Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler SS 26

KS – Kondensator und Spule

Gruppe: 21
Betreuer: Dereh, Dominik
Verfasser: [redacted]

Versuchsdatum: 02.07.2026
Abgabedatum: 15.07.2026

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2
1. Zielsetzung 3
2. Versuchsaufbau und Durchführung 3
2.1 Spannungs- und Stromverläufe eines Kondensators 3
2.2 Spannungs- und Stromverläufe einer Spule 3
3. Versuchsauswertung 5
3.1 Kondensator 5
3.2 Kondensator: Beschreibung des Verhaltens von $U_C(t)$ bzw. I(t) 8
3.3 Spule 8
3.4 Spule: Beschreibung des Verhaltens von $U_{ind}(t)$ bzw. I(t) 10
3.5 Kapazität C des Kondensators 11
3.6 Induktivität L der Spule 12
3.7 Dimensionsnachweis der Zeitkonstante 13
4. Fazit 13
5. Anhang 14

1. Zielsetzung

Ziel dieses Versuchs ist es, das elektrische Verhalten eines Kondensators beim Auf- und Entladevorgang sowie das Verhalten einer Spule beim Ein- und Ausschalten experimentell zu untersuchen. Dabei sollen die zeitlichen Verläufe von Spannung und Strom gemessen und mit den theoretisch vorhergesagten Zusammenhängen verglichen werden. Darüber hinaus werden die Kapazität des Kondensators und die Induktivität der Spule aus den Messdaten bestimmt sowie die Funktionsweise eines Digitaloszilloskops praktisch kennengelernt.

2. Versuchsaufbau und Durchführung

2.1 Spannungs- und Stromverläufe eines Kondensators

Zur Untersuchung der Spannungsverläufe eines Kondensators während des Auf- und Entladevorgangs wird ein Widerstand mit R = 1000 zusammen mit einem Kondensator (C1b) auf einem Steckbrett aufgebaut. Das Steckbrett wird mit einem Impulsgenerator sowie einem Digitaloszilloskop verbunden. Der Impulsgenerator erzeugt eine periodische Rechteckspannung, während das Oszilloskop den zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung grafisch in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Aus den angezeigten Spannungsverläufen werden die benötigten Zeit- und Spannungswerte entnommen und in der Messwerttabelle dokumentiert. Anschließend werden die Positionen des Widerstands und des Kondensators vertauscht, sodass der zweite Schaltungstyp untersucht und ebenfalls die entsprechenden Messwerte aufgenommen werden.

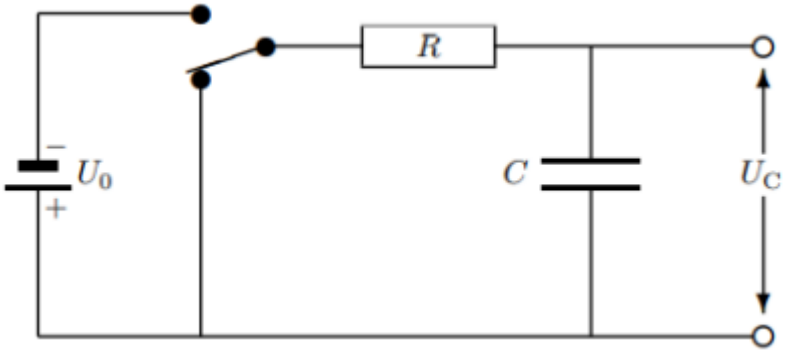


Abbildung 1: Schaltskizze zur Untersuchung des Auf- und Endladeverhaltens eines Kondensators, entnommen aus KS.2

2.2 Spannungs- und Stromverläufe einer Spule

Zur Untersuchung des Strom- und Spannungsverhaltens einer Spule während des Ein- und Ausschaltvorgangs wird ein Widerstand mit R = 1000 Ω zusammen mit einer Spule (L1a)

auf einem Steckbrett aufgebaut. Das Steckbrett wird mit einem Impulsgenerator sowie einem Digitaloszilloskop verbunden. Der Impulsgenerator erzeugt eine periodische Rechteckspannung, während das Oszilloskop den zeitlichen Verlauf der Spannung in Abhängigkeit von der Zeit grafisch dargestellt. Aus den angezeigten Spannungsverläufen werden die benötigten Zeit- und Spannungswerte entnommen und in der Messwerttabelle dokumentiert. Die angegebenen Spannungswerte entsprechen dabei der Differenz zwischen der Spannung zum Zeitpunkt $t = 0\ \mu$s und der zum jeweiligen Messzeitpunkt t_i gemessenen Spannung U_i .

