$$\frac{R^2 \cdot C}{4} = L$$

für  $R = 200 \, \Omega$ . Daher gilt  $L \approx 0.01 \, \text{H}$ . Um diesen Fall zu erreichen wurde der Metallkern aus einer Spule entfernt, während der andere nur halb herausgezogen wurde.

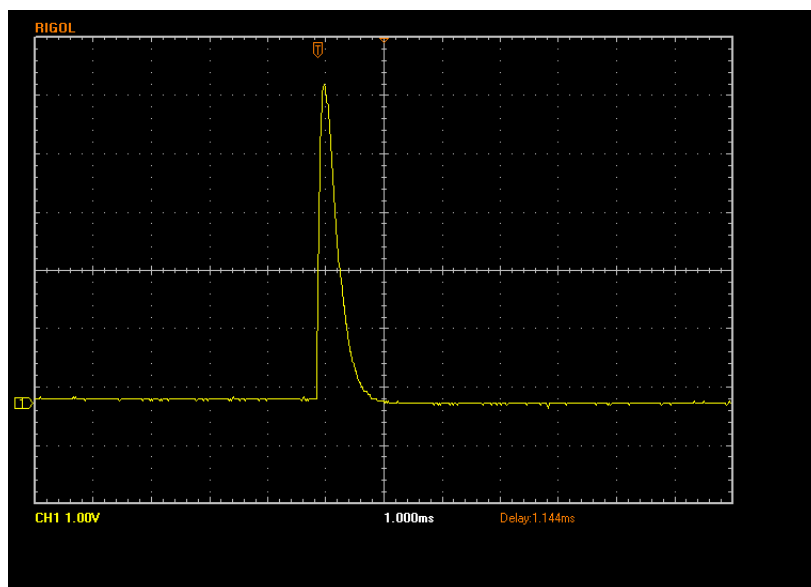


Abbildung 7: Spannungsverlauf im aperiodischen Grenzfall.

## 7 Zusammenfassung und Diskussion

### A Python Skript

---

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def extract_data_from_file(filename):
    f = open(filename, "r")
    data = f.read()
    lines = data.split("\n")
    msec = []
    channel = []
    for line in lines:
        parts = line.split(",")

        if line != "":
            msec.append(float(parts[1]))
            channel.append(float(parts[2]))
    f.close()
    return [msec, channel]
```

```
msecs1, channel1 = extract_data_from_file("data1.csv")
msecs2, channel2 = extract_data_from_file("data2.csv")

plt.plot(msecs1, channel1)
plt.plot(msecs2, channel2)
plt.savefig('plots.png')

def find_max(msecs, data, time_from, time_to):
    current_max = -100
    current_max_time = -100
    for i in range(len(msecs)):
        if msecs[i] >= time_from/1000.0 and msecs[i]
<= time_to/1000.0 :
            if data[i] > current_max:
                current_max = data[i]
                current_max_time = msecs[i]
    return [current_max_time, current_max]

print(find_max(msecs1, channel1, -20, -15))
print(find_max(msecs1, channel1, 0, 5))
print(find_max(msecs1, channel1, 20, 25))
# [-0.0166, 3.6], [0.00324, 3.6], [0.0228, 3.6]

print(find_max(msecs2, channel2, -15, -10))
print(find_max(msecs2, channel2, 5, 10))
print(find_max(msecs2, channel2, 25, 30))
# [-0.0124, 1.06], [0.00744, 1.06], [0.0268, 1.06]
```

---

Listing 1: Sinus Auswertung von Schaltung 1

## B Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/ausblick/braunsche-roehre>
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=TZQoyem7Jzo>
- [3] <https://www.rahner-edu.de/grundlagen/signale-richtig-verstehen/schwingkreise/>

- [4] <https://itp.tugraz.at/wiki/index.php/RLC-Serienschwingkreis>
- [5] [https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/  
kondensator-kapazitaet/grundwissen/ein-und-ausschalten-von-rc-kreisen](https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/kondensator-kapazitaet/grundwissen/ein-und-ausschalten-von-rc-kreisen)
- [6] Unterlagen zum Versuch aus dem TeachCenter der TU Graz