

Praktikum 2

Der Kondensator

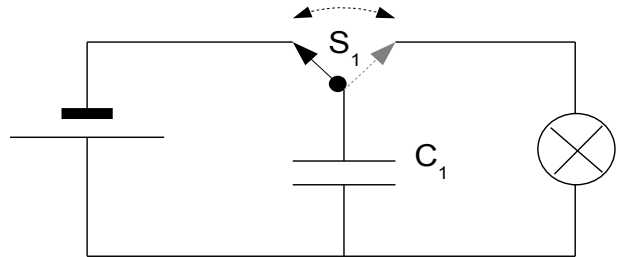
1) Ein Kondensator mit C_1 wird an einer Spannungsquelle mit U_S aufgeladen und dann über eine Glühlampe entladen, indem der Schalter S_1 umgelegt wird.

$$U_S = 6V \quad C_1 = 2200 \mu F$$

Beobachtung: Das Lämpchen leuchtet kurz stark auf, dann wird es aber sehr schnell wieder dunkler.

Folgerung: Am Anfang des Entladevorgangs ist die Spannung also höher als später. Der Kondensator entlädt sich also nicht linear.

Insgesamt dauert ein solcher Entladevorgang weniger als eine halbe Sekunde.

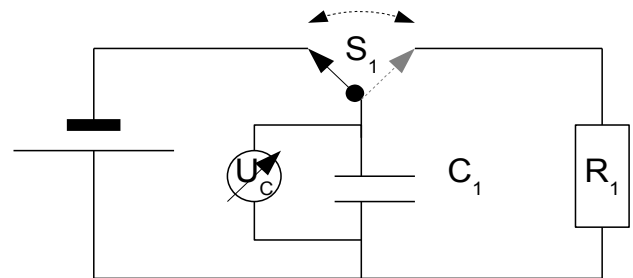


Zeichnung 1: Schaltskizze zu 1) - Laden eines Kondensators und Entladen über eine Glühlampe

2) Ein Kondensator wird abwechselnd geladen und entladen (durch Umlegen von Schalter S_1). Der Entladevorgang verläuft über einen Widerstand R_1 . Dabei wird die Spannung U_C am Kondensator C_1 gemessen.

Es wird die Zeit gemessen, die es dauert, bis der Kondensator sich bis auf 9, 8, 7, ...1V entladen hat.

$$U_S = 10V \quad C_1 = 2200 \mu F$$



Zeichnung 2: Schaltskizze zu 2) Laden eines Kondensators und Entladen über einen Widerstand mit Messung der Spannung am Kondensator

U [V]	t[s] M I	t[s] M II	t[s] M III	t[s] M IV	t[s] M V	t[s] Durchschnitt	Abw. d. Reg [%]	Q [mC]
9,00	2,90	2,60	2,30			2,60	0,29	19,8
8,00	4,70	4,95	5,00			4,88	-0,63	17,6
7,00	7,80	7,90	8,20	7,70	7,90	7,90	0,37	15,4
6,00	11,00	11,10	11,20			11,10	0,17	13,2
5,00	15,30	15,00	15,10			15,13	1,11	11,0
4,00	19,80	20,00	16,50			18,77	-3,99	8,8
3,00	26,00	27,00	26,50			26,50	4,01	6,6
2,00	36,00	36,00	35,40	35,50		35,73	7,15	4,4
1,00	51,90	50,70	50,50			51,03	10,33	2,2

Tabelle 1: Messwerte der Messreihen I - V mit Durchschnitt und prozentuale Abweichung der Regression

