
Physikalisches Praktikum für

Naturwissenschaftler

Blockpraktikum Wintersemester 2022/23

Kondensator und Spule

01.03.2023

~~~~~

Gruppe 1

Betreut durch, ~~~~~

## Einleitung

Ziel dieses Versuchs ist es, unsere Kenntnisse zur Auf- und Entladevorgang eines Kondensators und das Ein- und Ausschaltverhalten einer Spule zu vertiefen und experimentell nach zu vollziehen wie Bauteile sich innerhalb Stromkreise verhalten.

## Versuchsaufbau und Durchführung

### Spannungs- und Stromverläufe eines Kondensators

Um die Spannungsverläufe eines Kondensators während der Ein- und Ausschaltphase zu untersuchen wird ein Widerstand von  $R=2000\Omega$  mit einem Kondensator [C6a] in einem Steckbrett gesteckt, rechts und links vom Steckbrett werden ein Oszilloskop und ein Impulsgenerator angeschlossen. Mit dem Impulsgenerator wird eine periodische Rechteckspannung erzeugt und mit dem Oszilloskop werden die gemessenen Spannungsverläufe in Abhängigkeit von Zeit  $t$  [ $\mu\text{s}$ ] graphisch dargestellt, von der Graphik konnten nun die in der Messwertetabelle eingetragenen Zeiten und Spannungen entnommen und dokumentiert werden. Dann wurde die Anordnung des Widerstands und des Kondensators vertauscht und wieder Werte abgenommen.

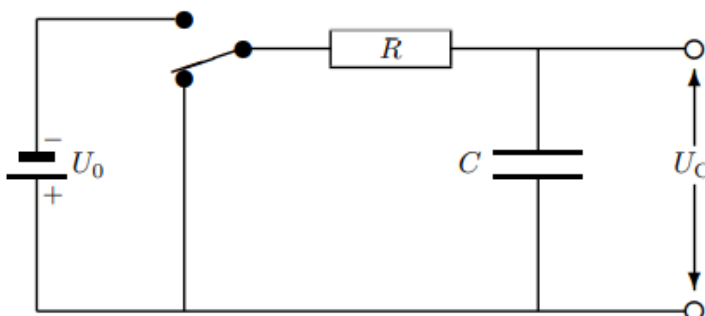


Abbildung 1: Schaltskizze zur Untersuchung des Auf- und Entladeverhaltens eines Kondensators, entnommen aus KS.2

