



KONDENSATOR UND SPULE

Blockpraktikum Physik WS 2018/19

Protokoll

28.02.2019



Theorie

Kondensatoren und Spulen gehören zu den häufig verwendeten elektronischen Bauteilen. Kondensatoren sind Bauteile, die elektrische Ladungen bzw. Energie speichern können. Die einfachste Form eines Kondensators besteht dabei aus zwei sich gegenüberstehenden Metallplatten (Plattenkondensator) mit einem Dielektrikum dazwischen, welches keine elektrische Verbindung der zwei Platten zulässt. Das Dielektrikum dient also als Isolator. Eine Spule besteht aus einem langen, dünnen Draht, welcher aufgewickelt wird. Durch den aufgewickelten Draht fließt ein elektrischer Strom; es entsteht ein magnetisches Feld im Innern der Spule.

Ziel des Versuchs ist es, den Auf- und Entladevorgang eines Kondensators sowie den Ein- und Ausschaltvorgang einer Spule zu verstehen und darzustellen. Hierzu wurde im Versuch ein Oszilloskop verwendet

Versuchsaufbau

Die verschiedenen Bauteile (Kondensator, Spule, Widerstände) werden gemäß der Tabelle KS.1 auf einem Steckbrett angebracht. Nun wird mithilfe eines Impulsgenerators eine periodische Rechteckspannung erzeugt und an den Eingang des Steckbretts angelegt. Das Ausgangssignal des Steckbretts wird nun an das Oszilloskop angeschlossen.

Das Oszilloskop dient dazu, den elektrischen Spannungsverlauf grafisch wiederzugeben.

Die Ströme müssen indirekt mittels des Spannungsabfall an einem Ohm'schen Widerstand gemessen werden und dann mithilfe des Ohm'schen Gesetzes $U = R \cdot I$ berechnet werden.

