Entladen und Laden eines Kondensators

UNTERSUCHUNG DES VERLAUFS DER KONDENSATORSPANNUNG BEIM LADEN UND ENTLADEN EINES KONDENSATORS.

- Messung der Kondensatorspannung beim Laden und Entladen durch Ein-und Ausschalten einer Gleichspannung.
- Bestimmung der Halbwertszeit beim Laden und Entladen.
- Untersuchung der Abhängigkeit der Halbwertszeit von Kapazität und Widerstand.

UE3050101

10/15 UD

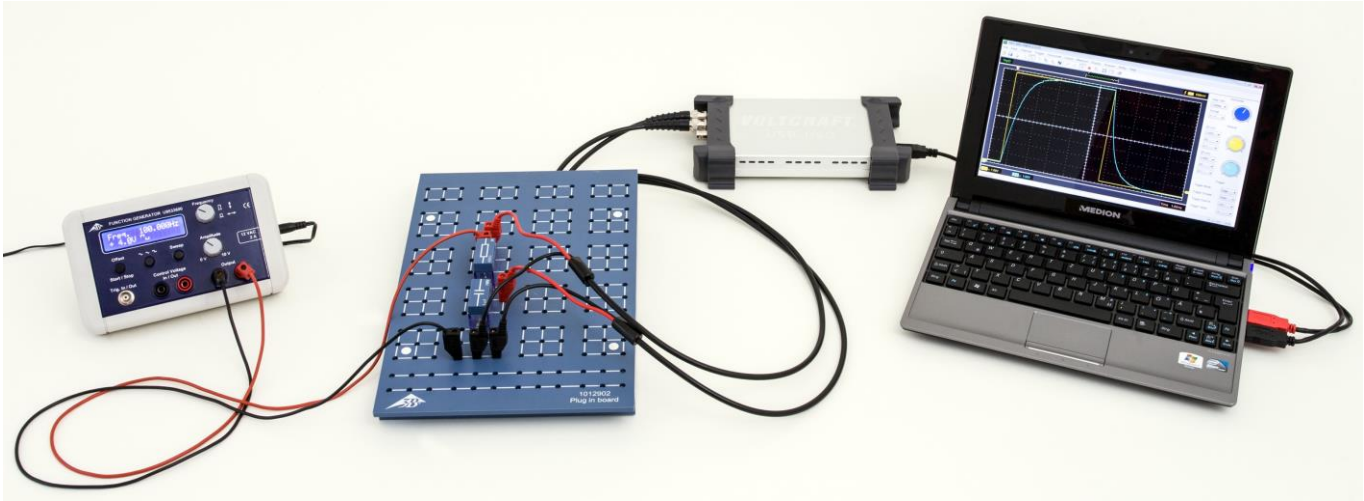

Fig. 1: Messanordnung.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

In einem Gleichstromkreis fließt Strom durch einen Kondensator nur während eines Ein- oder Ausschaltvorgangs. Durch den Strom wird der Kondensator beim Einschalten geladen, bis die angelegte Spannung erreicht ist, und beim Ausschalten entladen, bis die Spannung Null erreicht ist. Der Verlauf der Kondensatorspannung lässt sich als Exponentialfunktion darstellen.

Für einen Gleichstromkreis mit der Kapazität C, dem Widerstand R und der Gleichspannung U_0 gilt beim Einschalten

$$(1) \quad U(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{T_{1/2}}})$$

und beim Ausschalten

$$(2) \quad U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{T_{1/2}}}.$$

mit

$$(3) \quad T_{1/2} = \ln 2 \cdot R \cdot C$$

$T_{1/2}$ ist die Halbwertzeit; d.h. innerhalb der Zeit $T_{1/2}$ nimmt die Kondensatorspannung auf die Hälfte ab. Die gleiche Zeit vergeht bei der Abnahme von der Hälfte auf ein Viertel und von einem Viertel auf ein Achtel.

Im Experiment wird dieser Sachverhalt überprüft. Dazu wird der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung mit einem Speicheroszilloskop aufgezeichnet. Da die Gleichspannung U_0 auf 8 V festgelegt ist, lassen sich die Hälfte, ein Viertel und ein Achtel dieses Wertes leicht ablesen.