### Spannungs- und Stromverläufe einer Spule

Um die Strom und Spannungsverläufe eines Kondensators während der Ein- und Ausschaltphase zu untersuchen wird ein Widerstand von  $R=1000\Omega$  mit einer Spule [L6a] in einem Steckbrett gesteckt, rechts und links vom Steckbrett werden ein Oszilloskop und ein Impulsgenerator angeschlossen. Mit dem Impulsgenerator wird eine periodische Rechteckspannung erzeugt und mit dem Oszilloskop werden die gemessenen Spannungsverläufe in Abhängigkeit von Zeit  $t$  [ $\mu\text{s}$ ] graphisch dargestellt, von der Graphik konnten nun die in der Messwertetabelle eingetragenen Zeiten und Spannungen entnommen und dokumentiert werden. Die absolut angegebenen Werte sind die Differenz zwischen Spannung  $U$  zum Zeitpunkt  $t=0\mu\text{s}$  und der zum Zeitpunkt  $t_i$  gemessenen Spannung  $U_i$

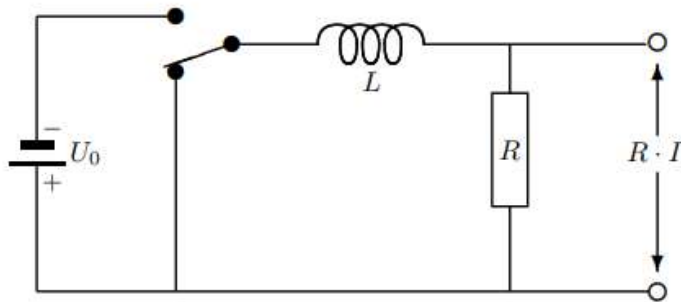
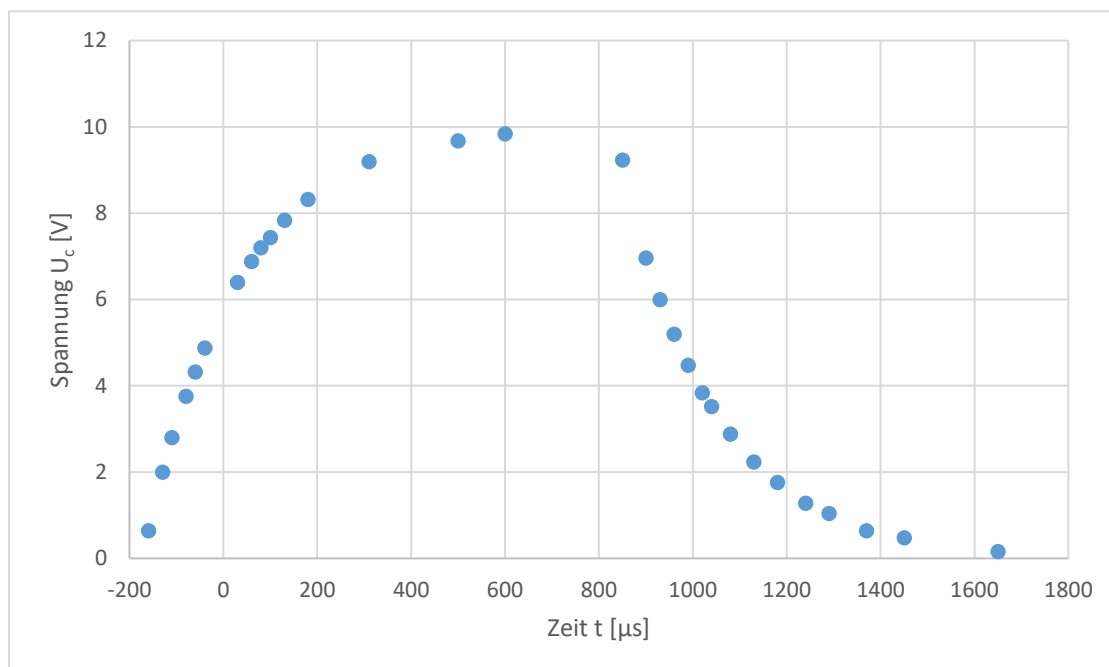


Abbildung 2: Schaltskizze zur Untersuchung des Ein- und Ausschaltverhalten einer Spule, entnommen aus KS.5.

## Versuchsauswertung

### 1) Kondensator

Diagramm1: Spannungsverlauf  $U_c(t)$  bei Auflade- und Entladevorgang eines Kondensators über ein Widerstand von  $2000 \Omega$ 

Die Spannung  $U_c$  [V] kann als Funktion von der Zeit  $t$  [ $\mu\text{s}$ ] graphisch dargestellt werden, somit entsteht die  $U_c(t)$  Kurve des obigen Diagramms. Hier ist ein exponentieller Wachstum der Spannung  $U_c$  während dem Auflade Vorgangs zu beobachten und ein exponentieller Zerfall während dem Entladen zu beobachten. Diese Beobachtung entspricht dem theoretisch vorhergesagten Verlauf, wie abgebildet in der Abbildung KS. 3. (siehe Seite 4) Kommt es zunächst während der Aufladevorgangs zu einem exponentiellen Wachstum und anschließend während der Entladevorgangsein ein exponentieller Zerfall der Spannung zu beobachten.

