

Physikalisches Praktikum für
Naturwissenschaftler
Blockpraktikum Wintersemester 2022/23

KS - Kondensator und Spule

Betreuer: Paul Haffner

Protokollanten:



Gruppe 3

Versuchsdatum: 03.03.2023

Inhaltsverzeichnis

1. EINFÜHRUNG UND ZIELSTELLUNG:	2
2. VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG:	2
3. AUSWERTUNG:	3
4. FAZIT:	9
5. ANHANG:	10

1. Einführung und Zielstellung:

Ziel des Versuches, ist es die wichtigen Bauteile „Kondensator und Spule“, die man in jedem elektronischen Gerät findet, genauer zu untersuchen. Kondensatoren speichern dabei Energie und Spulen erzeugen durch einen fließenden Strom magnetische Felder.

Wir untersuchen in folgendem Experiment das Verhalten der Bauteile beim Auf- und Entladevorgang (Kondensator) beziehungsweise beim Ein- und Ausschaltvorgang (Spule).

2. Versuchsaufbau und Durchführung:

Wir verbinden das Steckbrett (siehe Abb.1), den Impulsgenerator und das Oszilloskop miteinander. Die Widerstände, der Kondensator und die Spule werden dabei nach der Anleitung am Steckbrett befestigt (KS. Seite 11). Der Impulsgenerator erzeugt nun eine Rechteckspannung, welches das Oszilloskop auf seinem Bildschirm anzeigt. Es wird dort allgemein der elektrische Spannungsverlauf dargestellt. Wir messen nun an je 15 verschiedenen Stellen (pro Ein- und Ausschaltvorgang) die Zeit t in μs und die Spannung U in Volt, sowie die Stromstärke I in Ampere.

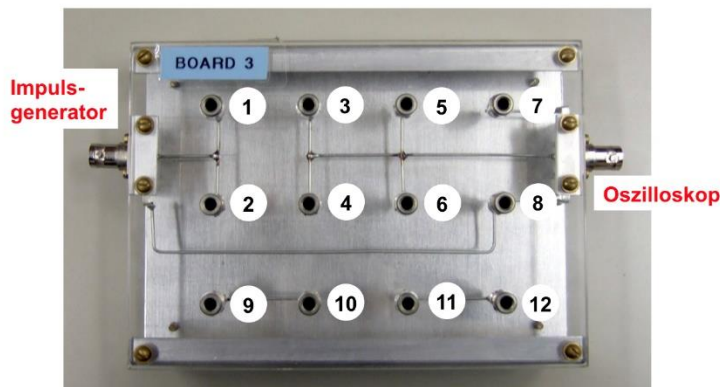


Abb. 1: Steckbrett aus der Anleitung (KS. Abb.7)

3. Auswertung:

Aufgabe 1:

In der ersten Aufgabe sollen wir zwei Diagramme $U_C(t)$ und $I(t)$ über der Zeit t auftragen.

Die Stromstärke wird dabei gemäß des Ohm'schen Gesetzes umgerechnet. Es gilt:

$$I = \frac{U}{R} \quad (\text{KS.5})$$

Wobei der Widerstand R $2000 \, \Omega$ beträgt.

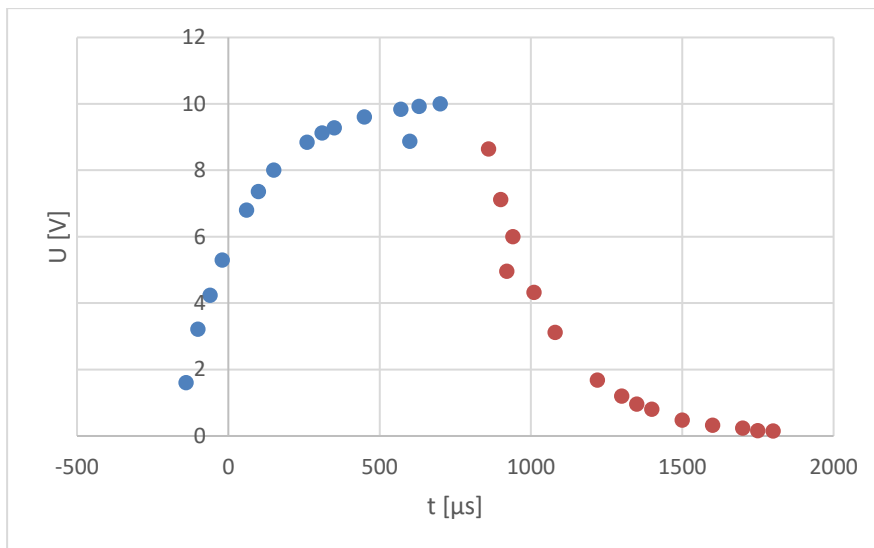


Abb. 2: Spannungsverlauf ($U_C(t)$ in V über der Zeit t in μs) eines Kondensators mit einem Widerstand von $2000 \, \Omega$

Die blauen Datenpunkte zeigen dabei den Auflade-, die roten Punkte den Entladevorgang.

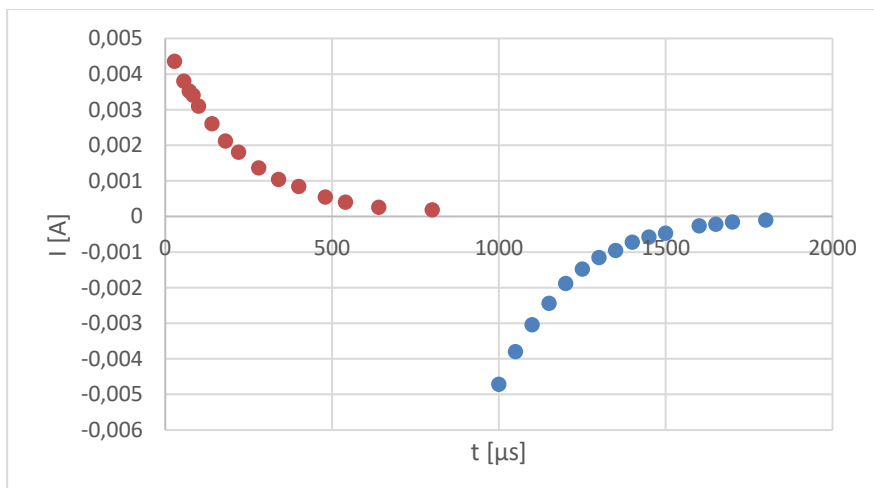


Abb. 3: Stromstärkenverlauf ($I(t)$ in A über der Zeit t in μs) eines Kondensators mit einem Widerstand von $2000 \, \Omega$

Die blauen Datenpunkte zeigen dabei den Auflade-, die roten Punkte den Entladevorgang.

Man kann allgemein sagen, dass sich die theoretisch vorhergesagten Werte auch in den Kurven zeigen (Vergleich mit KS. Abb. 3, Seite 4). Es gibt kleine „Ausreißer“, die durch ungenaues ablesen

oder einen falsch ermittelten Mittelwert (wenn zwei Messergebnisse hin und her geschwankt haben) erklärt werden können.

Dies zeigen auch die folgenden Formeln KS.9 und KS.10:

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (\text{KS.9})$$

$$I(t) = -\frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (\text{KS.10})$$

Die Formeln zeigen, wie theoretisch erwartet, dass die Richtung des Entladestroms, der des Ladestroms entgegengesetzt ist. Das zeigt das Minus in der KS.10 Formel.

Beim Aufladevorgang liegt, zu Beginn des Messens, die Kondensatorspannung bei 0V. In unserem Diagramm ist dies nicht so gut zu erkennen, da wir keinen Wert für Null gemessen haben. Dabei fällt am Widerstand R die Spannung U_0 komplett ab. Dabei ist der aufladende Strom maximal, die elektrischen Ladungen können ohne Probleme in den Kondensator fließen. Man sieht am Verlauf der Kurve, dass die Spannung U_C zuerst sehr schnell, dann immer langsamer steigt. Dabei sinkt auch der Aufladestrom. U_C geht immer mehr Richtung Quellspannung, der Ladestrom I wird immer kleiner und geht gegen null. Der Kondensator ist damit aufgeladen.

Beim Entladen des Kondensators läuft der beschriebene Prozess gegenteilig ab. Die Spannungsquelle wird abgekappt. Damit gilt dann $U_C = U_0$, die Ladung liegt vollständig an den Platten an. Aufgrund dessen fließt anfangs ein Strom I_0 . Hinzuzufügen ist aber, dass beim Entladen die Richtung des Stroms andersherum ist, dies sieht man auch anhand der Kurve in Abb.3. Es kommt zuerst zu einem starken Stromabfall, der dann aber immer leichter wird und gegen null geht. Dies entsteht durch die keiner werdende Abstoßkraft der Ladungen an den Kondensatorplatten. Die Spannung U_C weist dasselbe Verhalten auf.

Aufgabe 2:

Auch in der zweiten Aufgabe sollten wir zwei Diagramme darstellen. Nun geht es jedoch um die Spule, nicht um den Kondensator.

Die Stromstärke wird gemäß des Ohm'schen Gesetzes umgerechnet, analog zur ersten Aufgabe. Wobei der Widerstand R hier 1000Ω beträgt.

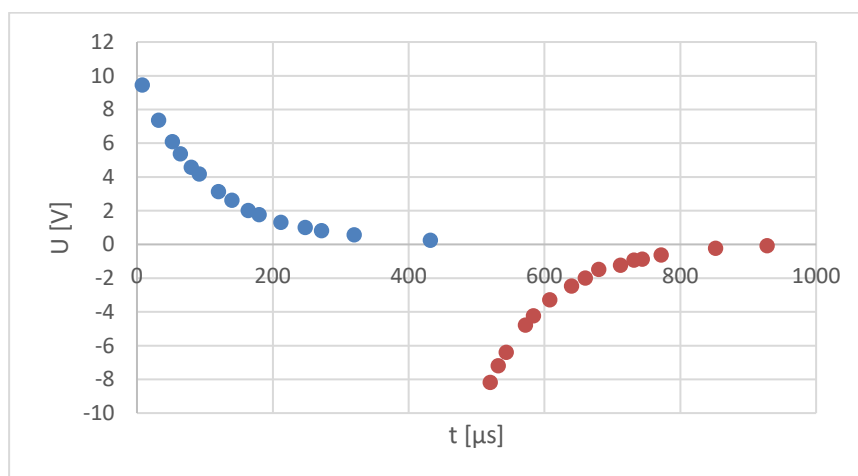


Abb. 4: Spannungsverlauf ($U_C(t)$ in V über der Zeit t in μs) einer Spule mit einem Widerstand von 1000Ω

Die blauen Datenpunkte zeigen dabei den Auflade-, die roten Punkte den Entladevorgang.

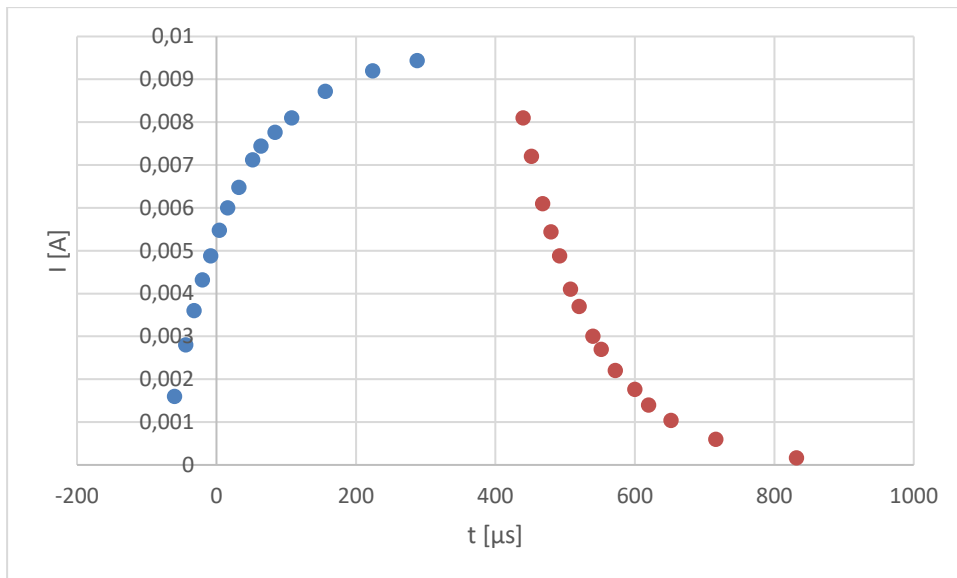


Abb. 5: Stromstärkenverlauf $I(t)$ in A über der Zeit t in μs einer Spule mit einem Widerstand von 1000Ω

Die blauen Datenpunkte zeigen dabei den Auflade-, die roten Punkte den Entladevorgang.

Man kann insgesamt sehen, dass sich auch hier die theoretisch vorhergesagten Werte in den Kurven zeigen (Vergleich mit KS. Abb. 6, Seite 7). Es gibt kleine „Ausreißer“, die durch ungenaues ablesen oder einen falsch ermittelten Mittelwert (wenn zwei Messergebnisse hin und her geschwankt haben) erklärt werden können. Außerdem ergibt sich bei dem Stromstärkenverlauf (Abb.5) eine „Lücke“ im Bereich 300-400 μs . In diesem Bereich haben wir wahrscheinlich zu wenige Werte ermittelt.

Beim Einschalten der Spannung gilt: $U_0 = U_{ind}$ ist maximal. Hier ist es nun so, dass die Spannung dabei an der Spule abfällt, nicht wie bei dem Kondensator, wo diese am Widerstand R abfällt. Anschließend kommt es zu einem Abfall der Spannung U_{ind} , dies hat zur Folge, dass U_{ind} gegen Null Volt (asymptotisch) läuft.

Der Ladestrom $I(t)$ dagegen, ist zu Beginn der Messung bei 0A, steigt dann aber rapide, aufgrund des Spannungsabfalls, an. Es folgt nun wiederum eine Minimierung des Stromanstiegs, da die Spannung am Widerstand R abfällt. Die Spule wird, nach abschalten von U_0 , die Spannungsquelle. $I(t)$ bewegt sich also wieder gegen Null.

Auch diesen Vorgang, den man theoretisch erwartet, kann man an den folgenden Formeln (entnommen aus der ersten Hälfte von KS. Seite 7) entnehmen:

$$U_{ind} = -U_0 * e^{\frac{-R}{L} * t}$$

$$I(t) = \frac{U_0}{R} * e^{\frac{-R}{L} * t}$$

Nach den ersten zwei Aufgaben, kann man zusammenfassen, dass der Spannungsverlauf $U_C(t)$ eines Kondensators, dem Stromstärkenverlauf $I(t)$ einer Spule ähnelt. Genauso gleichen sich der Stromstärkenverlauf $I(t)$ eines Kondensators und der Spannungsverlauf $U_C(t)$ einer Spule.

Aufgabe 3:

Nun soll die Kapazität C des Kondensators, sowie die Induktivität L der Spule bestimmt werden.

Dazu sollen zunächst Diagramme erstellt werden, denn aus den berechneten Steigungen aus dem Diagrammen, können erst die gesuchten Größen berechnet werden.

Kondensator/Kapazität:

Unsere Eingangsspannung U_0 betrug 10V. Dies ist der maximale Spannungswert der Messung. Für die y-Achse des nachfolgenden Diagramms, berechnen wir:

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

(KS. Anleitung, Seite 12)

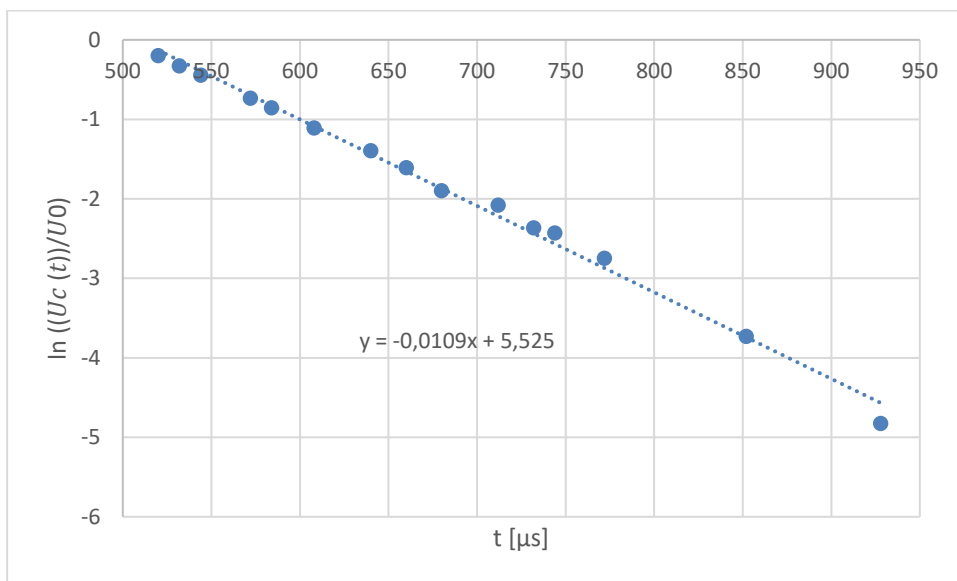


Abb. 6: Diagramm von $\ln \left(\frac{U_C(t)}{U_0} \right)$ über der Zeit t in μs eines Kondensators (im Entladevorgang)

Die Steigung der Geraden beträgt hierbei: $m = -0,0109 \frac{1}{\mu\text{s}}$.

Mithilfe der, aus der Anleitung (Seite 12) entnommenen, Formel,

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

kann man die Zeitkonstante τ_c berechnen und anschließend die gesuchte Kapazität C des Kondensators.

Wir rechnen:

$$\tau_c = -\frac{1}{m} \approx -\frac{1}{-0,0109 \frac{1}{\mu\text{s}}} \approx 91,74312 \mu\text{s}$$

Die Kapazität C ergibt sich dann aus der Formel (entnommen aus dem Internet, da die Formel KS.3/4 für die Kapazität nicht direkt die Zeitkonstante enthält):

$$C = \frac{\tau_c}{R} = 45,8716 \text{ nF}$$

In der Aufgabenstellung steht außerdem, dass diese Methode, die Kapazität auf 3% genau bestimmen kann. Gesucht ist nun die Messunsicherheit Δu_c .

$$\Delta u_c = C \cdot 0,03 = 1,376 \text{ nF}$$

Daraus ergibt sich:

Absolute Messunsicherheit: $C = (45,9 \pm 1,4) \text{ nF}$

Relative Messunsicherheit: $C = 45,9 (1 \pm 3,05\%) \text{ nF}$

Spule/Induktivität:

Analog wiederholen wir das Vorgehen für die Spule und die gesuchte Größe Induktivität.

Unsere Eingangsspannung U_0 betrug 10V. Dies ist der maximale Spannungswert der Messung. Für die y-Achse des nachfolgenden Diagramms, berechnen wir:

$$\ln \left(\frac{U_{\text{ind}}(t)}{U_0} \right) \quad (\text{KS. Anleitung, Seite 12})$$

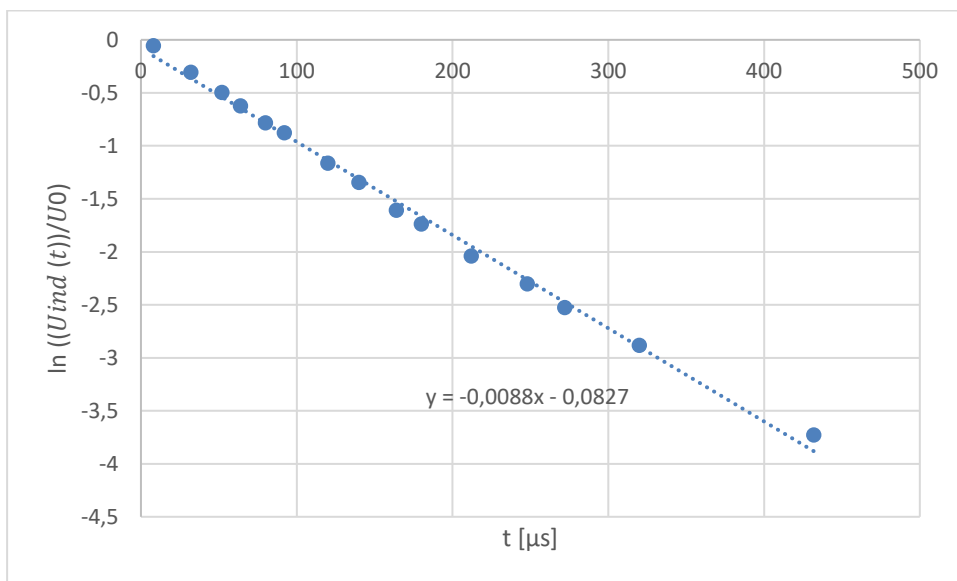


Abb. 7: Diagramm von $\ln \left(\frac{U_{\text{ind}}(t)}{U_0} \right)$ über der Zeit t in μs einer Spule (im Einschaltvorgang)

Die Steigung der Geraden beträgt hierbei: $m = -0,0088 \frac{1}{\mu\text{s}}$.

Mithilfe der, aus der Anleitung (Seite 12) entnommenen, Formel,

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

kann man die Zeitkonstante τ_l berechnen und anschließend die gesuchte Induktivität L der Spule bestimmen.

Wir rechnen:

$$\tau_l = -\frac{1}{m} = -\frac{1}{-0,0088 \frac{1}{\mu\text{s}}} \approx 113,6363 \mu\text{s}$$

Die Induktivität L ergibt sich dann aus der Formel (entnommen aus dem Internet, da die Formel KS.12/13 für die Kapazität nicht direkt die Zeitkonstante enthält):

$$L = \tau_l * R \approx 113,6363 \text{ mH}$$

In der Aufgabenstellung steht außerdem, dass diese Methode, die Induktivität L auf 3% genau bestimmen kann. Gesucht ist nun die Messunsicherheit Δu_L .

$$\Delta u_L = L * 0,03 = 3,42 \text{ mH}$$

Daraus ergibt sich:

Absolute Messunsicherheit: $L = (114 \pm 4) \text{ mH}$

Relative Messunsicherheit: $L = 114 (1 \pm 3\%) \text{ mH}$

Aufgabe 4:

In der letzten Aufgabe sollen wir theoretisch zeigen, dass $R * C$ und $\frac{L}{R}$ tatsächlich die Dimension Zeit haben. Dies machen wir mithilfe der Formeln KS.4 und KS.13.

Es sei:

$$R * C = \Omega * \frac{As}{V} = \frac{V}{A} * \frac{As}{V} = s$$

$$\frac{L}{R} = \frac{\frac{U(t)}{A}}{\Omega} = \frac{\frac{Vs}{A}}{\frac{V}{A}} = \frac{Vs * A}{A * V} = s$$

4. Fazit:

Zusammenfassend können wir sagen, dass unsere Messungen während des Versuches, größtenteils zu den theoretisch erwarteten Werten gepasst haben. Auffallend ist trotzdem, dass bei dem Diagramm für den Spannungsverlauf des Kondensators, sowie für den Stromstärkenverlauf der Spule, jeweils eine kleine „Lücke“, in der Mitte der Messreihe auftrat, da wir an diesen Stellen zu wenige Werte gemessen haben. Dies, sowie das falsche ermitteln eines Mittelwerts (da es am Oszilloskop zu Schwankungen zwischen zwei bis drei Werten hab), kann hier zu kleinen Abweichungen führen.

Des Weiteren haben wir einen recht kleinen Wert für die Kapazität des Kondensators ausgerechnet, der sich aber, wenn man Messfehler miteinbezieht, noch im Rahmen befindet.

5. Anhang:

Kondensator Teil

Messergebnistabelle - Kondensator & Spule

Kondensator (Einschaltverlauf)

Kondensatornummer: C6b Eingangsspannung U_G 10 V

R = 2000Ω

Datum des Versuchstags: 3.03.23

Gruppennummer: 3

Teilnehmer: [REDACTED]

Unterschrift Assistent/-in: Peter Huf

U _C (t)	
Spannung U (in V)	1,60 3,12 4,24 5,30 6,18 7,36 8,0 8,84 9,12 9,28 9,60 9,84 9,84 9,92 10
Zeit (in μs)	140 100 60 20 60 100 150 260 310 350 450 570 600 630 700

I(t)	
Spannung U (in V)	-0,44 -2,6 -6,08 -4,88 -3,26 -2,86 -2,32 -1,92 -1,44 -1,16 -0,84 -0,53 -0,44 -0,32 -0,2
Zeit (in μs)	100 1050 1100 1150 1200 1250 1300 1350 1400 1450 1500 1600 1650 1700 1800

Kondensator (Ausschaltverlauf) R = 2000Ω

U_C(t) 7,12V

Spannung U (in V)	8,60 8,60 6,0 4,36 4,32 3,12 1,68 1,2 0,960 0,8 0,48 0,32 0,24 0,16 0,2
Zeit (in μs)	8,64 900 940 980 1010 1080 1120 1300 1350 1400 1500 1600 1700 1750 1800

Spannung U (in V)	8,72 7,6 7,04 6,8 6,24 5,2 4,24 3,6 2,72 2,08 1,68 1,08 0,8 0,320 0,36
Zeit (in μs)	28 56 72 84 100 140 180 220 280 340 400 480 540 640 800

Spule (Einschaltverlauf) R = 1000Ω

Spulenummer: C6b Eingangsspannung U_G 10 V

U _{ind} (t)	
Spannung U (in V)	0,84 7,36 6,08 5,36 4,56 4,16 3,12 2,6 2,0 1,76 1,3 0,8 0,8 0,56 0,24
Zeit (in μs)	8 32 52 64 80 92 120 140 164 180 212 248 272 320 432

I(t)	
Spannung U (in V)	1,6 2,8 3,6 4,32 4,88 5,82 6 6,48 7,12 7,44 7,76 8,1 8,72 9,2 9,14
Zeit (in μs)	-60 -44 -32 -20 -8 4 16 32 52 64 84 108 156 224 288

Spule (Ausschaltverlauf) R = 1000Ω

U_{ind}(t)

Spannung U (in V)	-8,2 -6,4 -4,8 -3,3 -2,48 -1,5 -1,25 -0,88 -0,64 / / / / -0,24 -0,08
Zeit (in μs)	520 544 572 608 640 680 712 744 772 / / / / 850 920

Spannung U (in V)	5,1 7,2 6,1 5,44 4,88 4,1 3,7 3,0 2,7 2,2 1,76 1,4 1,04 0,6 0,16
Zeit (in μs)	490 452 468 480 492 508 520 540 552 572 600 620 632 716 818 832