GERÄTELISTE

1	Steckplatte für Bauelemente	U33250	1012902
1	Widerstand 470 Ω, 2 W	U333022	1012914
1	Widerstand 1 kΩ, 2 W	U333024	1012916
1	Widerstand 2,2 Ω, 2 W	U333026	1012918
3	Kondensatoren 1 µF, 100 V	U333063	1012955
1	Funktionsgenerator FG 100	U8533600	1009956/7
1	USB-Oszilloskop, 2x50 MHz	U112491	1017264
2	HF-Kabel, BNC/4-mm-Stecker	U11257	1002748
1	Satz 15 Experimentierkabel	U13800	1002841
1	Satz 10 Brückenstecker	U333093	1012985

Zusätzlich erforderlich:

1 Computer mit Win XP, Vista oder Win7 Betriebssystem

AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

- Messanordnung gemäß Fig. 2 aufbauen.
- Schaltung auf der Steckplatte gemäß Fig. 3 realisieren.
- Am Oszilloskop 1 ms als Zeitbasis, 1 V als Vertikalablenkung für CH1 und CH2, Trigger Mode Edge, Trigger Sweep Auto, Trigger Source CH1 und Triggerschwelle ca. 600 mV einstellen.

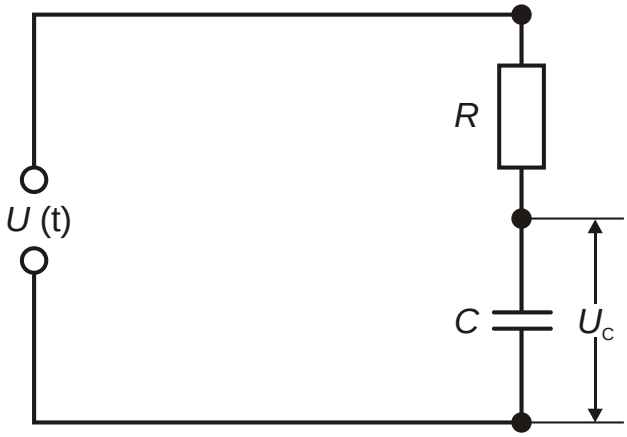

Fig. 3: Schaltskizze.

Halbwertszeit beim Laden und Entladen

- Widerstand 1 kΩ und Kapazität 1 µF wie in Fig. 2 und 3 skizziert in die Steckplatte einstecken.
- Am Funktionsgenerator eine Frequenz von 100 Hz einstellen und die Signalform Rechteck auswählen.
- Die Amplitude so wählen, dass die Signalhöhe $U = 8$ V Spitze-Spitze, entsprechend ±4 Kästchen bei 1 V / Kästchen beträgt.
- Die Halbwertszeiten $T_{1/2}$ beim Entladen des Kondensators für Spannungsabfälle von $U = 8$ V auf $U = 4$ V, von $U = 4$ V auf $U = 2$ V und von $U = 2$ V auf $U = 1$ V am Oszilloskop ablesen und die Werte in Tab. 1 eintragen.
- Die Halbwertszeiten $T_{1/2}$ beim Laden des Kondensators für Spannungsanstiege von $U = 0$ V auf $U = 4$ V, von $U = 4$ V auf $U = 6$ V und von $U = 6$ V auf $U = 7$ V am Oszilloskop ablesen und die Werte in Tab. 2 eintragen.