Mithilfe des Ohm'schen Gesetzts werden die im versuch gemessenen Spannungswerte umgerechnet um somit eine Stromstärkenverlauf graphisch darstellen zu können.

$$I(t) = \frac{U_c}{R}$$

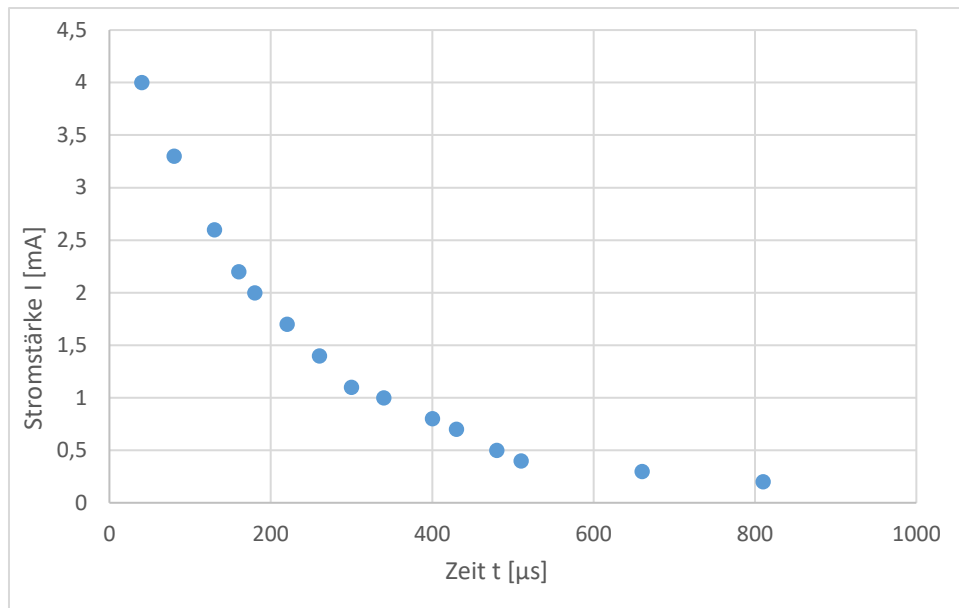


Diagramm 2: Stromstärkenverlauf  $I(t)$  bei der Aufladung des Kondensators über einen Widerstand  $R = 2000 \Omega$

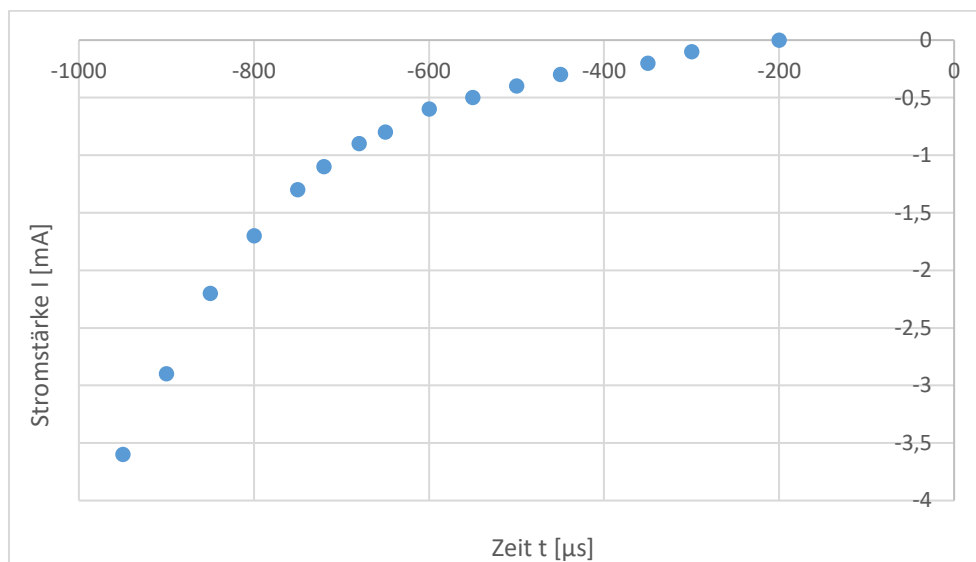


Diagramm 3: Stromstärkenverlauf  $I(t)$  bei der Entladung des Kondensators über einen Widerstand  $R = 2000 \Omega$

Die Stromstärke  $I$  [mA] kann als Funktion von der Zeit  $t$  [μs] graphisch dargestellt werden, somit entsteht die  $I(t)$  Kurve der obigen Diagramme. Das Oszilloskop wählt eine eigene Zeitskalierung, dabei kam es in diesem Fall zu der Entstehung von negativen Zeiten, was jedoch keine weiteren Einfluss auf die gemessenen Werte oder deren ihre Auswertung haben. Wenn die gesamte Zeit zur Entladung der Kurve betrachtet wird entspricht dies wie bei der Aufladung ca.  $800 \mu\text{s}$  und nähert ein Stromstärke von 0.

Der Kurvenverlauf entspricht also unter Verachtung der negativen Zeiten dem erwarteten Verlauf einer exponentiellen Annäherung an der Stromstärke  $0 \text{ mA}$  während der Auf- und Entladungsverläufe wie abgebildet in der Abbildung KS 3.

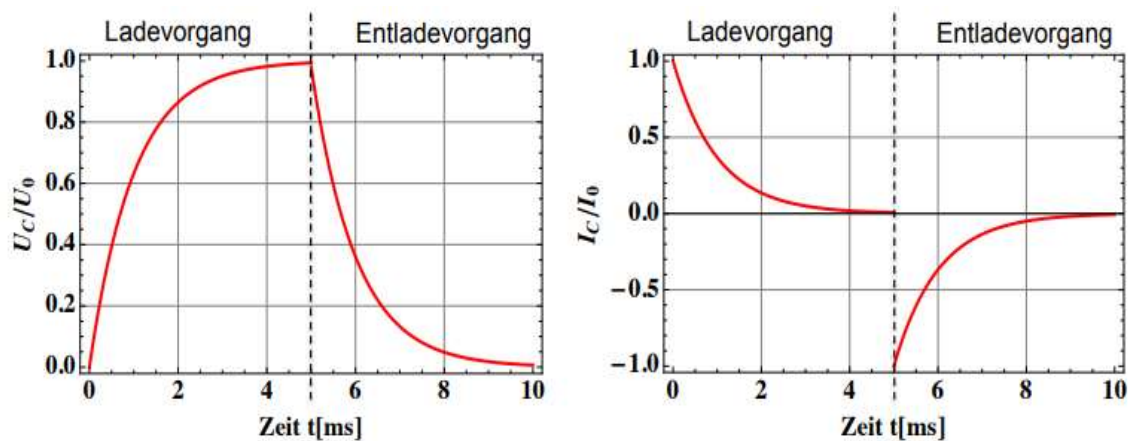


Abbildung 3: Der Theoretische zeitliche Verlauf von Auf- und Entladestrom und der Kondensatorspannung entnommen aus Abbildung KS.3