Spannungs- und Strommessungen am Kondensator

Spannungs-Zeit-Diagramm

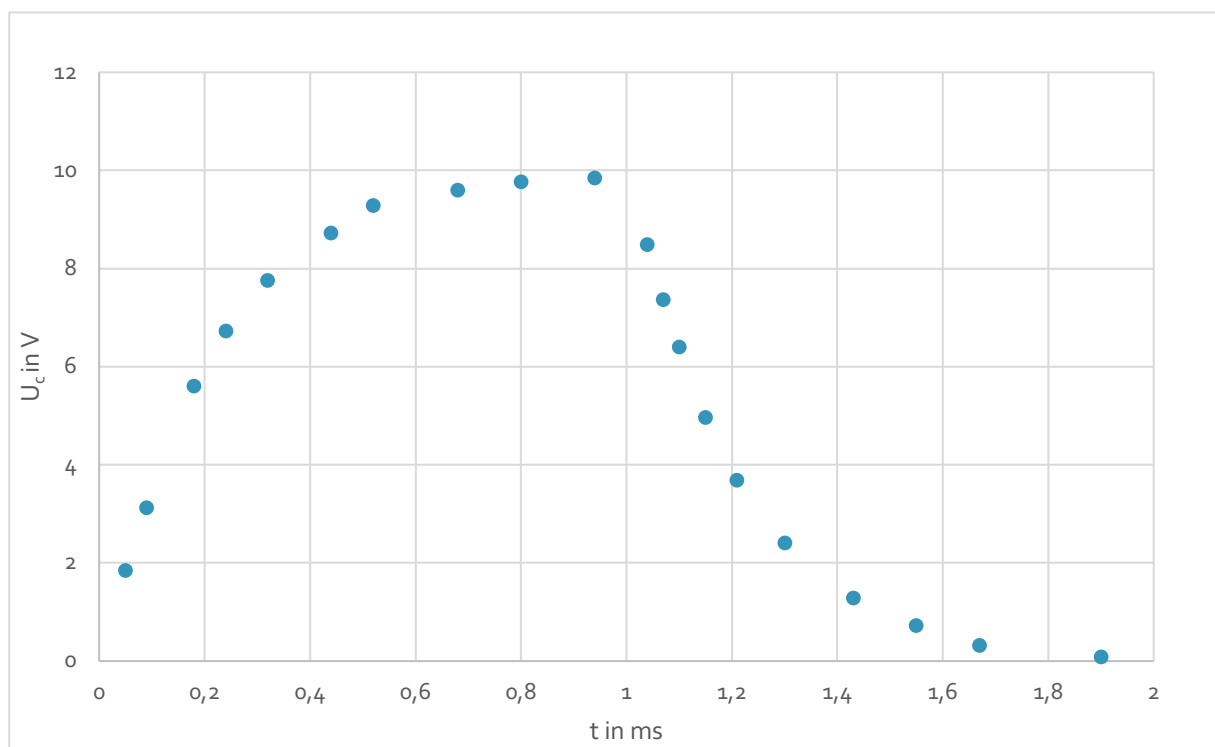


Abbildung 1 Spannungsverlauf $U_c(t)$ bei der Auf- und Entladen des Kondensators über einen Widerstand $R = 2000 \Omega$

Strom-Zeit-Diagramm

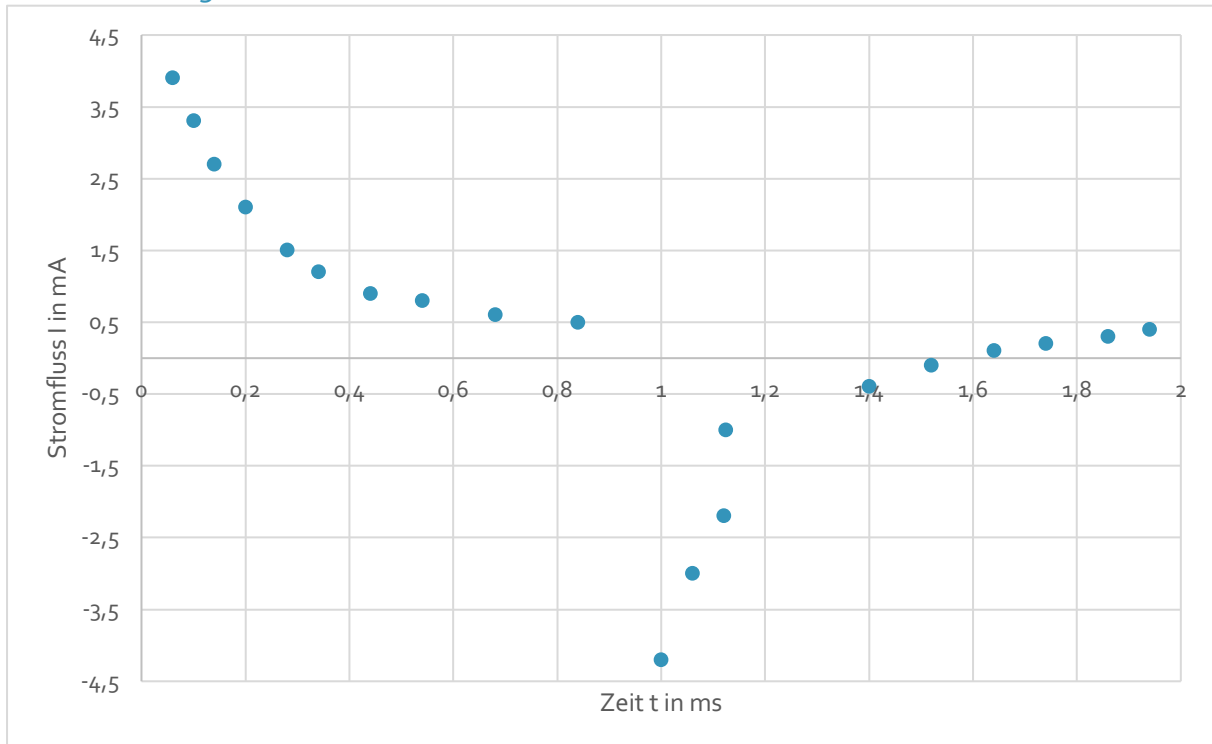


Abbildung 2 Stromverlauf $I(t)$ bei der Auf- und Entladung des Kondensators über einen Widerstand $R = 2000 \Omega$

Die über den Widerstand $R = 2000 \Omega$ gemessene Spannung U_C , sowie die mithilfe folgender Formel

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

errechnete Stromstärke werden in Abhängigkeit der Zeit t dargestellt. Die Messungen ergeben den theoretisch in Abb. KS. 3 vorhergesagten Verlauf der Kurven.

Zu Beginn der Messung zum Zeitpunkt $t = 0 \text{ ms}$ beträgt die Kondensatorspannung U_C noch 0 V . Dies bedeutet, dass die Spannung U_0 ganz am Widerstand R ab. Der Aufladestrom ist zum selben Zeitpunkt maximal, denn die elektrischen Ladungen können ungehindert auf die Kondensatorplatten fließen. U_C nimmt nun zunächst stark zu, steigt dann mit zunehmender Spannung immer langsamer. Nun nimmt auch der Ladestrom ab, denn es wird mehr Arbeit erfordert, die Ladungen auf die Platten zu befördern. Die Kondensatorspannung U_C nähert sich der Quellspannung fast komplett an, sodass der Ladestrom I beliebig klein. Der Kondensator ist nun vollständig aufgeladen.

Zum Entladen des Kondensators wird die Spannungsquelle vom restlichen Stromkreis getrennt, d.h. der Kondensator selbst wird zur Spannungsquelle. Zu Beginn des Entladevorgangs ist die Spannung $U_C = U_0$; der Ladestrom wird also von einer gleich großen Spannung wie zu Beginn des Aufladevorgangs angetrieben. Die Richtung des Entladestroms ist der des Ladestroms entgegengesetzt, was am Vorzeichenwechsel zu sehen ist. Beim Entladen kommt es zunächst zu einem starken Abfall des Stroms, welcher dann immer weiter abschwächt. Grund hierfür ist unter anderem die sinkende Abstoßkraft der gleichnamigen Ladungen auf den Kondensatorplatten. Die Spannung U_C verhält sich hierbei analog.

Spannungs- und Strommessungen an der Spule

Spannungs-Zeit-Diagramm

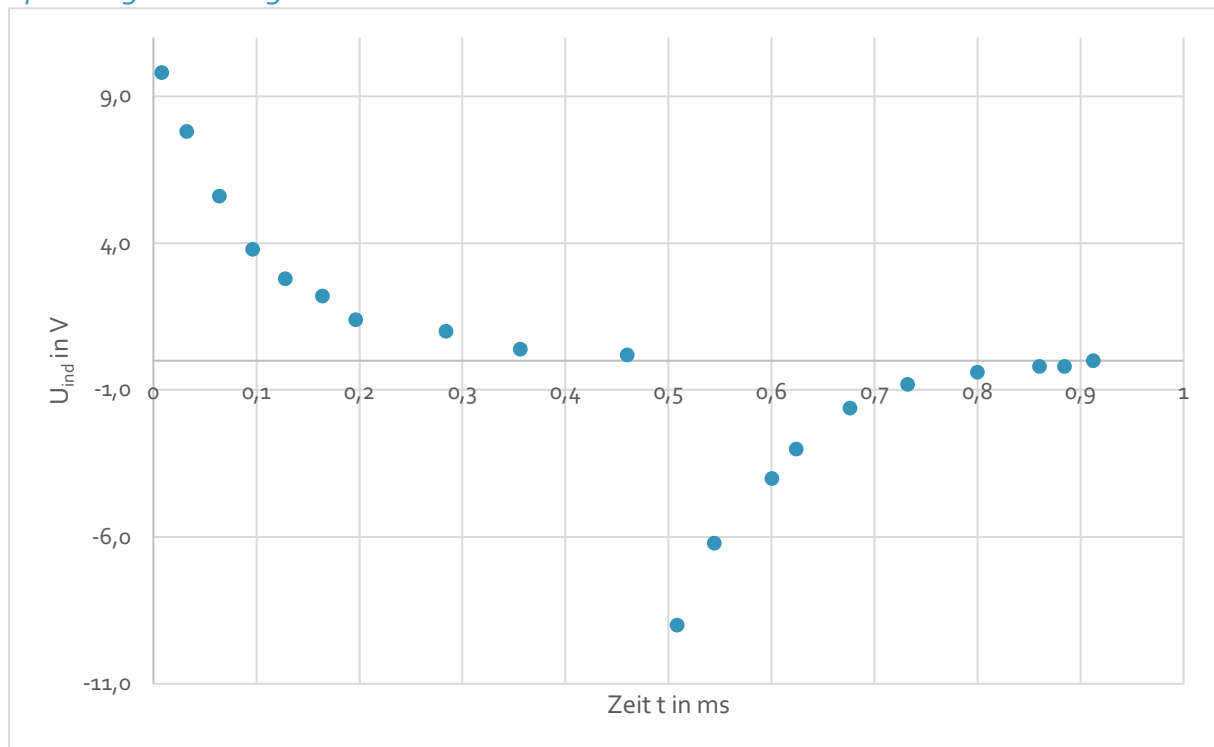


Abbildung 3 Spannungsverlauf $U_{ind}(t)$ beim An- und Ausschalten der Spule über einen Widerstand $R = 1000 \Omega$

Strom-Zeit-Diagramm

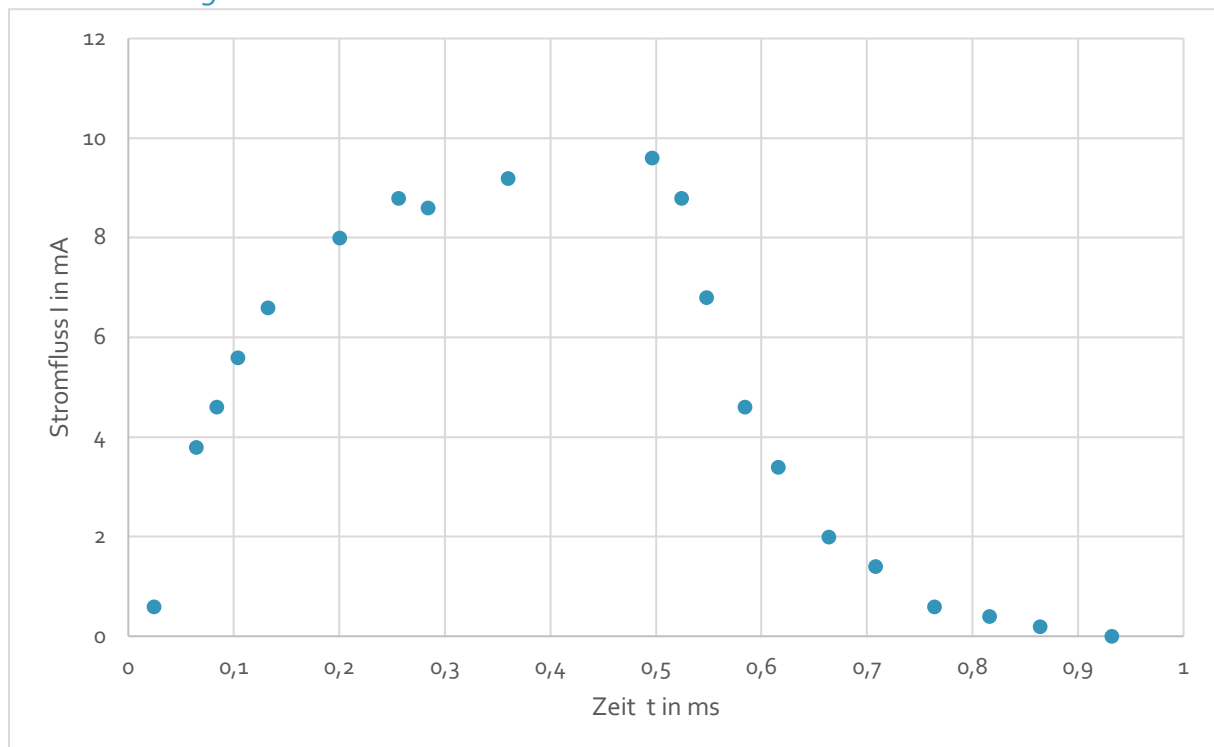


Abbildung 4 Stromverlauf $I(t)$ beim An- und Ausschalten der Spule über einen Widerstand $R = 1000 \Omega$

Wie auch beim Kondensator, wird hier die über einen Widerstand $R = 1000 \, \Omega$ die gemessene Spannung U_{ind} , sowie die mit der bereits genannten Formel umgerechneten Stromstärken $I(t)$ in Abhängigkeit der Zeit t dargestellt.

Auch hier wird der theoretisch vorhergesagte Verlauf (vgl. Abb. KS.6) bestätigt.

Bei Einschalten der Spannung kann man sehen, dass $U_{ind} = U_0$ maximal ist, d.h. die Spannung fällt nicht wie beim Kondensator am Widerstand R ab, sondern an der Spule. Es folgt anschließend ein schnelles Abfallen der Spannung U_{ind} , welches dann einem asymptotischen Annähern an die Spannung $U_{ind} = 0V$ übergeht.

Der Ladestrom ist zu Beginn der Messung $I(t) = 0A$ und steigt dann bei starkem Spannungsabfall rasch an. Der Stromanstieg verringert sich mit dem Spannungsabfall am Widerstand R und nähert sich schließlich wieder $I(t) = 0A$.

Beim Vergleich der Kurven beider Bauteile ist ersichtlich, dass sich der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung $U_C(t)$ und der Spulenstrom $I(t)$ sowie der zeitliche Verlauf der Spulenspannung $U_{ind}(t)$ und der Kondensatorstrom $I(t)$ sich gleichen.

Kapazität und Induktivität

Kapazität C des Kondensators

Die Steigung m wurde aus den Messwerten für $U_C(t)$ errechnet. Dazu wurde folgende Formel verwendet:

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

U_0 ist hierbei der maximale Spannungswert der Messung mit $U_0 = 10V$. Aus den Daten ergibt sich folgendes Diagramm:

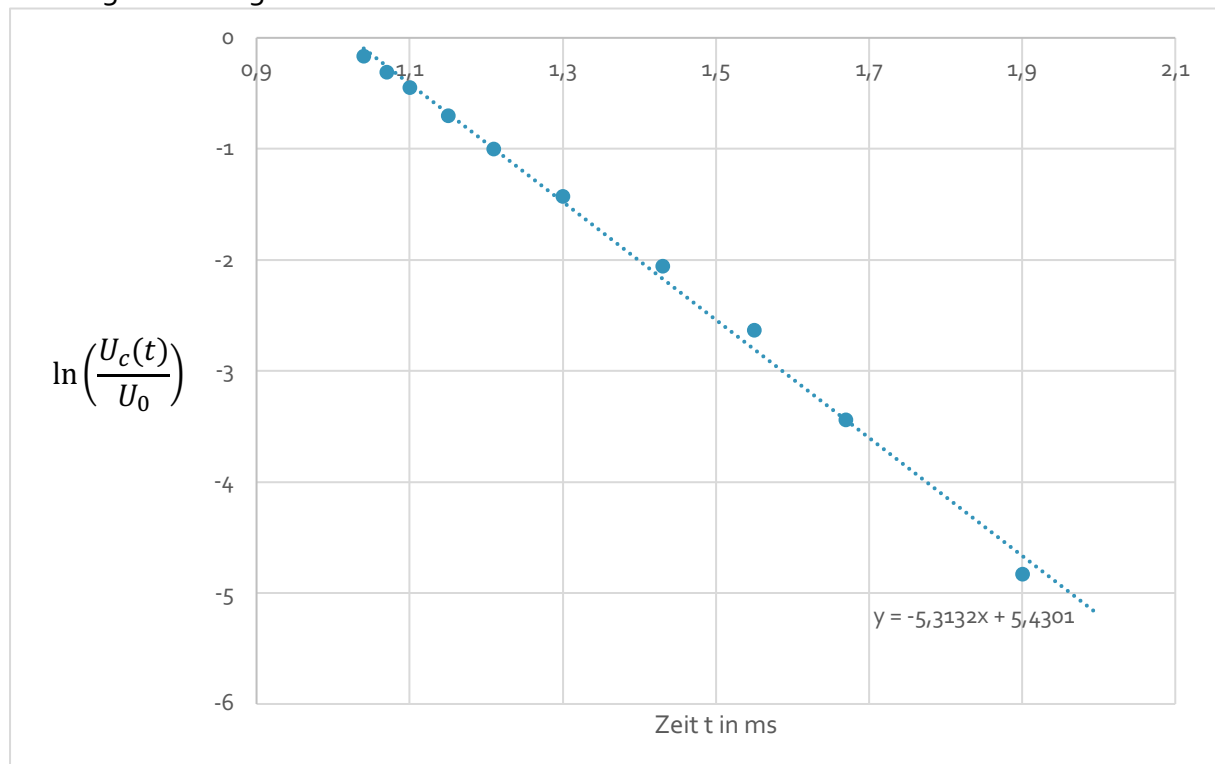


Abbildung 5 $\ln\left(\frac{U_C(t)}{U_0}\right)$ gegen Zeit t mit Ausgleichsgerade

Für die Steigung m der Ausgleichsgeraden ergibt sich also $m = -5,3132 \frac{1}{\text{ms}}$

Mithilfe folgender Formel kann die Zeitkonstante τ_c berechnet werden:

$$\tau_c = - \frac{1}{m}$$

Für den im Versuch verwendeten Kondensator errechnet sich $\tau_c = 0,1882 \text{ ms}$

Für die Kapazität eines Kondensators gilt:

$$C = \frac{\tau_c}{R}$$

Für den im Versuch verwendeten Kondensator errechnet sich $C = 94,1052 \text{ nF}$

Diese Methode gewährleistet dabei eine Messgenauigkeit von 3 %. Für unseren Wert ergibt sich daraus $\Delta u_c = 3 \text{ nF}$

$$\Rightarrow C = (94,1052 \pm 3) \text{ nF bzw. } C = (94,1052 \pm 3 \%) \text{ nF}$$

Induktivität L der Spule

Die Steigung m wird aus jedem Messwert $U_{ind}(t)$ und der folgenden Formel errechnet:

$$\ln\left(\frac{U_{ind}(t)}{U_o}\right)$$

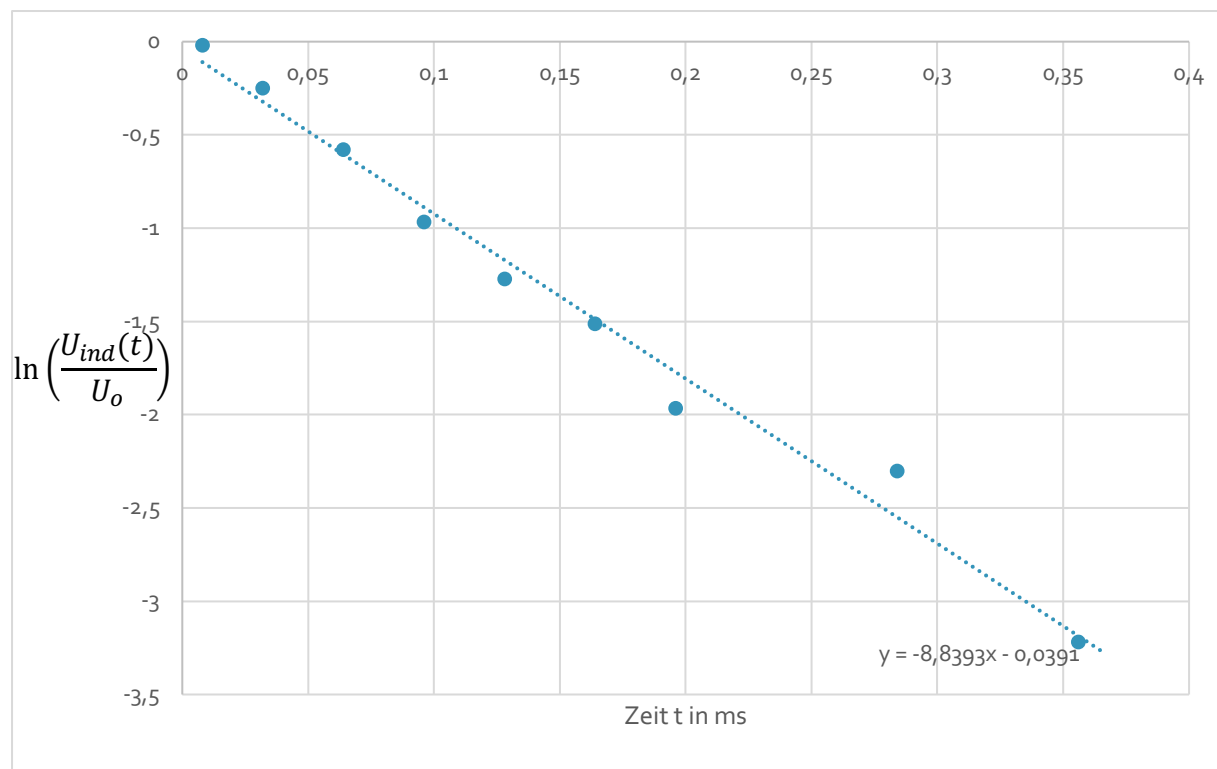


Abbildung 6 $\ln\left(\frac{U_{ind}(t)}{U_o}\right)$ gegen Zeit t mit Ausgleichsgerade

Es ergibt sich eine Steigung $m = -8,8393 \frac{1}{\text{ms}}$

Für die Zeitkonstante τ_L der Spule gilt folgendes:

$$\tau_L = - \frac{1}{m}$$

Für die im Versuch verwendete Spule ergibt sich eine Zeitkonstante $\tau_L = 0,1131 \text{ ms}$

Für die Induktivität L einer Spule gilt:

$$L = \tau_L \times R$$

Für die im Versuch verwendete Spule ergibt sich eine Induktivität von $L = 113,1311 \text{ mH}$

Mit der verwendeten Methode wird eine Messgenauigkeit von 3 % gewährleistet. Daraus folgt $\Delta u_L = 4 \text{ mH}$

$$\Rightarrow L = (113,1311 \pm 4) \text{ mH bzw. } L = (113,1311 \pm 3 \%) \text{ mH}$$

Dimension [Zeit]

Durch das Einsetzen der Einheiten für $R [\Omega]$, $C [\text{F}]$ und $L [\text{H}]$ kann verdeutlicht werden, dass $\frac{L}{R}$ und $R \times C$ jeweils die Zeit als Einheit haben:

$$\frac{L}{R} = \frac{\frac{U_{\text{ind}}(t)}{A}}{\Omega} = \frac{\frac{V_s}{A}}{\frac{V}{A}} = \frac{V_s \times A}{A \times V} = s$$

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

Messprotokoll

	zeit t in ms μs	Spannung U in V mV	
1	500 30 μs ✓	1,38 1,84 V ✓	
2	90 μs ✓	3,12 V ✓	
3	180 μs ✓	5,60 V ✓	
4	240 μs ✓	6,72 V ✓	
5	320 μs ✓	7,76 V ✓	
6	440 μs ✓	8,72 V ✓	Laden
7	520 μs ✓	9,28 V ✓	
8	680 μs ✓	9,60 V ✓	
9	800 μs ✓	9,76 V ✓	
10	940 μs ✓	9,84 V ✓	
11	1040 1070 μs ✓	8,88 8,96 V ✓	
12	1070 μs ✓	7,36 V ✓	
13	1100 μs ✓	6,40 V ✓	
14	1150 μs ✓	4,86 V ✓	entladen
15	1,210 ms ✓	3,68 V ✓	
16	1,300 ms ✓	2,40 V ✓	
17	1,430 ms ✓	1,28 V ✓	
18	1,550 ms ✓	720 mV ✓	
19	1,670 ms ✓	320 mV ✓	
20	1,800 ms ✓	80 mV ✓	

4) (Offset von 10V) -11

	Zeit t in ms	Spannung U_p in m V	
1	60 μ s	10 - 2,2 V	
2	100 μ s	10 - 3,4 V	
3	140 μ s	4,6 V	
4	200 μ s	5,8 V	
5	280 μ s	7,0 V	Laden
6	340 μ s	7,60 V	
7	440 μ s	8,20 V	
8	540 μ s	8,40 V	
9	680 μ s	8,80 V	
10	840 μ s	10 - 9,00 V	
11	1,000 ms	18,4 V - 10	entladen
12	1,060 ms ms	16,0 V - 10	
13	1,100 ms	14,4 V	
14	1,240 ms	12,0 V	
15	1,400 ms	10,8 V	
16	1,520 ms	10,2 V	
17	1,640 ms	9,80 V	
18	1,740 ms	9,60 V	
19	1,940 ms	9,20 V $\uparrow$	
20	1,860 ms	9,40 V $\downarrow$	

$$I = \frac{U_R}{2000 \Omega}$$

5)			
	Zeit t		Leer U _{ind} in V
1	8,0 μ s		9,8V ein
2	32,0 μ s		7,8V
3	54,0 μ s		5,6V
4	96,0 μ s		3,8V
5	128,0 μ s		2,80V
6	164,0 μ s		2,20V
7	196,0 μ s ✓		2 1,40V
8	284,0 μ s ✓		8 1,00V
9	356,0 μ s ✓		400mV
10	460,0 μ s ✓		200mV
11	508,0 μ s ✓		- 9,00V aus
12	544,0 μ s ✓		- 6,20V U _{ind}
13	600 600 μ s ✓		- 4,00V
14	624 μ s ✓		- 3,00V
15	676 μ s ✓		- 1,60V
16	732 μ s ✓		- 800mV
17	800 μ s ✓		- 400mV
18	860 μ s ✓		- 200mV
19	884 μ s ✓		- 200mV
20	922 μ s ✓		- 0,00V

6)

	Zeit t	$U_R \Rightarrow I = \frac{U_R}{1000 \Omega}$
1	24,00 μs	600 mV
2	64,00 μs	3,80 V
3	84,00 μs	4,60 V
4	104,00 μs	5,60 V
5	132,00 μs	6,60 V
6	200,00 μs	8,00 V
7	256,00 μs	8,80 V
8	284,00 μs	8,60 V
9	360,0 μs	9,20 V
10	5496,0 μs	9,60 V
11	524,0 μs	8,8 V
12	548,0 μs	6,8 V
13	584,0 μs	4,6 V
14	616,0 μs	3,4 V
15	664,0 μs	2,0 V
16	708,0 μs	1,40 V
17	764,0 μs	600 mV
18	816,0 μs	400 mV
19	864,0 μs	200 mV
20	932,0 μs	0,0 V