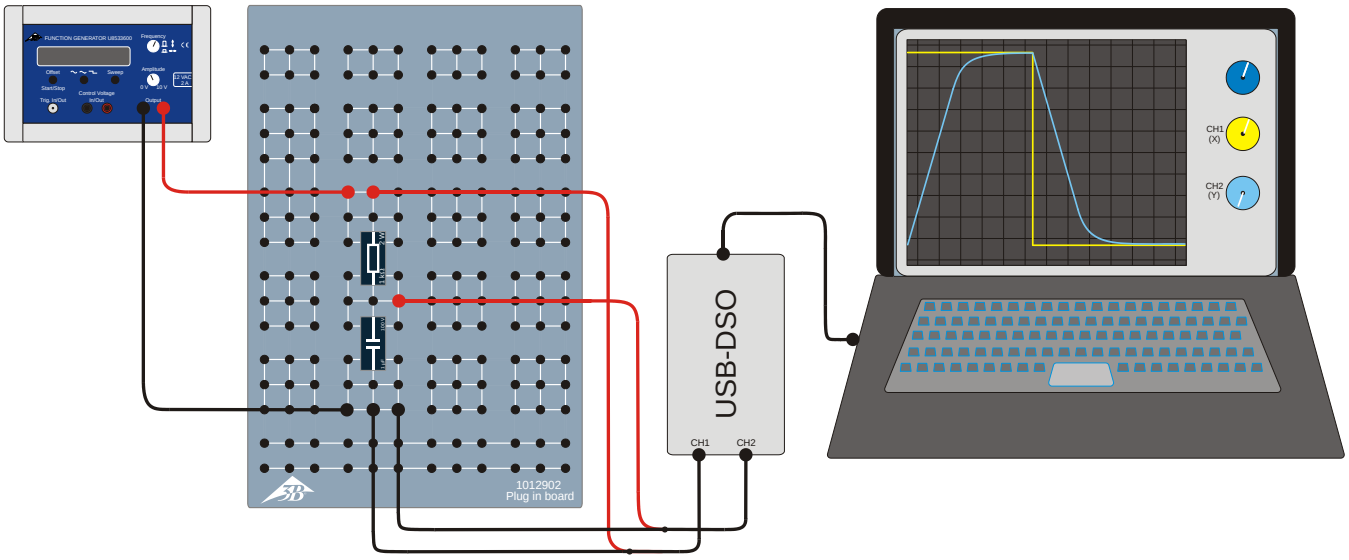

Fig. 2: Skizze der Messanordnung.

Halbwertszeit bei fester Kapazität

- Durch eine Reihenschaltung von zwei Kondensatoren mit C = 1 µF eine Kapazität C = 0,5 µF realisieren.
- Nacheinander Ohm'sche Widerstände mit R = 0,47, 1, 1,47, 2,2 und 2,67 kΩ realisieren. Zwischenwerte durch eine Reihenschaltung von je zwei Ohm'schen Widerständen erzeugen.
- Für jeden Ohm'schen Widerstand R die Halbwertszeit $T_{1/2}$ am Oszilloskop ablesen und die Werte in Tab. 3 eintragen.

Halbwertszeit bei festem Widerstand

- Ohm'schen Widerstand R = 470 Ω verwenden.
- Nacheinander Kapazitäten C = 0,33, 0,5, 0,67, 1, 1,5 und 2 µF realisieren. Zwischenwerte durch eine Reihen- oder Parallelschaltung der Kondensatoren mit C = 1 µF erzeugen.
- Für jede Kapazität C die Halbwertszeit $T_{1/2}$ am Oszilloskop ablesen und die Werte in Tab. 4 eintragen.

MESSBEISPIEL

Fig. 4 zeigt beispielhaft das Oszillogramm beim Laden und Entladen eines Kondensators. Die gelbe Kurve zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung, die über dem Ohm'schen Widerstand abfällt (CH1), die blaue Kurve den zeitlichen Verlauf der Spannung, die über dem Kondensator abfällt (CH2).

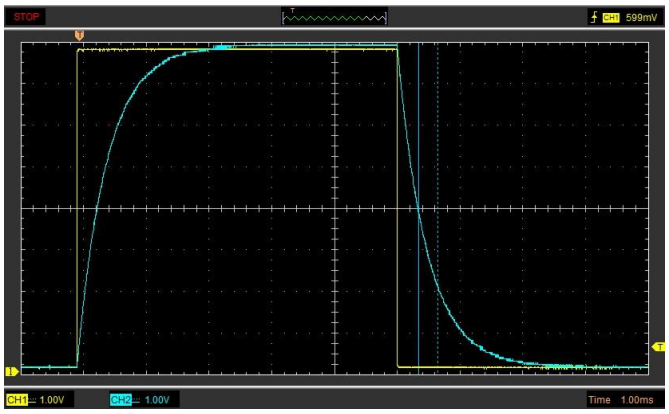

Fig. 4: Am Oszilloskop aufgezeichnete Kondensatorspannung beim Laden und Entladen.

Tab. 1: Halbwertszeiten $T_{1/2}$ für verschiedene Spannungsabfälle, R = 1 kΩ und C = 1 µF

$T_{1/2}(8\,\text{V} \to 4\,\text{V})$	$T_{1/2}(4\,\text{V} \to 2\,\text{V})$	$T_{1/2}(2\,\text{V} \to 1\,\text{V})$
0,69 ms	0,68 ms	0,70 ms

Tab. 2: Halbwertszeiten $T_{1/2}$ für verschiedene Spannungsanstiege, R = 1 kΩ und C = 1 µF

$T_{1/2}(0\,\text{V} \to 4\,\text{V})$	$T_{1/2}(4\,\text{V} \to 6\,\text{V})$	$T_{1/2}(2\,\text{V} \to 7\,\text{V})$
0,69 ms	0,69 ms	0,70 ms

Tab. 3: Halbwertszeiten $T_{1/2}$ für verschiedene Ohm'sche Widerstände R bei fester Kapazität C = 0,5 µF.