### Beschreibung des Verhaltens von $U_C(t)$ bzw. $I(t)$ .

Nach dem Einschalten beträgt die Spannung am Kondensator  $U_C=0$ , dies bedeutet wiederum das  $U_0$  am Widerstand abfällt. Die Stromstärke hingegen ist zu  $t=0$  Maximal, da die Ladungen ungehindert auf die Kondensatorplatten fließen können. Die  $U_C(t)$  Kurve steigt zu Beginn exponentiell steil an und steigt langsamer bei Annäherung der Quellspannung an. Die Stromstärke nimmt exponentiell ab da es mit der Zeit immer mehr Arbeit benötigt um weitere Ladungen auf die Kondensatorplatten zu befördern.  $U_C$  nähert der Quellspannung von 10V fast vollständig an, Die Stromstärke hingegen nähert 0mA. Der Kondensator ist zu diesem Zeitpunkt vollständig aufgeladen.

Der Kondensator wird entladen indem die Spannungsquelle (Impulsgenerator) vom Stromkreis getrennt wird, nun dient der Kondensator als Spannungsquelle. Zu Beginn dieses Vorgangs beträgt  $U_C=U_0$  daher fließt zu Beginn auch eine maximale Stromstärke von  $I_0$ .  $I_0$  beträgt den gleichen Betrag wie die Anfangs Stromstärke, läuft jedoch entgegengesetzt ab dies ist an dem Vorzeichenwechsel erkennbar. Beim Entladen kommt Beginn eines steilen exponentiellen Zerfalls der Spannung  $U_C$  und eine Verlangsamung des Zerfalles bei der Annäherung an 0V. Während der Entladung kommt es zu einem starken exponentiellen Zerfall der Stromstärke was sich wie bei Annäherung von 0mA verlangsamt, die Begründung hierfür ist die sinkende Abstoßkraft zwischen gleichen Ladung an den Kondensatorplatten.

## 2) Spule

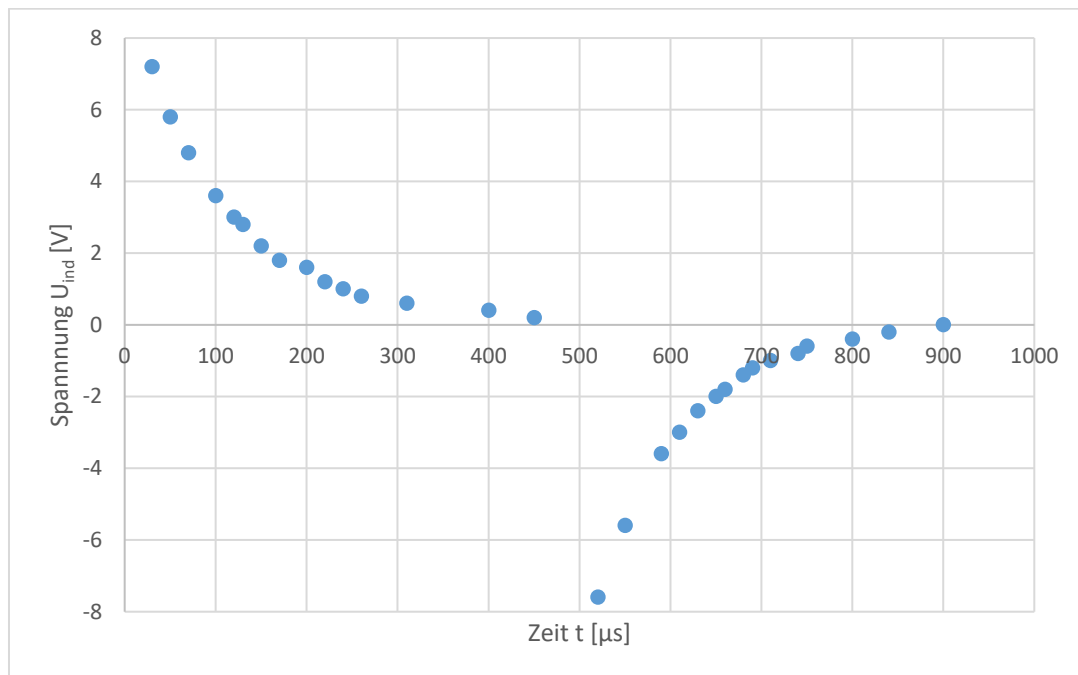


Diagramm 4: Spannungsverlauf  $U_{ind}(t)$  bei der Auf- und Entladung der Spule über einen  $1000\ \Omega$ -Widerstand

Die Kurvenverläufe der Diagramme Spannung  $U_{ind}(t)$  entsprechen die Kurvenverläufe aus der Theorie wie in der Abbildung KS.6 dargestellt, hier liegt ein exponentieller Annäherungsvorgang an 0 vor ähnlich zum  $I(t)$ -Verlauf beim Laden und Entladen des Kondensators. Die gemessene Spannung  $U_{ind}$  in der Phase einer anliegenden Spannung  $U_0$  nähert aus positiver Richtung der 0, in der Phase ohne anliegende Spannung  $U_0$  nähert sie aus negativer Richtung der 0.