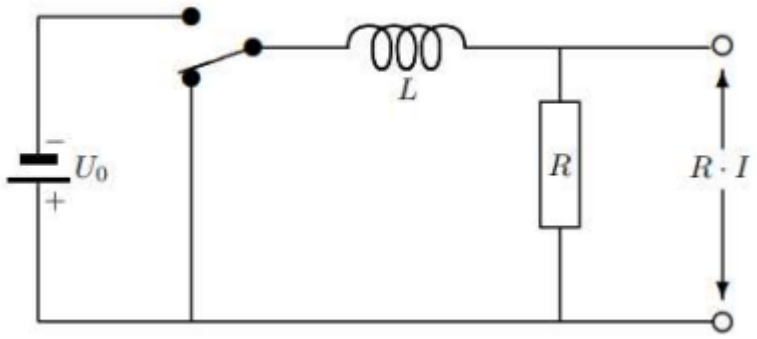


Abbildung 2: Schaltskizze zur Untersuchung des Ein- und Ausschalteverhalten einer Spule, entnommen aus KS.5.

3. Versuchsauswertung

3.1 Kondensator

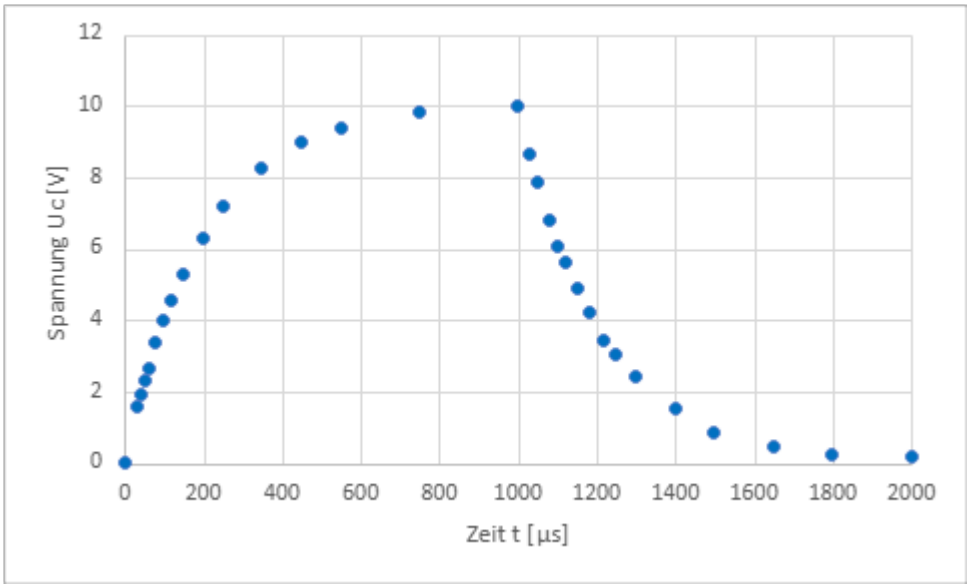


Diagramm1: Spannungsverlauf U_C (t) bei Auflade- und Entladevorgang eines Kondensators über einen Widerstand von 2000 Ω

Die Kondensatorspannung U_c [V] kann in Abhängigkeit von der Zeit t [μs] grafisch dargestellt werden. Es ergibt sich der in Diagramm 1 dargestellte Spannungsverlauf $U_c(t)$. Während des Aufladevorgangs steigt die Spannung exponentiell an und nähert sich asymptotisch der angelegten Endspannung an. Während des Entladevorgangs fällt die Spannung hingegen exponentiell ab. Der experimentell bestimmte Verlauf stimmt mit dem theoretisch vorhergesagten Verhalten eines RC-Glieds überein (vgl. Abbildung KS.3, Seite 4).
Mithilfe des Ohm´schen Gesetzes können die gemessenen Spannungswerte in Stromstärken umgerechnet werden. Da Widerstand und Stromstärke über das Ohm´sche Gesetz miteinander verknüpft sind, ergibt sich für den Stromverlauf:

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

Auf Grundlage dieser Beziehung lässt sich anschließend der zeitliche Verlauf der Stromstärke grafisch dargestellt und auswerten.

