

Hier hatten wir ein Bild mit dem Logo der Uni Tübingen.
Allerdings werden das nicht alle Tutor:innen durchgehen lassen,
da Studierende nichts im Namen der Uni veröffentlichen dürfen,
wegen Verantwortlichkeit und so.

Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler an der Universität Tübingen

KS - Kondensator und Spule

Gruppe: 3
Verfasser: Micha Beck
Franziska Trotter
Studiengang: Medizintechnik B.Sc.
Betreuer: Jan Riedelsheimer
Versuchsdatum: 12.03.2021
Abgabedatum: 13.03.2021

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	2
1.1	Kondensatoren	2
1.2	Spulen	2
2	Experimenteller Teil	4
2.1	Aufgabenstellung	4
2.2	Versuchsaufbau	4
2.3	Durchführung	4
2.4	Beobachtung	4
2.5	Auswertung	5
2.5.1	Kondensator Spannungsverlauf	5
2.5.2	Kondensator Stromverlauf	5
2.5.3	Spule Spannungsverlauf	7
2.5.4	Spule Stromverlauf	8
2.5.5	Kapazität, Induktivität und Zeitkonstante	9
2.6	Fazit	11
2.7	Daten	12

1 Theorie

1.1 Kondensatoren

Die einfachste Kondensatorart ist der Plattenkondensator mit zwei parallelen Platten im Abstand d und der Fläche A . Schiebt man zwischen die Platten ein Dielektrikum - ein anderes Medium - mit der Dielektrizitätskonstanten ε_r ist der Kondensator in der Regel in der Lage durch die Ladungstrennung im Dielektrikum eine größere Kapazität C (in Farad) aufzubringen. Diese ist definiert als die Ladung Q auf den Platten pro einer gewissen Kondensatorspannung U_C . Liegt diese Spannung an, so wird ein elektrisches Feld erzeugt.

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 \varepsilon_r A} \quad \text{mit der elektrischen Feldkonstanten } \varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}^4}{\text{kgm}^3} \quad (1)$$

Die Kondensatorspannung errechnet sich dann

$$U_C = \frac{d}{\varepsilon_0 \varepsilon_r A} Q = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

Wird ein Kondensator an eine Spannungsquelle U_0 geschlossen, lädt er sich auf und entlädt sich wieder, wenn die Quelle getrennt wird. Dabei zeigen sich in Strom- und Spannungsverlauf sehr charakteristische Kurven. Während der Strom I beim Aufladevorgang exponentiell sinkt, steigt die Kondensatorspannung U_C exponentiell. Die Kurven sind dabei durch

$$U_C(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad \text{und} \quad I(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3)$$

beschrieben. Beim Entladevorgang ist abermals der Strom am Anfang groß, allerdings entgegen gerichtet. Der Strom fällt auch jetzt exponentiell, die Kondensatorspannung tut es ihm gleich.

$$U_C(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{und} \quad I(t) = -\frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4)$$

beschreiben die Verläufe. Aus den Kurven ergibt sich die Zeitkonstante $\tau_C = R \cdot C$, welche die Zeit beschreibt, in welcher eine Kurve auf $\frac{1}{e}$ ihres Ausgangswertes gesunken bzw. auf $\left(1 - \frac{1}{e}\right)$ angestiegen ist. Genauer auf die Verläufe und ihre Ursachen wird im experimentellen Teil eingegangen.

1.2 Spulen

Spulen haben die Besonderheit, dass Strom, der durch die n Windungen fließt ein homogenes Magnetfeld innerhalb der Spule entstehen lässt. Dieses Phänomen lässt sich an langen Induktionsspulen mit der Länge l und dem Radius r bei Anlegen oder Trennen einer Quelle beobachten. Die magnetische Flussdichte

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{n}{l} I \quad \text{mit der magnetischen Feldkonstante } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \quad (5)$$

ändert sich bei einer Stromstärkeänderung im Leiterdraht ebenfalls. Die Permeabilitätskonstante μ_r ist einem Medium, welches als Kern der Spule fungieren und dadurch die magnetische Flussdichte erhöhen kann, zuzuordnen. Aus der Flächenintegration der mag. Flussdichte gewinnt man den Induktionsfluss

$$\phi = \mu_0 \mu_r A \frac{n}{l} I \quad (6)$$

Diesen wiederum kann man nach der Zeit ableiten, wodurch die Induktionsspannung gewonnen wird. Diese zeitliche Differenzierung ist eigentlich nur von der Änderung der Stromstärke abhängig.

$$U_{ind} = n \frac{d\phi}{dt} = \mu_0 \mu_r A \frac{n^2}{l} \frac{dI}{dt} = L \frac{dI}{dt} \quad (7)$$

Dabei ist L die Induktivität der Spule. Diese wird in Henry angegeben.

Analog zu den Kondensatoren zeigen sich auch hier wieder charakteristische Kurven bei Anschließen an eine Spannung und bei Trennen von dieser. Beim Anschließen steigt der Strom erst einmal exponentiell an und findet sich irgendwann auf einem gewissen Plateau ein. Die Spannung ist zum Zeitpunkt $t = 0$ dagegen am größten und sinkt dann exponentiell.

$$U_{ind}(t) = U_0 e^{-\frac{R}{L}t} \quad \text{und} \quad I(t) = \frac{U_0}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) \quad (8)$$

Beim Trennen von der Spule wird das Abfallen des Stroms durch die Induktionsspannung gehindert und sie fällt erst exponentiell ab, wie auch die Induktionsspannung.

$$U_{ind}(t) = -U_0 e^{-\frac{R}{L}t} \quad \text{und} \quad I(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{R}{L}t} \quad (9)$$

Wie für Kondensatoren lässt sich auch für Spulen eine Zeitkonstante $\tau_L = \frac{L}{R}$ definieren. Auch für diese Kurven werden weitere Betrachtungen im experimentellen Teil gemacht.

2 Experimenteller Teil

2.1 Aufgabenstellung

Ziel des Versuchs ist die Strom- und Spannungskurven bei den Ein- und Ausschaltvorgängen eines Kondensators und einer Spule zu bestimmen und mithilfe derer die Kapazität C des Kondensators und die Induktivität L der Spule zu bestimmen.

2.2 Versuchsaufbau

Ein Steckbrett, an welchem Widerstände, Kondensatoren oder Spulen angebracht werden können, wird mit einem Oszilloskop in Reihe geschaltet. Die Spannungsquelle stellt ein Impulsgenerator dar, welcher eine periodische Rechteckspannung erzeugt. An diesem lassen sich Perioden-, Impulsdauer und -verzögerung sowie die Amplitude der Rechteckspannung einstellen. Am Oszilloskop wird der Spannungsverlauf graphisch dargestellt. Mittels zweier Cursor können nun Spannungsdifferenzen zwischen zwei Zeitpunkten angegeben werden.

2.3 Durchführung

Zunächst wurde ein Widerstand von $R = 2000\ \Omega$ mit dem Kondensator C4a in den Steckkasten gesetzt und aus den Graphen für den Spannungsverlauf Werte für je den Ein- und Ausschaltvorgang genommen. Dann wurde die Anordnung des Widerstands und des Kondensators vertauscht und wieder Werte abgenommen.

Analog wurde eine Datenerhebung für die Spule durchgeführt, allerdings mit $R = 1000\ \Omega$.

Die absolut angegebenen Werte sind dabei tatsächlich die Differenz zwischen der Spannung U_0 zum Zeitpunkt $t_0 = 0\text{ s}$ und der zum Zeitpunkt t_i gemessenen Spannung U_i .

2.4 Beobachtung

Die Spannungswerte, welche bei der Durchführung für die Einschaltvorgänge und Ausschaltvorgänge bei Kondensator und Spule aufgenommen wurden, sind unter 2.6 Daten zu finden.

2.5 Auswertung

2.5.1 Kondensator Spannungsverlauf

Werden die Werte für die Spannungsmessung nun in ein Diagramm gegen die Zeit t aufgetragen erhält man eine Kurve $U_C(t)$, welche sich aus Lade- und Entladevorgang zusammensetzt. Dabei ist zunächst ein exponentielles Wachstum und anschließend ein exponentieller Zerfall der Spannung zu beobachten.

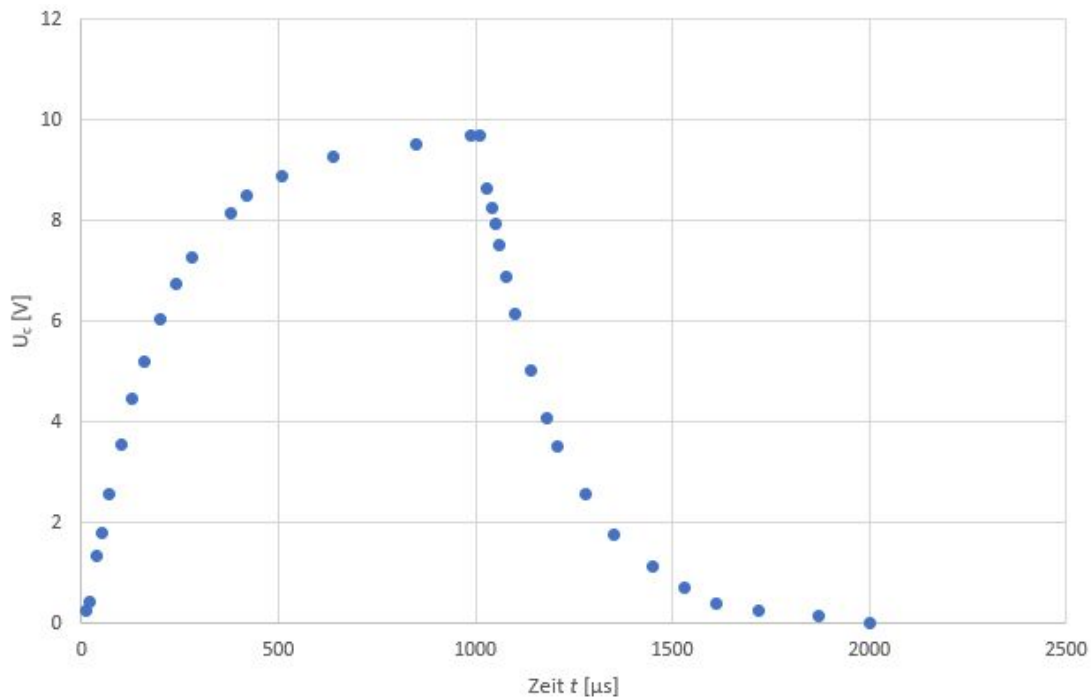


Diagramm 1: Spannungsverlauf $U_c(t)$ bei Lade- und Entladevorgang eines Kondensators

Dies stimmt genau mit den theoretischen Überlegungen überein.

2.5.2 Kondensator Stromverlauf

Auch die Ergebnisse aus der Strommessung kann man gegen die Zeit auftragen und so eine Kurve $I(t)$ visualisieren. Hierbei ist anzumerken, dass bei der Messung nicht direkt die Stromstärke I aufgenommen wurde, sondern diese aus den aufgenommenen Messwerten berechnet werden muss.

Gemäß dem Ohm'schen Gesetz geschieht dies mit

$$I = \frac{U}{R} \quad (10)$$

wobei I die Einheit Ampere trägt

$$[I] = \frac{\text{V}}{\Omega} = \frac{\text{V}}{\frac{\text{V}}{\text{A}}} = \text{A} \quad (11)$$

Teilt man also alle gemessenen Spannungen durch den verbauten Ohm'schen Widerstand von 2000Ω , so erhält man die gesuchte Stromstärke I .

Dieses Vorgehen liefert folgende Ergebnisse:

Tabelle 1: Stromstärke I für den Lade- und Entladevorgang am Kondensator

	Zeit t [μ s]	ΔU [V]	I [A]		Zeit t [μ s]	ΔU [V]	I [A]
Einschaltvorgang	10	9,52	0,00476	Ausschaltvorgang	1010	-9,36	-0,00468
	20	9,4	0,0047		1030	-8,48	-0,00424
	30	8,6	0,0043		1050	-7,68	-0,00384
	60	7,52	0,00376		1070	-6,96	-0,00348
	80	6,72	0,00336		1120	-5,44	-0,00272
	100	6,08	0,00304		1170	-4,24	-0,00212
	120	5,6	0,0028		1220	-3,28	-0,00164
	130	5,28	0,00264		1270	-2,56	-0,00128
	170	4,4	0,0022		1360	-1,6	-0,0008
	190	4	0,002		1410	-1,28	-0,00064
	210	3,6	0,0018		1450	-1,04	-0,00052
	240	3,12	0,00156		1500	-0,8	-0,0004
	280	2,64	0,00132		1580	-0,56	-0,00028
	360	1,76	0,00088		1670	-0,24	-0,00012
	500	0,88	0,00044		1850	-0,08	-0,00004
	760	0,32	0,00016		1990	-0,02	-0,00001
	990	0,08	0,00004		2000	0	0
	1000	0	0				

Trägt man diese Stromstärken gegen die Zeit auf, so erhält man den Verlauf $I(t)$.

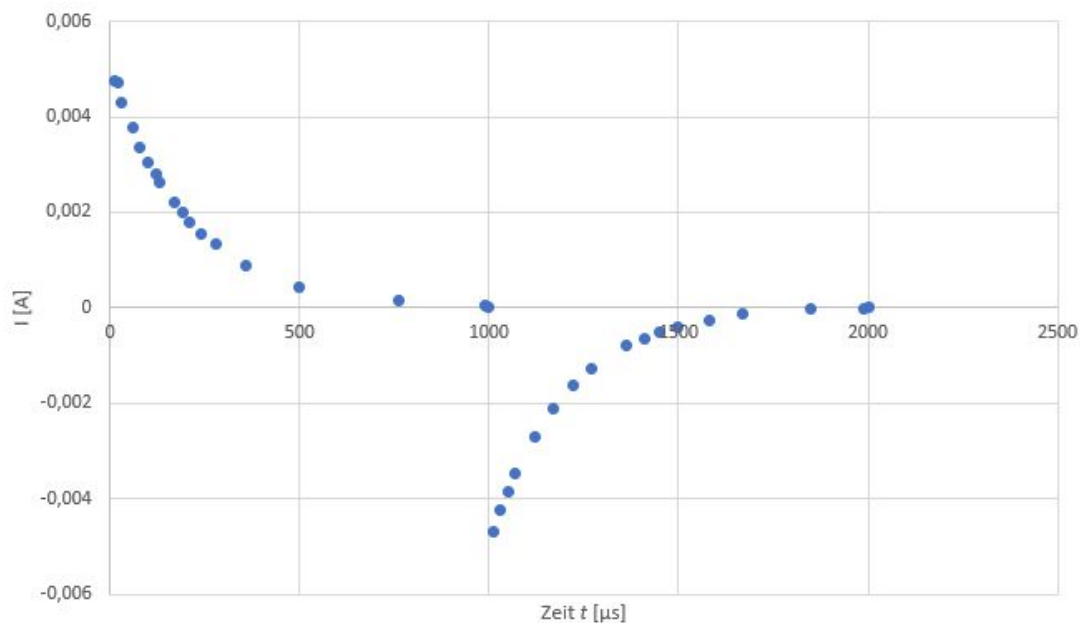


Diagramm 2: Stromverlauf $I(t)$ bei Lade- und Entladevorgang eines Kondensators

Der hier anschaulich dargestellte Kurvenverlauf $I(t)$ entspricht genau dem erwarteten Verlauf eines exponentiellen Annäherungsvorgang der Stromstärke an 0. Beim Ladevorgang geschieht dies aus positiver Richtung, beim Entladen aus negativer Richtung.

Unmittelbar nach dem Einschalten ist die Spannung am Kondensator $U_C = 0$. Der Strom dagegen ist zu diesem Zeitpunkt maximal ($I_0 = \frac{U_0}{R}$). Durch diesen starken Strom wird auch direkt ein Aufladen des Kondensators bewirkt, weshalb dessen Spannung U_C schnell ansteigt. Durch diese rapide Spannungsänderung sinkt auch der Strom schnell ab. Es bedeutet nun mehr Arbeit den Kondensator weiter aufzuladen, da dieser bereits eine gewisse Ladung trägt. Die bereits vorhandene Ladung erschwert einen weiteren Stromzufluss und zwar stärker, je größer die bereits erreichte Spannung U_C ist. Sieh also gegenseitig bedingend, flachen beide Kurve ab. Dabei

strebt die Spannung gegen ihren Maximalwert $U_C = U_0$, was zur Folge hat, dass der Strom beliebig klein wird.

Wird der Kondensator von der Spannungsquelle getrennt, so entlädt er sich wieder. Zum Zeitpunkt der Trennung liegt am Kondensator die volle Spannung U_0 an. Dadurch fließt zu Beginn direkt der maximale Strom I_0 . Dieser hat den gleichen Betrag, wie der Anfangsstrom beim Anlegen des Kondensators an die Spannungsquelle, ist jedoch entgegen gerichtet. Durch den Stromfluss entlädt sich der Kondensator, die Spannung fällt zunächst schnell, die Änderungsrate des Stroms ist ebenfalls noch groß. Mit abfallender Spannung folgt auch ein geringerer Strom. Die Spannung U_C strebt nun gegen Null; der Ausgleichsstrom sinkt in Abhängigkeit von der Spannung. Dies ist damit zu begründen, dass nach einem Zeitintervall Δt_1 die Ladungsdichte an den Kondensatorplatten nicht mehr so hoch ist; die gleichnamigen Ladungen also weniger starke Wechselwirkungen untereinander haben und damit sozusagen weniger abstoßen. Analog, nur umgekehrt ist dies auch der Grund für Abflachung beim Ladevorgang. Hier stoßen sich mit der Zeit immer mehr gleichnamige Ladungen ab, was den Zufluss hindert.

2.5.3 Spule Spannungsverlauf

Trägt man die gemessene Spannung U_{ind} für den Lade- und Entladevorgang an einer Spule gegen die Zeit t auf, so erhält man den Kurvenlauf $U_{\text{ind}}(t)$, welcher sich folgendermaßen veranschaulichen lässt:

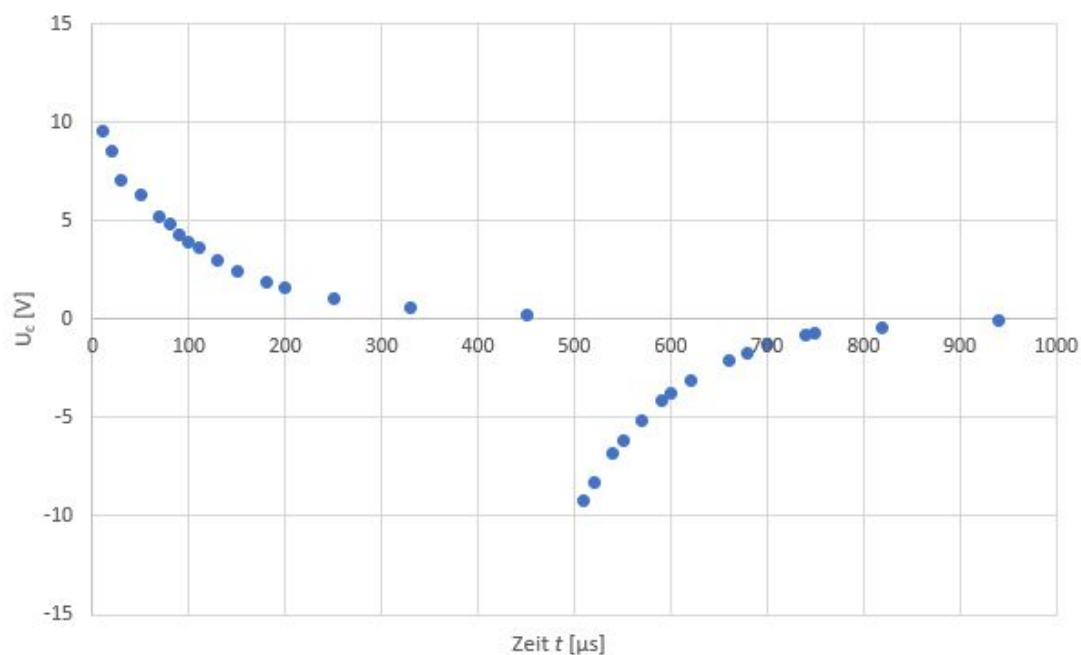


Diagramm 3: Spannungsverlauf bei Lade- und Entladevorgang einer Spule

Wie unschwer zu erkennen ist, liegt auch hier ein exponentieller Annäherungsvorgang an 0 vor (sehr ähnlich zum $I(t)$ -Verlauf beim Laden und Entladen des Kondensators), bei dem sich die gemessene Spannung U_{ind} in der Phase einer anliegenden Spannung U_0 aus positiver Richtung der 0 annähert, in der Phase ohne anliegende Spannung U_0 geschieht dies aus negativer Richtung. Der dargestellte Verlauf $U_{\text{ind}}(t)$ entspricht also der theoretischen Vorüberlegung.

2.5.4 Spule Stromverlauf

Äquivalent zu den vorangegangenen Abschnitten wird hier die Stromstärke I an einer Spule über die Zeit aufgetragen. Hierbei muss erneut unter Verwendung von (10) und (11) die Stromstärke errechnet werden, da diese nicht direkt gemessen wurde. Der in der Schaltung verbaute Ohm'sche Widerstand hatte einen Widerstand von $R=1000\ \Omega$.

Es ergeben sich also folgende Werte für die Stromstärke I :

Tabelle 2: Stromstärke I an einer Spule für eine Phase mit und eine ohne Spannung U_0

	Zeit t [μ s]	ΔU [V]	I [A]		Zeit t [μ s]	ΔU [V]	I [A]
Einschaltvorgang	10	0,44	0,00044	Ausschaltvorgang	510	8,72	0,00872
	20	1,4	0,0014		520	7,92	0,00792
	30	2,16	0,00216		530	6,48	0,00648
	50	3,48	0,00348		540	6,12	0,00612
	70	4,6	0,0046		550	5,76	0,00576
	80	5,04	0,00504		570	4,8	0,0048
	90	5,44	0,00544		580	4,4	0,0044
	120	6,44	0,00644		600	3,52	0,00352
	140	6,96	0,00696		610	3,2	0,0032
	150	7,2	0,0072		650	2,08	0,00208
	170	7,52	0,00752		680	1,36	0,00136
	200	8	0,008		750	0,72	0,00072
	220	8,16	0,00816		810	0,4	0,0004
	300	8,8	0,0088		910	0,16	0,00016
	490	9,2	0,0092		980	0,08	0,00008

Diese Werte gegen die Zeit t aufgetragen liefern dann den Verlauf $I(t)$:

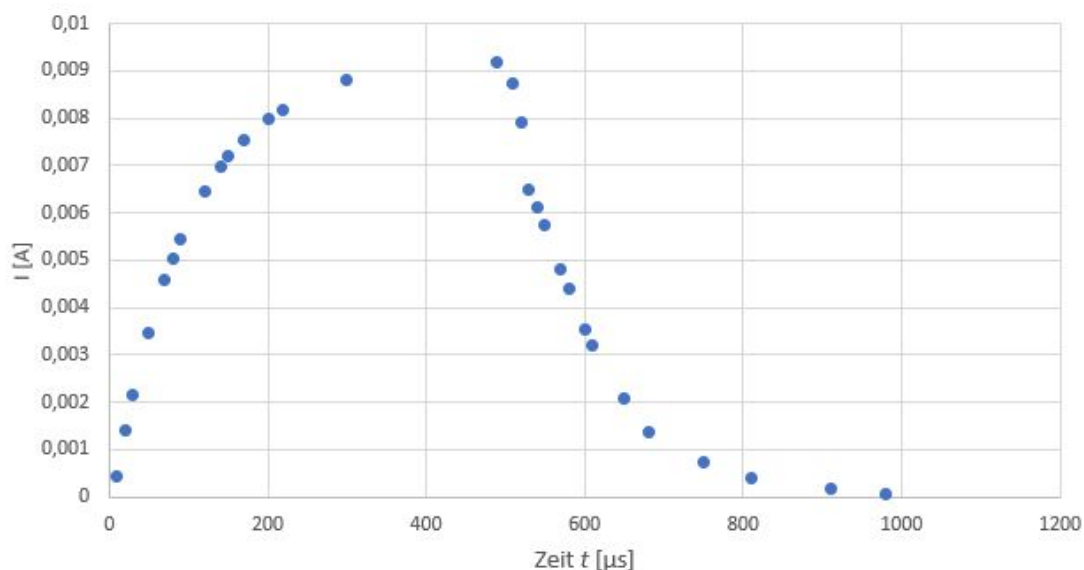


Diagramm 4: Stromverlauf bei Lade- und Entladevorgang einer Spule

Bis auf ein paar wenige messbedingte Abweichungen ist dieser Verlauf $I(t)$ dem aus theoretischer Überlegung entsprechenden Verlauf gleich, ein zunächst exponentielles Wachstum bei anliegender Spannung geht in der Phase ohne anliegende Spannung in einen exponentiellen Zerfall der Spannung über.

Diese Verläufe lassen sich mit der Lenz'schen Regel erläutern. Die Induktionsspannung wirkt der anliegenden Spannung entgegen und ist am größten, wenn es auch die Änderung des Stroms ist, weshalb der Strom anfangs nicht fließt. Es gilt $U_L = U_0$. Mit zunehmender Dauer nimmt die Induktionsspannung ab, da die Änderungsrate kleiner wird, wodurch der Strom zu fließen beginnt und ansteigt. Die Induktionsspannung nimmt anfangs stärker ab (vgl. Diagramm 3), wodurch die Zunahme des Stromes am Anfang größer ist. Der Strom findet sich nach einem gewissen Zeitintervall auf seiner Maximalstärke I_0 ein.

Ebenso ist beim Trennen von der Spannungsquelle die Induktionsspannung zu Beginn maximal. Nach Lenz "versucht" diese den Stromabfall zu verhindern. Beide Kurven fallen mit der Zeit jedoch ab. Wird der Strom mit geringer Änderungsrate beliebig klein, so wird auch die Induktionsspannung beliebig klein. Dies liefert eben diese (sich gegenseitig bedingenden) Kurvenverläufe der Diagramme 3 und 4.

2.5.5 Kapazität, Induktivität und Zeitkonstante

Die Kapazität eines Kondensators wird in den Kurvengleichungen der Vorgänge berücksichtigt. Das geht auch in die Zeitkonstante $\tau_C = R \cdot C$ ein. Mithilfe dieser lässt sich die Kapazität also berechnen. Dazu wird die Kurvengleichung des Spannungsverlauf der Entladung des Kondensators mithilfe des natürlichen Logarithmus umgeformt:

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \Longleftrightarrow \quad \ln\left(\frac{U_C(t)}{U_0}\right) = -\frac{1}{RC} \cdot t \quad (12)$$

Es herrscht also ein linearer Zusammenhang zwischen dem Logarithmus $\ln\left(\frac{U_C}{U_0}\right)$ und der Zeit t . Hier gilt für den maximalen Spannungswert $U_0 = 10 \text{ V}$. Dieser Zusammenhang kann in einem Diagramm dargestellt werden und eine Ausgleichsgerade gezogen werden, dessen Steigung gerade $m = -\frac{1}{RC} = -\frac{1}{\tau_C}$ ist. Dann kann die Kapazität C des Kondensators berechnet werden mit:

$$C = \frac{\tau_C}{R} = -\frac{1}{m \cdot R} \quad (13)$$

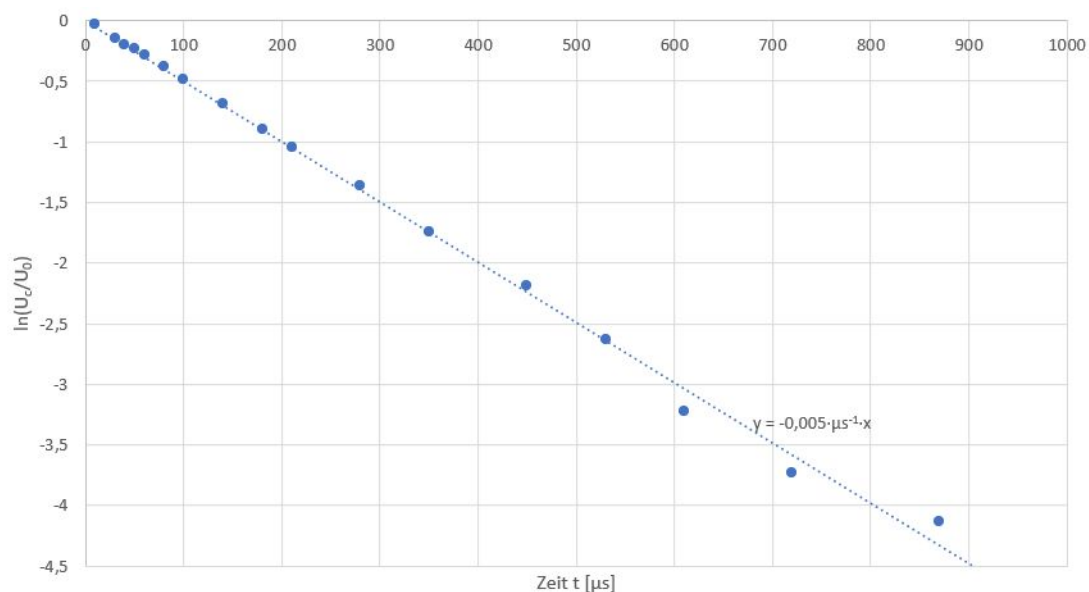


Diagramm 5: Der Logarithmus des Quotienten aus der Kondensatorspannung und der angelegten Spannung gegen die Zeit t

In diesem Diagramm wurde die Zeitachse um $1000 \mu\text{s}$ verschoben, sodass die Ausgleichsgerade nun durch den Ursprung verläuft.

Die Geradensteigung der Ausgleichsgerade ist auch im Diagramm vermerkt, jedoch ist dort aus optischen Gründen nur der gerundete Wert angegeben. Der exakte Wert der Steigung m liegt bei $-0,00497853 \dots \frac{1}{\mu\text{s}} = -0,00497853 \dots \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}}$. Auf vier signifikante Stellen angegeben lautet die

Steigung m also:

$$m = 4979 \frac{1}{s} \quad (14)$$

Daraus berechnet sich eine Kapazität C von $100,42177... \text{ nF}$. Da diese Methode bisher eine Genauigkeit auf 3% gezeigt hat, kann ein absoluter Fehler von $\Delta u_C = 3,01265... \text{ nF}$ angegeben werden und damit gilt für die Kapazität: $C = (100 \pm 4) \text{ nF}$.

Analog zur Berechnung der Kondensatorkapazität kann auch die Induktivität L der Spule berechnet werden. Hierzu wird nun die Gleichung der Spannungskurve nach dem Anlegen an eine Spannungsquelle umgeformt.

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \quad \Longleftrightarrow \quad \ln\left(\frac{U_C(t)}{U_0}\right) = -\frac{R}{L} \cdot t \quad (15)$$

Dann gilt für die Induktivität

$$L = R \cdot \tau_L = -\frac{R}{m} \quad (16)$$

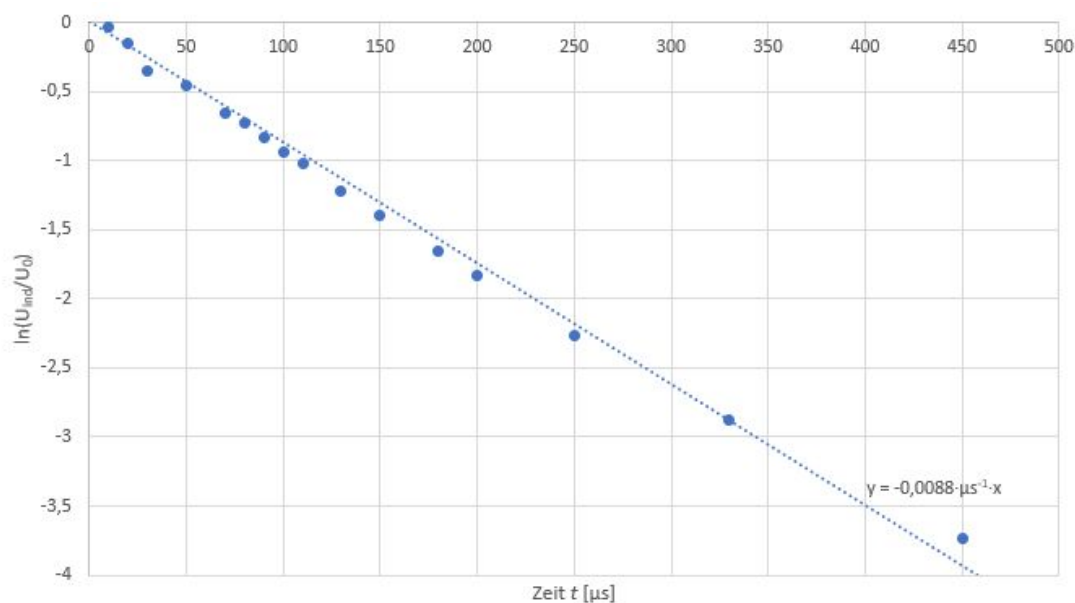


Diagramm 6: Der Logarithmus des Quotienten aus der Induktionsspannung und der angelegten Spannung gegen die Zeit t

Auch hier ist die im Diagramm vermerkte Geradensteigung der Ausgleichsgerade nur der gerundete Wert. Der exakte Wert der Steigung m liegt bei $-0,00875433... \frac{1}{\mu s} = -0,00875433... \cdot 10^6 \frac{1}{s}$. Auf vier signifikante Stellen gerundet ist die Geradensteigung also anzugeben als:

$$m = 8754 \frac{1}{s} \quad (17)$$

Nach Gleichung (16) und unter Annahme eines Fehlers von 3% ist die Induktivität L der Spule also anzugeben als

$$L = (114 \pm 4) \text{ mH} \quad (18)$$

Nun soll noch gezeigt werden, dass die Einheit der Zeitkonstanten τ_C und τ_L sich zu Sekunden (s) ergeben. Dazu betrachten wir ganz einfach die Einheiten der Größen, welche die Zeitkonstanten definieren.

Für den Kondensator gilt dann

$$[\tau_C] = [R \cdot C] = \left[\frac{U}{I} \cdot C \right] = \frac{V}{A} \cdot \frac{A \cdot s}{V} = s \quad (19)$$

und für die Spule

$$[\tau_L] = \left[\frac{L}{R} \right] = \left[\frac{I \cdot L}{U} \right] = \frac{A \cdot \frac{V \cdot s}{A}}{V} = s \quad (20)$$

2.6 Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass wir anhand unserer Messwerte das Verhalten von Strom und Spannung an einem Kondensator während des Lade- und Entladevorgangs verifizieren konnten.

Auch für eine Spule, an der im Wechsel eine Spannungsquelle angeschlossen und entfernt wurde, konnten wir Spannungs- und Stromverläufe aus theoretischen Überlegungen bestätigen.

Minimale Abweichungen der Kurvenverläufe von einer Exponentialfunktion können durch Messungenauigkeiten entstehen, welche insbesondere durch teilweise schwankende Messwerte auf der Anzeige des Oszilloskops entstehen können.

2.7 Daten

Kondensator C4a					
Spannungsmessung:					
	Zeit t [μ s]	ΔU [V]		Zeit t [μ s]	ΔU [V]
Einschaltvorgang	10	0,24	Ausschaltvorgang	1010	9,68
	20	0,44		1030	8,64
	40	1,36		1040	8,24
	50	1,8		1050	7,92
	70	2,56		1060	7,52
	100	3,56		1080	6,88
	130	4,48		1100	6,16
	160	5,2		1140	5,04
	200	6,04		1180	4,08
	240	6,76		1210	3,52
	280	7,28		1280	2,56
	380	8,16		1350	1,76
	420	8,48		1450	1,12
	510	8,88		1530	0,72
	640	9,28		1610	0,4
	850	9,52		1720	0,24
	990	9,68		1870	0,16
				2000	0
Strommessung:					
	Zeit t [μ s]	ΔU [V]		Zeit t [μ s]	ΔU [V]
Einschaltvorgang	10	9,52	Ausschaltvorgang	1010	-9,36
	20	9,4		1030	-8,48
	30	8,6		1050	-7,68
	60	7,52		1070	-6,96
	80	6,72		1120	-5,44
	100	6,08		1170	-4,24
	120	5,6		1220	-3,28
	130	5,28		1270	-2,56
	170	4,4		1360	-1,6
	190	4		1410	-1,28
	210	3,6		1450	-1,04
	240	3,12		1500	-0,8
	280	2,64		1580	-0,56
	360	1,76		1670	-0,24
	500	0,88		1850	-0,08
	760	0,32		1990	-0,02
	990	0,08		2000	0
	1000	0			

Abbildung 1: Rohdaten für den Kondensator

Spule L2a							
Strommessung:		Zeit t [μ s]	ΔU [V]			Zeit t [μ s]	ΔU [V]
	Einschaltvorgang	10	0,44		Ausschaltvorgang	510	8,72
		20	1,4			520	7,92
		30	2,16			530	6,48
		50	3,48			540	6,12
		70	4,6			550	5,76
		80	5,04			570	4,8
		90	5,44			580	4,4
		120	6,44			600	3,52
		140	6,96			610	3,2
		150	7,2			650	2,08
		170	7,52			680	1,36
		200	8			750	0,72
		220	8,16			810	0,4
		300	8,8			910	0,16
		490	9,2			980	0,08
Spannungsmessung:		Zeit t [μ s]	ΔU [V]			Zeit t [μ s]	ΔU [V]
	Einschaltvorgang	10	9,6		Ausschaltvorgang	510	-9,2
		20	8,56			520	-8,32
		30	7,04			540	-6,8
		50	6,32			550	-6,16
		70	5,2			570	-5,12
		80	4,8			590	-4,16
		90	4,32			600	-3,76
		100	3,92			620	-3,12
		110	3,6			660	-2,08
		130	2,96			680	-1,68
		150	2,48			700	-1,28
		180	1,92			740	-0,8
		200	1,6			750	-0,72
		250	1,04			820	-0,4
		330	0,56			940	-0,08

Abbildung 2: Rohdaten für die Spule