Mithilfe des Ohm'schen Gesetzts werden die im versuch gemessenen Spannungswerte umgerechnet um somit eine Stromstärkenverlauf graphisch darstellen zu können.

$$I(t) = \frac{U_{ind}}{R}$$

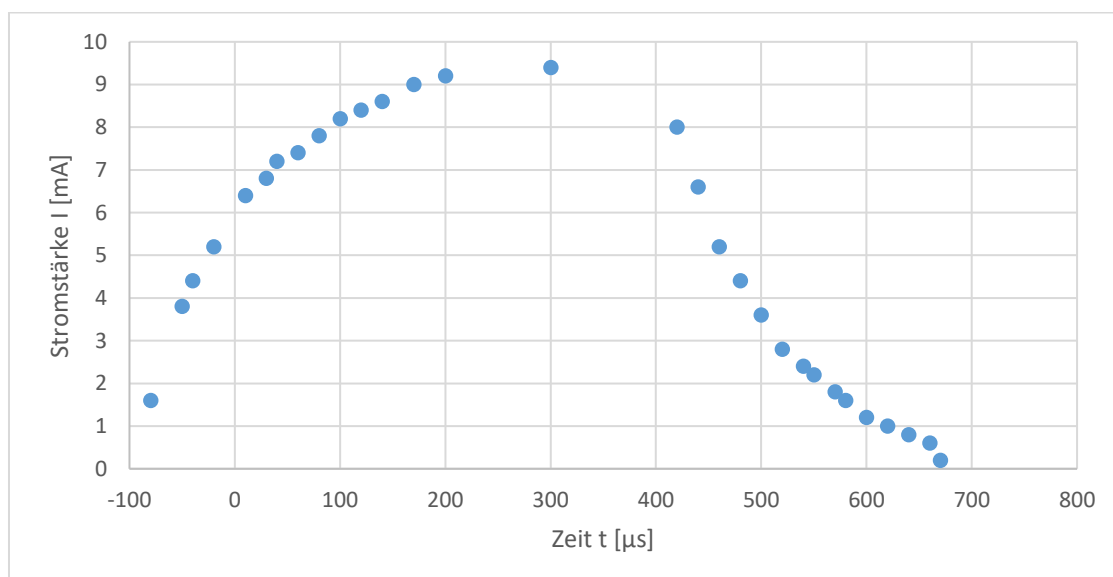


Diagramm 5: Stromstärke  $I(t)$  bei der Auf- und Entladung der Spule über einen  $1000\ \Omega$ -Widerstand

Die Kurvenverläufe der Diagramme der Stromstärke  $I(t)$  entsprechen bis auf minimale Abweichungen die Kurvenverläufe aus der Theorie wie in der Abbildung KS.6 dargestellt: Bei anliegender Spannung kommt es zuerst zu einem steilen exponentielles Wachstum und bei Annäherung an 10mA kommt es zu einem langsameren Anstieg. Während dem Übergang in der Phase ohne anliegende Spannung ist ein steiler exponentieller Zerfall zu beobachten.

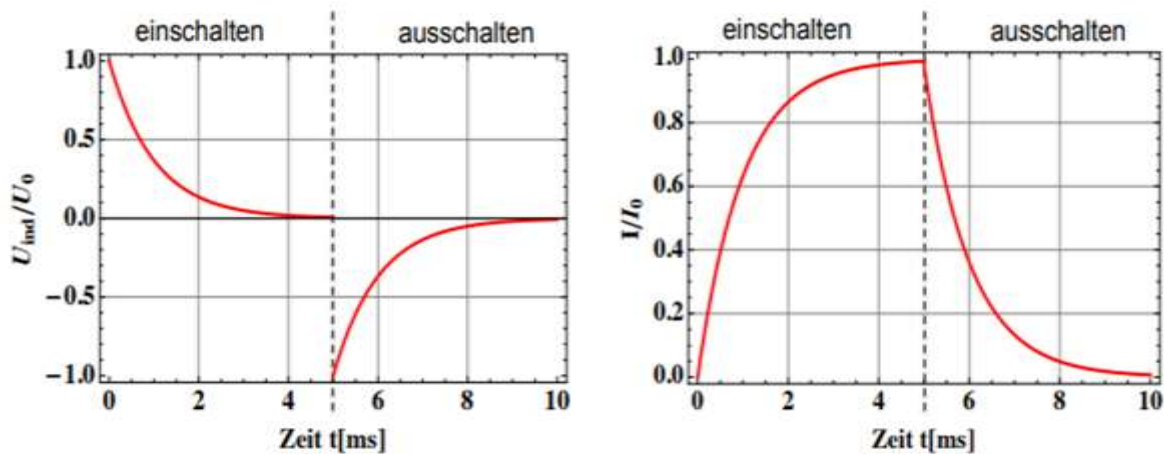


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf von Induktionsspannung (links) und Ein- und Ausschaltstrom (rechts) einer Spule in der Theorie entnommen aus der Abbildung KS.6

Beschreibung des Verhaltens von  $U_{\text{ind}}(t)$  bzw.  $I(t)$ .