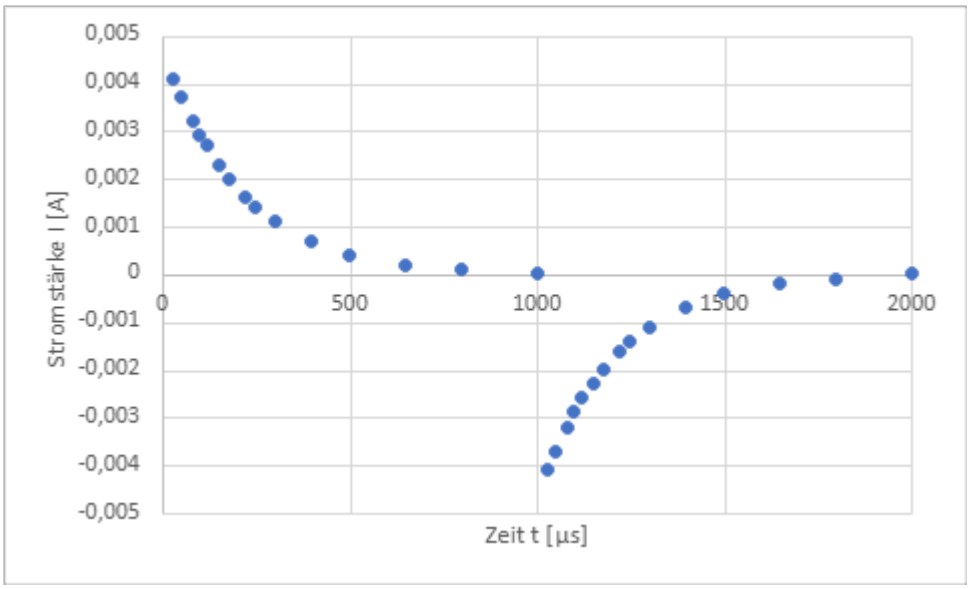


Diagramm 2: Stromstärkenverlauf I(t) bei der Auf- und Entladung des Kondensators über einen Widerstand R = 2000 Ω

Die Stromstärke I [A] wird in Abhängigkeit von der Zeit t grafisch dargestellt, wodurch sich der in Diagramm 2 gezeigte Stromverlauf $I(t)$ ergibt. Zu Beginn des Aufladevorgangs besitzt die Stromstärke ihren größten positiven Wert und nimmt anschließend exponentiell ab, bis sie sich dem Wert 0 mA annähert. Nach dem Umschalten auf den Entladevorgang ändert sich die Stromrichtung, weshalb die Stromstärke negative Werte annimmt. Ihr Betrag nimmt jedoch ebenfalls exponentiell ab und nähert sich mit fortschreitender Zeit wieder dem Wert 0 mA an.

Der Sprung von positiven zu negativen Stromwerten entsteht durch das Umschalten zwischen Auf- und Entladevorgang. Die negativen Stromwerte bedeuten dabei lediglich, dass sich die Stromrichtung während der Entladung umkehrt. Der experimentell ermittelte Verlauf stimmt somit mit dem theoretisch erwarteten Verhalten eines RC-Glieds überein, bei dem die Stromstärke sowohl während des Auf- als auch während des Entladevorgangs exponentiell gegen Null abklingt.

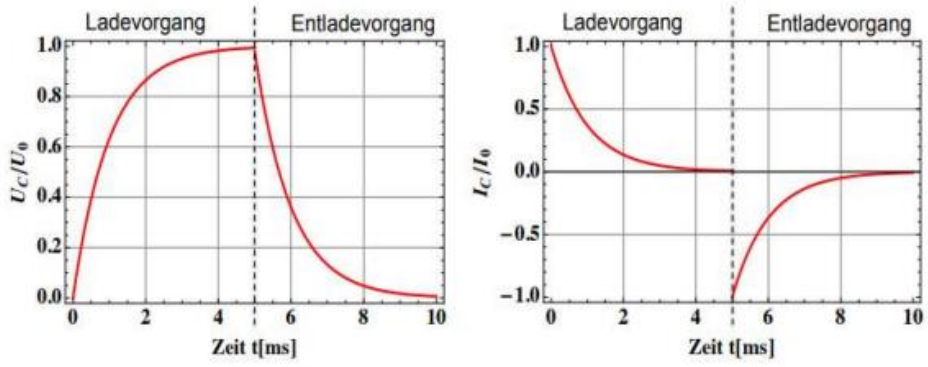


Abbildung 3: Der Theoretische zeitliche Verlauf von Auf- und Entladestrom und der Kondensatorspannung entnommen aus Abbildung KS.3

3.2 Kondensator: Beschreibung des Verhaltens von $U_C(t)$ bzw. I(t)

Nach dem Einschalten beträgt die Spannung am Kondensator zunächst $U_C = 0\,\text{V}$. Dadurch fällt die gesamte Quellspannung U_0 am Widerstand ab. Zu diesem Zeitpunkt ist die Stromstärke maximal, da die elektrischen Ladungen ungehindert auf die Kondensatorplatten fließen können. Mit fortschreitender Aufladung steigt die Kondensatorspannung $U_C(t)$ zunächst exponentiell stark an und nähert sich anschließend immer langsamer der Quellspannung U_0 an. Gleichzeitig nimmt die Stromstärke exponentiell ab, da der bereits aufgeladene Kondensator den weiteren Ladungstransport zunehmend erschwert. Schließlich nähert sich die Kondensatorspannung nahezu der Quellspannung von 10V, während die Stromstärke gegen 0 mA abfällt. Der Kondensator ist damit vollständig aufgeladen.

Zum Entladen wird die Spannungsquelle vom Stromkreis getrennt, sodass der aufgeladene Kondensator nun selbst als Spannungsquelle wirkt. Zu Beginn des Entladevorgangs gilt $U_C = U_0$, weshalb zunächst der maximale Entladestrom I_0 fließt. Dieser besitzt denselben Betrag wie der anfängliche Ladestrom, verläuft jedoch in entgegengesetzter Richtung, was sich im Diagramm durch den Vorzeichenwechsel der Stromstärke zeigt. Während des Entladevorgangs nehmen sowohl die Kondensatorspannung als auch der Betrag der Stromstärke exponentiell ab und nähern sich asymptotisch dem Wert Null an. Ursache hierfür ist die fortschreitende Entladung des Kondensators, wodurch die Potentialdifferenz zwischen den Kondensatorplatten kontinuierlich kleiner wird und somit auch der Stromfluss abnimmt.

3.3 Spule

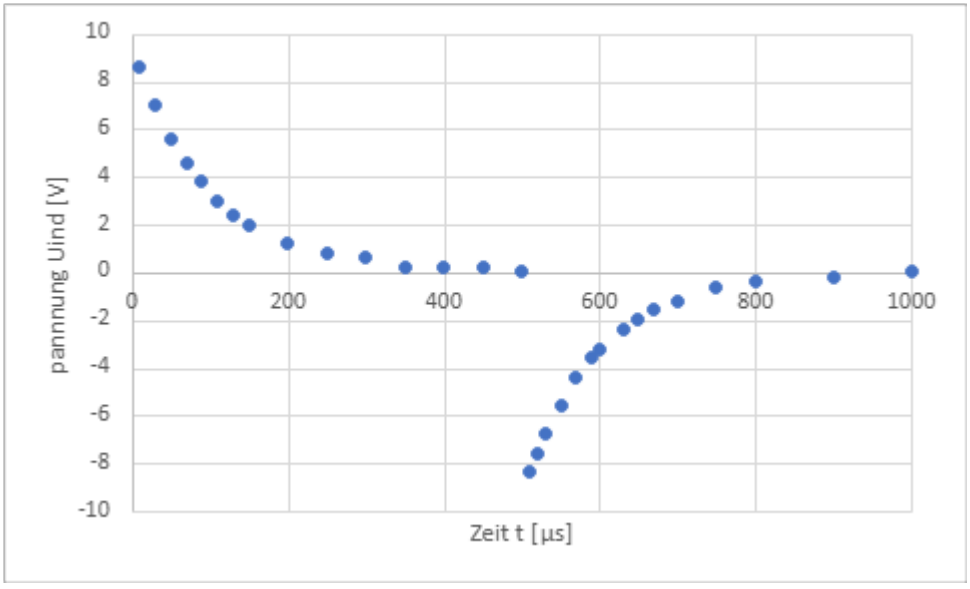


Diagramm 3: Spannungsverlauf U_{ind} (t) bei der Auf- und Entladung der Spule über einen 1000 Ω-Widerstand

Die Induktionsspannung U_{ind} [V] wird in Abhängigkeit von der Zeit t grafisch dargestellt, wodurch sich der in Diagramm 3 gezeigte Spannungsverlauf $U_{ind}(t)$ ergibt. Der experimentell bestimmte Kurvenverlauf stimmt mit dem theoretisch erwarteten Verhalten einer Spule überein (vgl. Abbildung KS.6). Während der Einschaltphase nimmt die Induktionsspannung ausgehend von ihrem Maximalwert exponentiell ab und nähert sich aus positiver Richtung dem Wert 0 V an. Nach dem Ausschalten der Spannungsquelle kehrt sich die Polarität der Spule um, sodass die Induktionsspannung zunächst negative Werte annimmt und sich anschließend ebenfalls exponentiell aus negativer Richtung dem Wert 0 V annähert.
Für die Messung wurde die Periodendauer des Impulsgenerators gegenüber der vorherigen Messung halbiert. Dadurch konnten sowohl der Ein- als auch der Ausschaltvorgang der Spule übersichtlich innerhalb eines Messintervalls dargestellt werden, ohne den charakteristischen exponentiellen Verlauf zu verändern.

Mithilfe des Ohm'schen Gesetzes werden die gemessenen Spannungswerte anschließend in Stromstärken umgerechnet. Für den zeitlichen Verlauf der Stromstärke gilt:

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

Auf Grundlage dieser Beziehung kann der Stromverlauf grafisch dargestellt und anschließend ausgewertet werden.

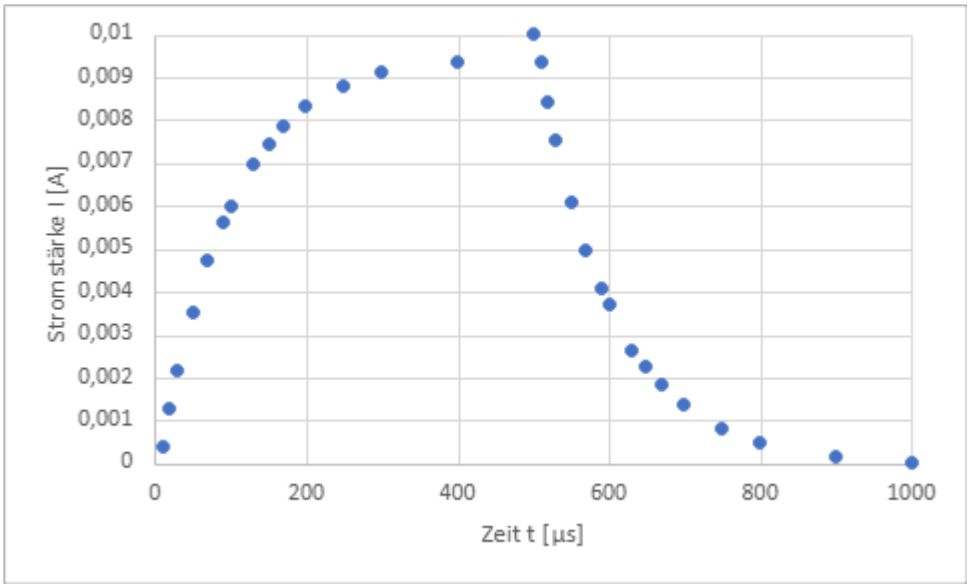


Diagramm 4: Stromstärke I(t) bei der Auf- und Entladung der Spule über einen 1000 Ω-Widerstand

Die Stromstärke I kann in Abhängigkeit von der Zeit t grafisch dargestellt werden, wodurch sich der in Diagramm 4 gezeigte Stromverlauf $I(t)$ergibt. Zu Beginn des Einschaltvorgangs steigt die Stromstärke zunächst exponentiell an und nähert sich mit fortschreitender Zeit ihrem Maximalwert an. Nach dem Ausschalten der Spannungsquelle

fällt die Stromstärke exponentiell ab und nähert sich dem Wert 0 A an. Der experimentell bestimmte Kurvenverlauf stimmt bis auf geringe Messabweichungen mit dem theoretisch erwarteten Verhalten einer RL-Schaltung überein (vgl. Abbildung KS.6).

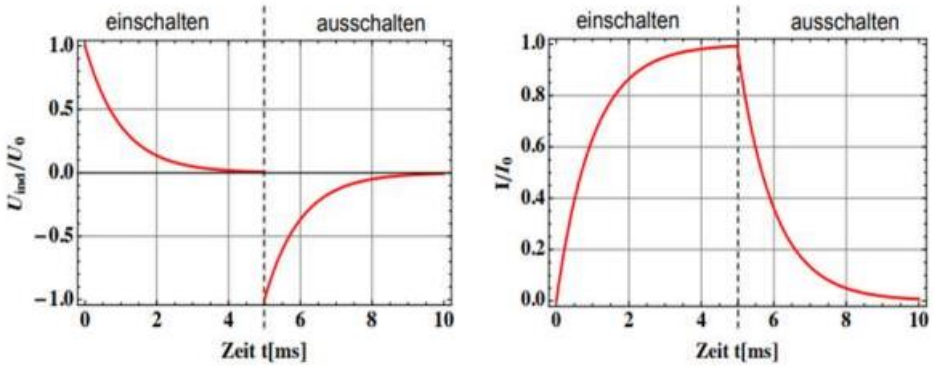


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf von Induktionsspannung (links) und Ein- und Ausschaltstrom (rechts) einer Spule in der Theorie entnommen aus der Abbildung KS.6

3.4 Spule: Beschreibung des Verhaltens von $U_{ind}(t)$ bzw. I(t)

Unmittelbar nach dem Einschalten der Spule ist die Induktionsspannung maximal und entspricht näherungsweise der angelegten Quellspannung U_0 . Zu diesem Zeitpunkt fällt die gesamte Spannung an der Spule ab, da der Strom aufgrund der Selbstinduktion zunächst noch nahezu null ist. Mit zunehmender Zeit nimmt die Induktionsspannung exponentiell ab und nähert sich asymptotisch dem Wert 0 V an. Gleichzeitig steigt die Stromstärke zunächst steil an und nähert sich anschließend mit abnehmender Steigung ihrem Maximalwert an.

Nach dem Ausschalten der Spannungsquelle wirkt die Spule aufgrund des zusammenbrechenden Magnetfeldes selbst als Spannungsquelle. Um den Stromfluss aufrechtzuerhalten, kehren sich die Polarität der Induktionsspannung und die Stromrichtung um. Sowohl die Induktionsspannung als auch die Stromstärke nehmen dabei exponentiell ab und nähern sich mit fortschreitender Zeit dem Wert 0 V beziehungsweise 0 A an. Der experimentell bestimmte Verlauf stimmt somit mit dem theoretisch erwarteten Verhalten einer RL-Schaltung überein.

3.5 Kapazität C des Kondensators

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

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Mit $U_0 = 10\text{V}$

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

Die Ergebnisse lassen sich graphisch wie folgt darstellen:

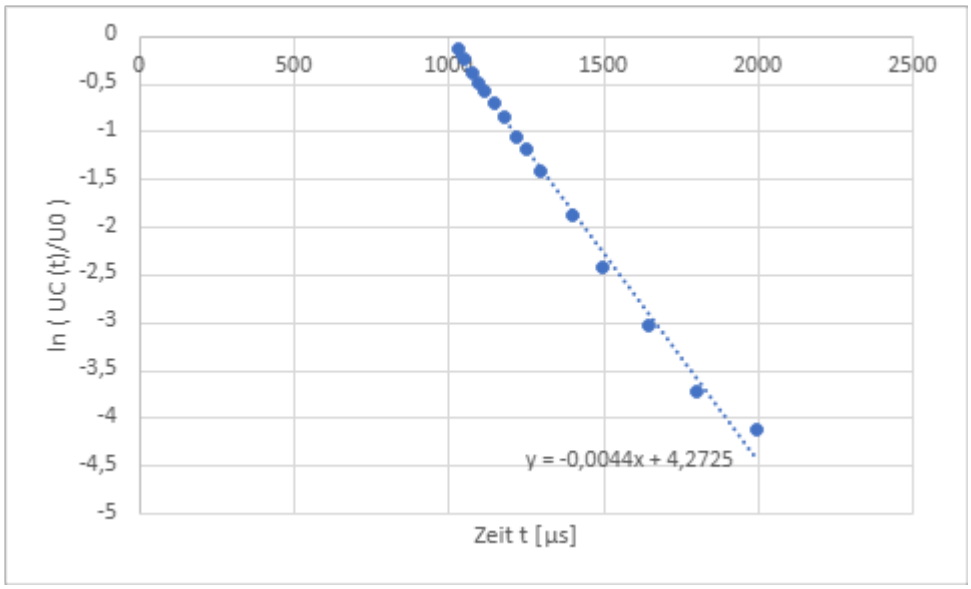


Diagramm 5: ln(Uc (t)/U0) als Funktion der Zeit t (µs)

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

$$m = -0{,}0044 \ldots \frac{1}{\mu\text{s}}$$

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

$$\tau_C = -\frac{1}{m} = 227{,}2727 \ldots \mu\text{s}$$

Die Kapazität C des Kondensators kann nun berechnet werden:

$$C = \frac{\tau_C}{R} = 113{,}6363 \ldots \text{nF}$$

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

Daraus folgt:

$C = (113 \pm 3)\,\text{nF}$

3.6 Induktivität L der Spule

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

$$U_{ind}(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}$$

Mit $U_0 = 10\,\text{V}$

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

Die Ergebnisse lassen sich graphisch wie folgt darstellen:

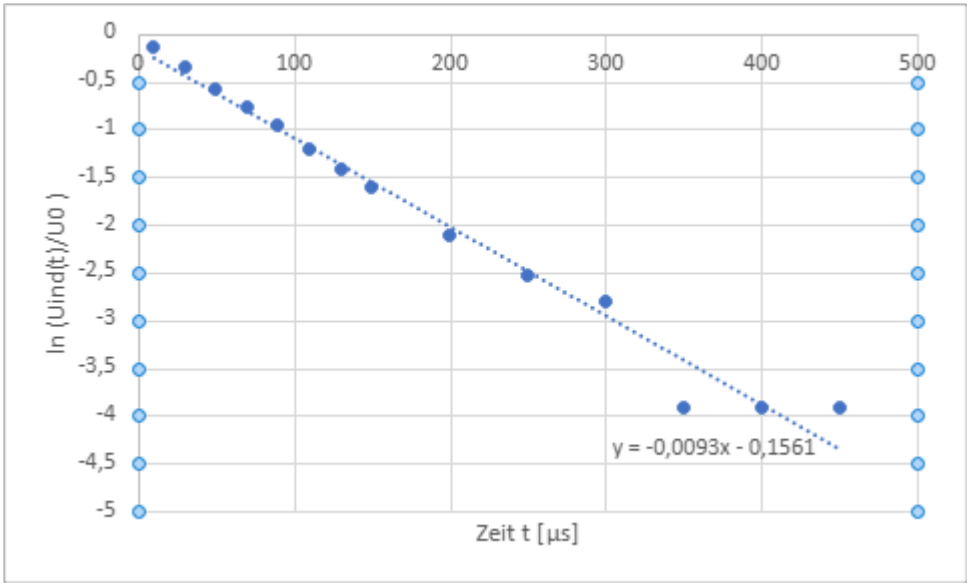


Diagramm 6: ln(Uc (t)/U0) als Funktion der Zeit t (µs)

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

$$m = -0{,}0093 \ldots \frac{1}{\mu\text{s}}$$

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

$$\tau_L = -\frac{1}{m} = 107{,}5268 \ldots \mu\text{s}$$

Die Induktivität kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$L = \tau_L \cdot R = 107{,}5268 \ldots \text{mH}$$

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

Daraus folgt:

$L = (107 \pm 3)$ mH

3.7 Dimensionsnachweis der Zeitkonstante

Im Folgenden wird überprüft, dass die Zeitkonstanten eines RC-Glieds und einer RL-Schaltung die Dimension einer Zeit besitzen. Dazu werden die Einheiten der Größen RC beziehungsweise $\frac{L}{R}$hergeleitet und vereinfacht.

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

$$[R \cdot C] = \Omega \cdot \frac{As}{V} = \frac{V}{A} \cdot \frac{A_S}{V} = s$$

4. Fazit

Im Rahmen dieses Praktikums wurden der Auf- und Entladevorgang eines Kondensators sowie das Ein- und Ausschaltverhalten einer Spule experimentell untersucht. Anhand der aufgenommenen Messwerte konnten die theoretisch erwarteten Spannungs- und Stromverläufe nachvollzogen und bestätigt werden. Die aus den Messdaten bestimmten Werte für die Kapazität des Kondensators und die Induktivität der Spule stimmen insgesamt gut mit den Herstellerangaben überein. Geringfügige Abweichungen lassen sich durch unvermeidbare Messunsicherheiten sowie Ableseungenauigkeiten am Oszilloskop erklären. Insgesamt konnten die Ziele des Versuchs erfolgreich erreicht und die theoretischen Grundlagen experimentell bestätigt werden.

5. Anhang

Messergebnisstabelle - Kondensator & Spule

Datum des Versuchstags: 02.07.26
Gruppennummer: 21
Teilnehmer: [redacted]
Unterschrift Assistent/-in:

Kondensator (Einschaltverlauf) Kondensatornummer: C1b Eingangsspannung U_0: 10 V R = 2000 Ω

$U_c(t)$

Spannung U (in V)	1,60	1,92	2,32	2,64	3,36	4,00	4,56	5,28	6,32	7,20	8,24	8,96	9,36	9,84	10 V
Zeit (in s)	30,00	40,00	50,00	60,00	80,00	100	120	150	200	250	350	450	550	750	1.000

$I(t)$ → Δt in µs

Spannung U (in V)	8,20	7,40	6,40	5,80	5,40	4,60	4,00	3,20	2,80	2,20	1,40	0,80	0,40	0,20	0
Zeit (in s)	30	50	80	100	120	150	180	220	250	300	400	500	650	800	1.000

Kondensator (Ausschaltverlauf) R = 2000 Ω

mV
0,88

$U_c(t)$

Spannung U (in V)	8,64	7,84	6,80	6,08	5,60	4,88	4,24	3,44	3,04	2,40	1,52	880	0,48	0,24	0,16
Zeit (in s)	30,00	50,00	80,00	100	120	150	180	220	250	300	400	500	650	800	1.000

$I(t)$

Spannung U (in V)	-8,20	-7,40	-6,40	-5,80	-5,20	-4,60	-4,0	-3,20	-2,80	-2,20	-1,40	-0,80	-0,40	-0,20	0
Zeit (in s)	30	50	80	100	120	150	180	220	250	300	400	500	650	800	1.000

Spule (Einschaltverlauf) Spulennummer: L1a Eingangsspannung U_0: 10 V R = 1000 Ω

250 Windungen
0,17 mm

$U_{ind}(t)$

Spannung U (in V)	8,60	7,00	5,60	4,60	3,80	3,00	2,40	2,00	1,20	0,80	0,60	0,20	0,20	0,2	0
Zeit (in s)	10	30	50	70	90	110	130	150	200	250	300	350	400	450	500

$I(t)$

Spannung U (in V)	0,4	1,28	2,16	3,52	4,72	5,60	6,00	6,96	7,44	7,84	8,32	8,80	9,12	9,36	10 V
Zeit (in s)	10	20	30	50	70	90	100	130	150	170	200	250	300	400	500

Spule (Ausschaltverlauf) R = 1000 Ω

$U_{ind}(t)$

Spannung U (in V)	-8,40	-7,6	-6,8	-5,6	-4,4	-3,6	-3,2	-2,4	-2,0	-1,6	-1,2	-0,6	-0,4	-0,2	0
Zeit (in s)	10	20	30	50	70	90	100	130	150	170	200	250	300	400	500

$I(t)$

Spannung U (in V)	9,36	8,40	7,52	6,08	4,96	4,08	3,68	2,64	2,24	1,84	1,36	0,80	0,48	0,16	0
Zeit (in s)	10	20	30	50	70	90	100	130	150	170	200	250	300	400	500

→ Periodendauer halbiert