$\frac{R}{\text{k}\Omega}$	0,47	1,00	1,47	2,20	2,67
$\frac{T_{1/2}}{\text{ms}}$	0,163	0,346	0,490	0,759	0,865

Tab. 4: Halbwertszeiten $T_{1/2}$ für verschiedene Kapazitäten C bei festem Ohm'schen Widerstand R = 470 Ω.

$\frac{C}{\mu\text{F}}$	0,33	0,50	0,67	1,00	1,50	2,00
$\frac{T_{1/2}}{\text{ms}}$	0,086	0,163	0,221	0,307	0,461	0,624

AUSWERTUNG

Halbwertszeit beim Laden und Entladen

Die Übereinstimmung der aus verschiedenen Abschnitten der Lade- bzw. Entladekurve bestimmten Werte für die Halbwertszeit (Tab. 1 und 2) bestätigt den erwarteten exponentiellen Verlauf, siehe Gleichungen (1) und (2).

Halbwertszeit bei fester Kapazität

- Die Halbwertszeiten $T_{1/2}$ aus Tab. 3 gegen die Ohm'schen Widerstände R in einem Diagramm auftragen und eine Ursprungsgerade anpassen (Fig. 5).
- Zur Überprüfung von Gleichung (3) aus der Geradensteigung m_C die Kapazität C bestimmen.

(4) $T_{1/2} = m_C \cdot R$ mit $m_C = \ln 2 \cdot C$

$$\Rightarrow C = \frac{m_C}{\ln 2} = \frac{0{,}33}{\ln 2} = 0{,}48\ \mu\text{F}\,.$$

Der aus der Messung bestimmte Wert stimmt sehr gut mit dem Nennwert C = 0,5 µF überein.

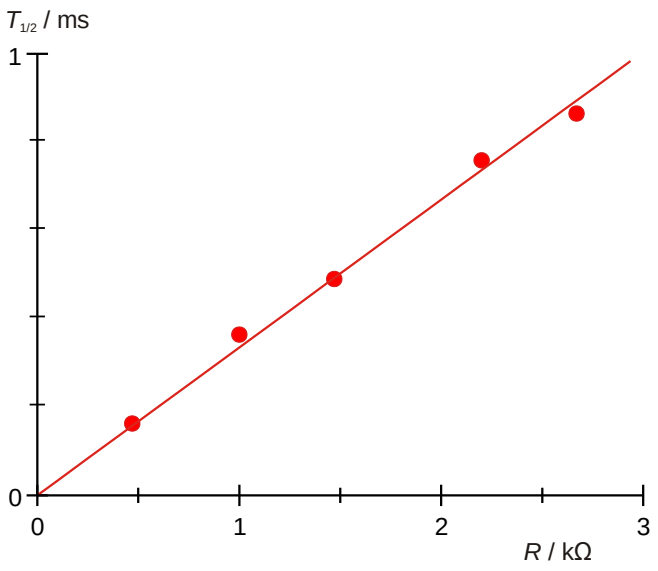

Fig. 5: Halbwertszeit $T_{1/2}$ in Abhängigkeit vom Widerstand R.

Halbwertszeit bei festem Widerstand

- Die Halbwertszeiten $T_{1/2}$ aus Tab. 4 gegen die Kapazitäten C in einem Diagramm auftragen und eine Ursprungsgerade anpassen (Fig. 6).
- Zur Überprüfung von Gleichung (3) aus der Geradensteigung m_R den Ohm'schen Widerstand R bestimmen.

(5) $T_{1/2} = m_R \cdot C$ mit $m_R = \ln 2 \cdot R$

$$\Rightarrow R = \frac{m_R}{\ln 2} = \frac{0{,}32}{\ln 2} = 0{,}46\ \text{k}\Omega\,.$$

Der aus der Messung bestimmte Wert stimmt sehr gut mit dem Nennwert R = 470 Ω überein.

- Die Werte für die Ohmschen Widerstände R aus Tab. 3 mit dem Wert für die Kapazität C = 0,5 µF multiplizieren, die Werte für die Kapazitäten C aus Tab. 4 mit dem Wert für den Ohm'schen Widerstand R = 470 Ω multiplizieren, und die Produkte $R{\cdot}C$ mit den zugehörigen Halbwertszeiten aus Tab. 3 und 4 in Tab. 5 eintragen.

Tab. 5: Halbwertszeiten $T_{1/2}$ für die Produkte $R{\cdot}C$, berechnet aus den Werten in Tab. 3 und 4.

$R \cdot C$ / kΩ · µF	$T_{1/2}$ / ms
0,16	0,09
0,24	0,16
0,24	0,16
0,31	0,22
0,47	0,31
0,50	0,35
0,71	0,46
0,74	0,49
0,94	0,62
1,10	0,76
1,34	0,87

- Die Halbwertszeiten $T_{1/2}$ aus Tab. 5 gegen die Produkte $R{\cdot}C$ in einem Diagramm auftragen und eine Ursprungsgerade anpassen (Fig. 5).
- Zur Überprüfung von Gleichung (3) aus der Geradensteigung m den Proportionalitätsfaktor ln2 bestimmen.

(6) $T_{1/2} = m \cdot R \cdot C$ mit $m = \ln 2$

Der aus der Messung bestimmte Wert m = 0,67 stimmt sehr gut mit dem theoretischen Wert ln2 = 0,69 überein.

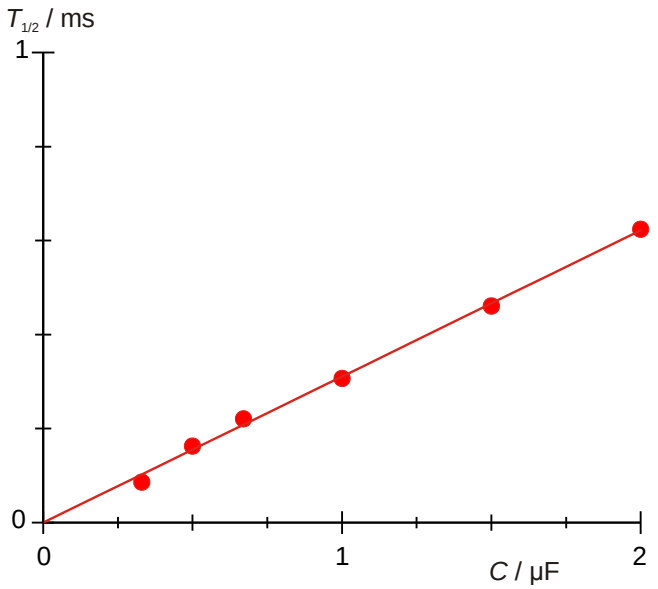

Fig. 6: Halbwertszeit $T_{1/2}$ in Abhängigkeit von der Kapazität C.

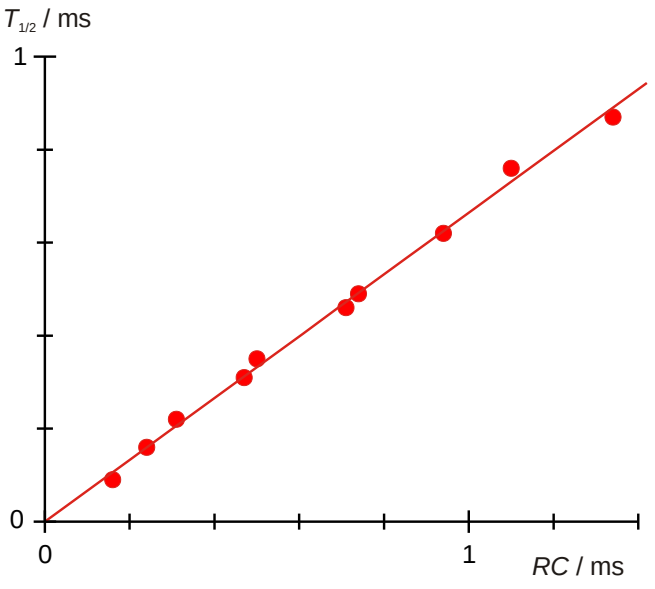

Fig. 7: Halbwertszeit $T_{1/2}$ in Abhängigkeit vom Produkt $R{\cdot}C$.

© Copyright 2015 3B Scientific GmbH