Unmittelbar nach dem Einschalten der Spule ist die Spannung maximal  $U_{\text{ind}} = U_0$ , daher die Spannung fällt an der Spule ab nicht wie beim Kondensator an dem Widerstand. Die Spannung zerfällt exponentiell rasch und verlangsamt sobald 0V angenähert wird. Die Stromstärke  $I$  [mA] steigt anfangs steil exponentiell und langsamer bei Annäherung von 10mA.

Die Spule dient als Spannungsquelle sobald die Spannung  $U_0$  abgelegt wird, die Ladungen strömen entgegen der ursprünglichen Stromrichtung entlang der hohen Spannung. Es kommt zur Entladung der Spule und  $U_{\text{ind}}$  und  $I$  zerfallen exponentiell es zeigt sich erneut ein schneller Zerfall der Spannung und Stromstärke mit anschließender Verlangsamer Annäherung an 0V und =mA.

### 3) Kapazität und Induktivität

Kapazität  $C$  des Kondensators

Die Steigung ( $m$ ) der Messwerte  $U_c(t)$  der Entladekurve lässt sich mithilfe der folgenden Gleichung berechnen:

$$U_c(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad [\text{KS } 8]$$

mit  $U_0 = 10V$

$$m = \ln\left(\frac{U_c(t)}{U_0}\right)$$

Die Ergebnisse lassen sich graphisch wie folgt darstellen:

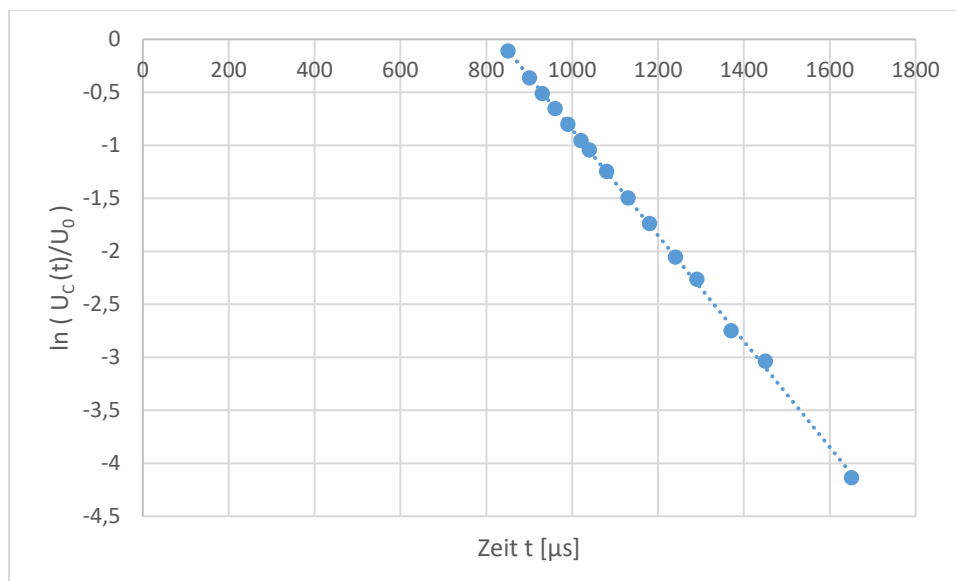


Diagramm 6:  $\ln(U_c(t)/U_0)$  als Funktion der Zeit  $t$  ( $\mu s$ )

Die Steigung der Ausgleichsgerade lässt sich mithilfe Excels berechnen und beträgt:

$$m \approx -0,004993 \frac{1}{\mu s}$$

Die Zeitkonstante können nun wie folgt mittels der Steigung  $m$  berechnet werden:

$$\tau_c \approx -\frac{1}{m} = 200,29 \mu s$$

Die Kapazität  $C$  des Kondensators kann nun berechnet werden:

$$C \approx \frac{\tau_c}{R} = 100,145 nF$$

Da mit dieser Methode die Kapazität auf genau 3% berechnet werden kann, ergibt sich die absolute Messunsicherheit als  $\Delta C = 4 nF$

Daraus folgt:

$$C = (100 \pm 4) nF$$

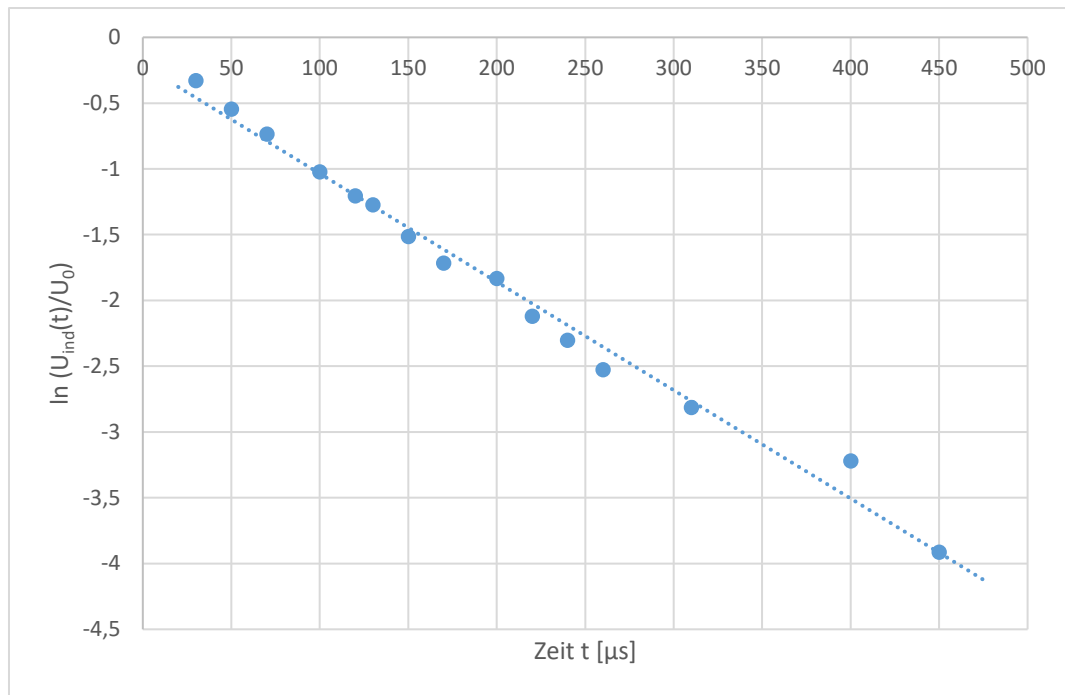
### Induktivität $L$ der Spule

Die Steigung ( $m$ ) der Messwerte  $U_{ind}(t)$  der Entladekurve lässt sich mithilfe der folgenden Gleichung berechnen:

$$U_{ind}(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \quad [KS.14]$$

mit  $U_0 = 10V$

$$m = \ln\left(\frac{U_{ind}(t)}{U_0}\right)$$



Die Steigung der Ausgleichsgerade lässt sich mithilfe Excels berechnen und beträgt:

$$m \approx -0,008234 \frac{1}{\mu.s}$$

Die Zeitkonstante kann nun wie folgt mittels der Steigung  $m$  berechnet werden:

$$\tau_L \approx -\frac{1}{m} = 121,39 \mu s$$

Die Induktivität kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$L \approx \tau_L \times R \\ \approx 121,39 mH$$

Da mit dieser Methode die Induktivität auf genau 3% berechnet werden kann, ergibt sich die absolute Messunsicherheit als  $\Delta L \approx 4 mH$

Daraus folgt:

$$L = (121 \pm 4) mH$$

4)

In dem die Gleichungen umgeformt werden soll in der Theorie gezeigt werden das  $\frac{L}{R}$  und  $L \times R$  jeweils die Dimension Zeit haben.

$$\left[ \frac{L}{R} \right] = \frac{\frac{U_{ind}(t)}{A}}{\Omega} = \frac{\frac{V_s}{A}}{\frac{V}{A}} = \frac{V_s \times A}{A \times V} = s$$

$$[R \times C] = \Omega \times \frac{A_s}{V} = \frac{V}{A} \times \frac{A_s}{V} = s$$

## Fazit

Durch diesem Praktikumsversuch hatten wir die Möglichkeit unsere Kenntnisse zur Auf- und Entladevorgang eines Kondensators und das Ein- und Ausschaltverhalten einer Spule zu vertiefen und experimentell nach zu vollziehen. Anhand unserer Messwerte konnten Theoretische Überlegung zum Verhalten innerhalb eines Stromkreises bestätigt werden. Es kam zu minimale Abweichungen in den Kurvenverläufen die zu hoher Wahrscheinlichkeit aufgrund Messungenauigkeiten zu Stande kamen.