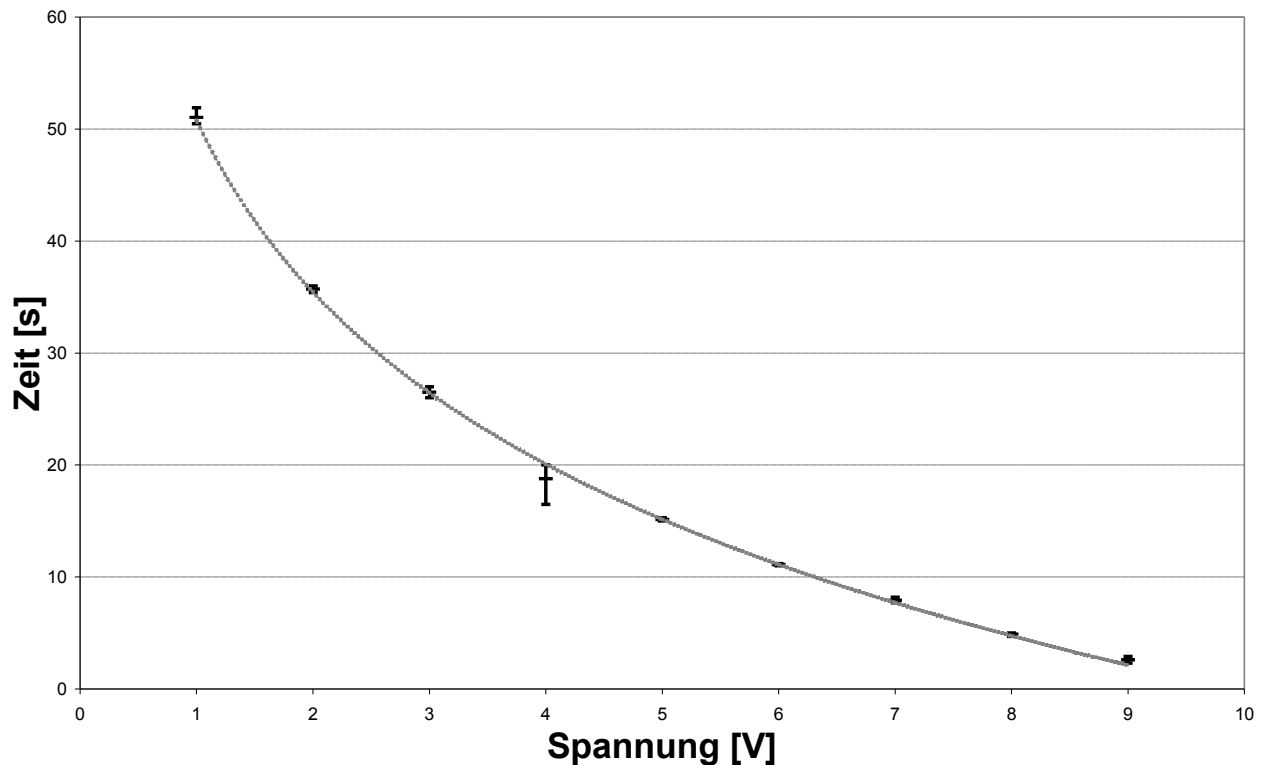


Abbildung 1: Plot mit Regressionskurve der Durchschnitte der Messergebnisse aus 2). Fehlerindikatoren sind die Abweichungen der einzelnen Messreihen.

Definition: Die Halbwertszeit T_H gibt an, wie lange der Entladevorgang dauert, bis die (beliebige) Spannung U_0 eines Kondensators auf die Hälfte $U_{1/2} = \frac{1}{2} \cdot U_0$ abgesunken ist.

Aus dem Schaubild (Abb 1) ist ersichtlich, dass die Spannung exponentiell abnimmt. Es gilt also:
 $U(t) = U_0 \cdot k \cdot r^{-t}$

Mittels Regression erhält man als Näherungen: $k \approx 1.01547830917629$, $r \approx 1.04870648370162$

Für die Halbwertszeit gilt also: $U(T_H) = \frac{1}{2} \cdot U_0$

$$\frac{1}{2} \cdot U_0 = U_0 \cdot k \cdot r^{-T_H} \quad \div U_0 \quad 0,5 = k \cdot r^{-T_H} \quad \frac{0,5}{k} = r^{-T_H} \quad T_H = -1 \cdot \frac{\log(0,5 \div k)}{\log(r)}$$

Für die aus der Regression erhaltenen Werte für k und r gilt also für die Halbwertszeit T_H :

$$T_H = -1 \cdot \frac{\log(0,5 \div 1,01547830917629)}{\log(1,04870648370162)} \approx 14,89790588 \text{ s} \approx 15 \text{ s}$$

Für die Formel $T_H = 0,69 \cdot R \cdot C$ mit $R = 10 \cdot 10^3 \Omega$ und $C = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ F}$ ergibt sich für die Halbwertszeit T_H :

$$T_H = 0,69 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 15,18 \text{ s} \approx 15 \text{ s}$$

Einheiten: $\Omega = \frac{V}{A}$ $F = \frac{C}{V}$ $A = \frac{C}{s}$ $\Omega \cdot F = \frac{C}{V} \cdot \frac{V}{A} = \frac{C}{A} = ((s)^{-1})^{-1} = s$

Die Gleichung $T_H = 0,69 \cdot R \cdot C$ stimmt in diesem Fall also.

Wenn man die Definition der Halbwertszeit jedoch zur Rate zieht, sieht man, dass die Werte nicht zu präzise sind. Zum Beispiel liegen zwischen

- $U=8V$ und $U=4V$ die Zeitdauer $13,89s \approx 14s$
- $U=6V$ und $U=3V$ die Zeitdauer $15,40s \approx 15s$
- $U=4V$ und $U=2V$ die Zeitdauer $16,96s \approx 17s$
- $U=2V$ und $U=1V$ die Zeitdauer $15,30s \approx 15s$

Die Ladung Q_C am Kondensator ist zu jeder Zeit t proportional zu der Spannung U_C am Kondensator. Sie lässt sich berechnen nach $Q(t) = C \cdot U(t)$ wobei C die Kapazität des Kondensators ist. Es gilt also: $Q(t) = C \cdot U_0 \cdot k \cdot r^t$ wobei die Regressionswerte von k und r gleich bleiben.

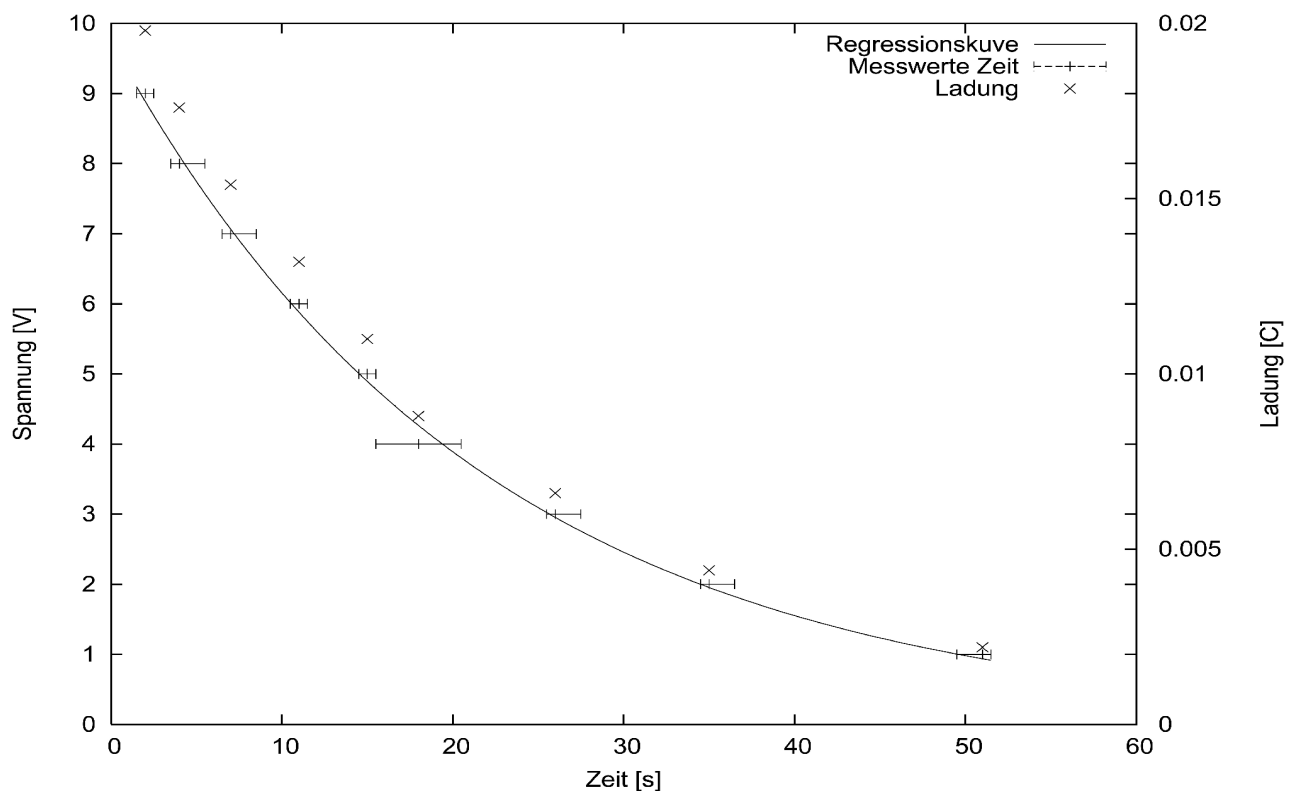
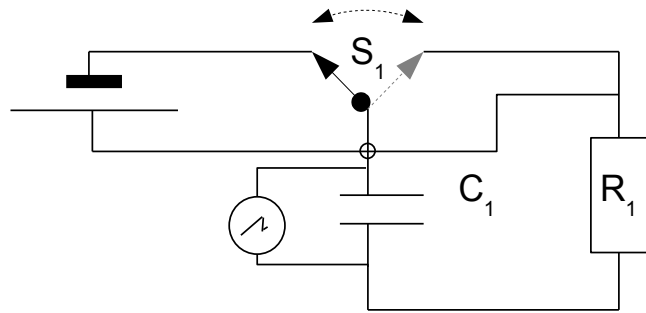


Abbildung 2: Plot der Messwerte für Spannung über Zeit aus der Tabelle auf S. 1. Die Fehlerindikatoren zur Zeit resultieren aus den verschiedenen Messreihen, zusätzlich kommt ein kleiner Teil aus dem Regressionsverfahren hinzu. Für die gemessenen Spannungen sind außerdem die Ladungen berechnet.

3) Ein Kondensator wird schnell geladen und wieder entladen. Die Spannung am Kondensator wird dabei mit einem Oszilloskop dargestellt. Um einen extrem schnellen Schaltvorgang zu erreichen, wird der Schalter S_1 durch eine eigene Schaltung ersetzt (Siehe dazu 4) und Zeichnung 4)

$$U_s = 5V, C_1 = 1\mu F, R_1 = 1k\Omega$$



Zeichnung 3: Schaltung zu 3) – Laden und Entladen eines Kondensators an einem Widerstand mit Messung der Spannung am Kondensator durch ein Oszilloskop.

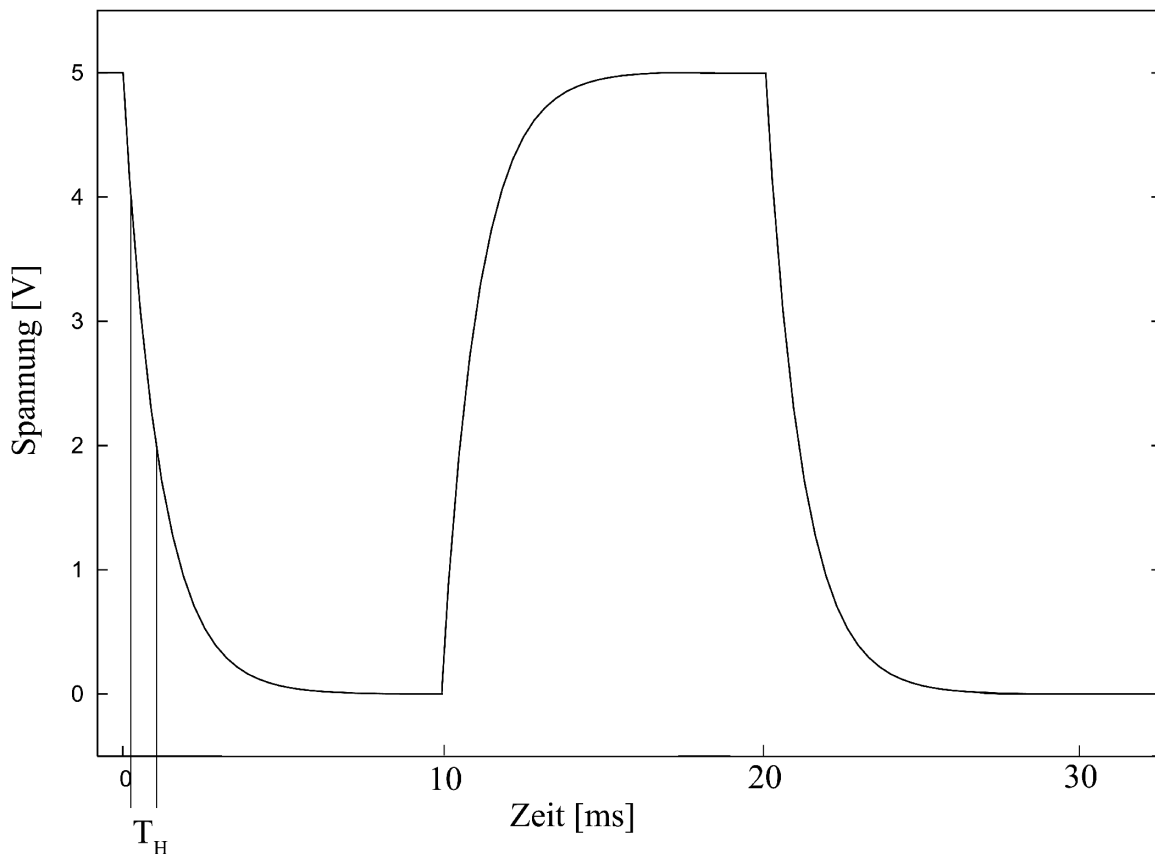


Abbildung 3: Schaubild eines Oszilloskops beim schnellen Laden und Entladen eines Kondensators. Die Halbwertszeit ist eingetragen (zwischen 4V und 2V – hier halbiert sich die Spannung und die Punkte auf dem Schaubild sind noch recht einfach zu finden).

Bis $t = 0\text{ms}$ ist der Kondensator bereits mit seiner maximalen Spannung $U = 5V$ geladen. Im Zeitintervall von 0ms bis 10ms entlädt der Kondensator sich exponentiell, weil der Schalter S_1 „umgelegt“ wurde. Im Intervall zwischen 10ms und 20ms wird der Kondensator wieder geladen.

Die Spannung bei diesem Vorgang verläuft beschränkt. Sie nimmt in einem bestimmten Intervall immer um die Hälfte zu, wie im vorangegangenen. Der Kondensator lädt sich bis zu seiner maximalen Spannung auf, wo sich die Spannung dann so gut wie nicht mehr ändert, bis der Schalter S_1 wieder „umgelegt“ wird. Im letzten Intervall ab 20ms entlädt sich der Kondensator wieder. Weil die Stromversorgung hier unterbrochen wurde, ändert sich die Spannung nicht weiter – der Kondensator wird nicht wieder neu aufgeladen.

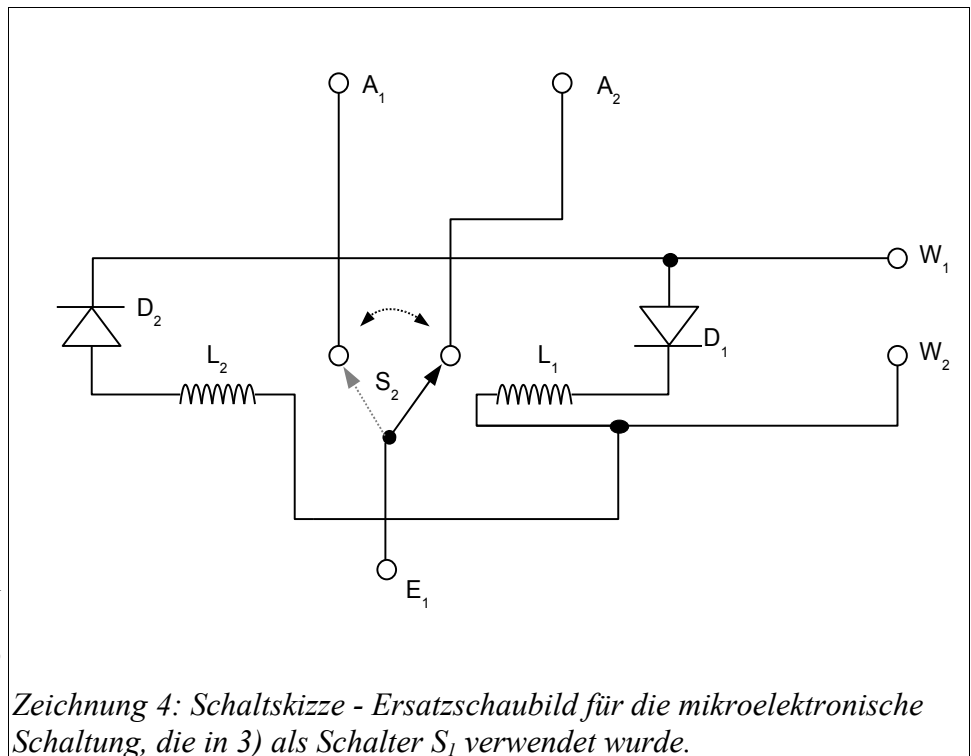
Die Halbwertszeit T_H lässt sich relativ präzise ablesen zu $T_H \approx 0,7ms$, indem man einfach den zeitlichen Abstand misst, zwischen dem sich die Spannung halbiert (also von 4V auf 2V). In Abbildung 3 misst man dazu einfach den Abstand der beiden senkrechten parallelen Linien im Maßstab des Schaubildes. (Rechnet man mit $T_H = 0,69 \cdot R \cdot C$ kommt man auf $T_H = 0,69 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10^{-6}F = 0,69ms$)

4) Ersatz für den Schalter S_1 in 3)

Das Bauteil, das wir verwendeten, ist eigentlich ein mikroelektronisches. An seinem Ersatzschaubild lässt sich seine Funktionsweise aber gut erklären:

Zwischen W_1 und W_2 liegt Wechselstrom an, der mit einer Frequenz von $f=100Hz$ seine Polung ändert.¹

Läuft der Strom (physikalische Stromrichtung von – nach +) gerade von W_1 nach W_2 , so kann er die Diode D_2 passieren, D_1 jedoch nicht. Der Strom fließt so durch die Spule L_2 und induziert hier ein Magnetfeld, das dazu führt, dass der Schalter S_2 nach links gekippt wird, also eine leitende Verbindung zwischen E_1 und A_1 zum bestehen kommt. In 3) ist das gleichbedeutend damit, dass S_1 sich nach links bewegt. Nach $T = 0,01s = 10ms$ ändert sich die Stromflussrichtung zwischen W_1 und W_2 . Der Strom fließt jetzt von W_2 aus und kann so die Diode D_1 passieren und so in der Spule L_1 ein Magnetfeld induzieren, dass S_2 nach rechts bewegt und so eine leitende Verbindung zwischen E_1 und A_2 herstellt. Das entspricht in 3) einer Schalterumlegung von S_1 nach rechts.



¹ Wechselstrom mit einer Frequenz von $f=50Hz$ ändert in einer Periode zweimal seine Polung, also mit der Frequenz $f=100Hz$