# Messergebnistabelle - Kondensator & Spule

Datum des Versuchs: 01.03.2024

Gruppennummer: 007-100-101-08

Teilnehmer: 001-100-101-08

Unterschrift Assistent/-in: 001-100-101-08

## Kondensator (Einschaltverlauf)

Kondensatornummer: C6a

Eingangsspannung  $U_0$ : 10V

R = 2000Ω

U<sub>C</sub>(t)

| Spannung U (mV) | 640 mV | 2,00 | 2,80 | 3,76 | 4,32 | 4,88 | 6,40 | 6,88 | 7,20 | 7,44 | 7,84 | 8,32 | 9,20 | 9,68 | 9,84 |
|-----------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Zeit (ms) μs    | -160   | -130 | -110 | -80  | -60  | -40  | 30   | 60   | 80   | 100  | 130  | 180  | 310  | 500  | 600  |

U<sub>C</sub>(t)

| Spannung U (mV) | -7,20 | -5,80 | -4,80 | -3,40 | -2,60 | -2,20 | -1,8 | -1,60 | -1,20 | 1,00 | -800 mV | -600 mV | -400 mV | -200 | 0,00V |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|---------|---------|---------|------|-------|
| Zeit (ms) μs    | -950  | -900  | -850  | -800  | -750  | -720  | -178 | -650  | -600  | -550 | -500    | -450    | -350    | -300 | -200  |

↳ Ausschaltverlauf

## Kondensator (Ausschaltverlauf)

R = 2000Ω

U<sub>C</sub>(t)

| Spannung U (mV) | 8,96 | 6,96 | 6,00 | 5,20 | 4,48 | 3,84    | 3,52    | 2,88    | 2,24    | 1,76    | 1,28    | 1,04    | 0,80    | 0,48    | 0,16 |
|-----------------|------|------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| Zeit (ms) μs    | 850  | 900  | 930  | 960  | 990  | 1,02 ms | 1,04 ms | 1,08 ms | 1,13 ms | 1,18 ms | 1,24 ms | 1,29 ms | 1,37 ms | 1,45 ms | 1,65 |

U<sub>C</sub>(t)

| Spannung U (mV) | 8,00 | 6,60 | 5,20 | 4,40 | 4,00 | 3,40 | 2,80 | 2,20 | 2,0 | 1,60 | 1,40 | 1,00 | 0,80 | 0,60 | 0,40 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Zeit (ms) μs    | 40   | 80   | 130  | 160  | 180  | 220  | 260  | 300  | 340 | 400  | 430  | 480  | 510  | 560  | 610  |

↳ Einschaltverlauf

\* Spannung separate Diagramme

## Spule (Einschaltverlauf)

Spulennummer: L6a

Eingangsspannung  $U_0$ : 10V

R = 1000Ω

U<sub>ind</sub>(t)

|                   |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |                        |       |       |     |
|-------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------------------------|-------|-------|-----|
| Spannung U (in V) | 7,20 | 5,80 | 4,80 | 3,60 | 3,0 | 2,80 | 2,20 | 1,80 | 1,60 | 1,20 | 1,00 | <del>800mV</del> 600mV | 400mV | 200mV |     |
| Zeit (in $\mu$ s) | 30   | 50   | 70   | 100  | 120 | 130  | 150  | 170  | 200  | 220  | 240  | 260                    | 280   | 400   | 450 |

800mV

310

I(t)

|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |                      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Spannung U (in V) | 1,60 | 3,80 | 4,40 | 5,20 | 6,40 | 6,80 | 7,20 | 7,40 | <del>8,00</del> 7,80 | 8,20 | 8,40 | 8,60 | 9,00 | 9,20 | 9,40 |
| Zeit (in $\mu$ s) | -80  | -50  | -40  | -20  | 10   | 30   | 40   | 60   | 80                   | 100  | 120  | 140  | 170  | 200  | 300  |

$\mu$ s

Spule (Ausschaltverlauf)

R = 1000 $\Omega$

U<sub>ind</sub>(t)

|                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |      |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| Spannung U (in V) | -7,60 | -5,60 | -3,60 | -3,00 | -2,40 | -2,00 | -1,80 | -1,40 | -1,20 | -1,00 | -800mV | -600mV | -400mV | -200mV | 0,00 |
| Zeit (in $\mu$ s) | 520   | 550   | 590   | 610   | 630   | 650   | 660   | 680   | 690   | 710   | 740    | 750    | 800    | 850    | 900  |

I(t)

|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Spannung U (in V) | 8,00 | 6,60 | 5,20 | 4,40 | 3,60 | 2,80 | 2,40 | 2,20 | 1,80 | 1,60 | 1,20 | 1,00 | 800mV | 600mV | 200mV |
|                   | 420  | 440  | 460  | 480  | 500  | 520  | 540  | 550  | 570  | 580  | 600  | 620  | 640   | 660   | 770   |
| Zeit (in $\mu$ s) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |