

Kondensator

28.12.2018

1 Bestimmung der Kapazität

1.1 Vorwissen

Die elektrische Ladung ist als extensive, einem Erhaltungssatz unterliegende Größe bekannt. Die Spannung ist als Potenzialdifferenz eingeführt.

1.2 Vorbereitung

Als Kondensator wird ein Plattenkondensator mit veränderlichem Abstand benutzt. Ich habe bei meinem Versuch ein Gleichspannungsnetzgerät 0..12 V benutzt, besser wäre, um größere Genauigkeit zu erreichen, ein Gerät mit 0..30 V. Zusätzlich werden der Kondensator, sowie der Spannungssensor und der Ladungssensor des Messwerterfassungssystems (Aufbau siehe Versuchsskizze) benötigt.

1.3 Durchführung

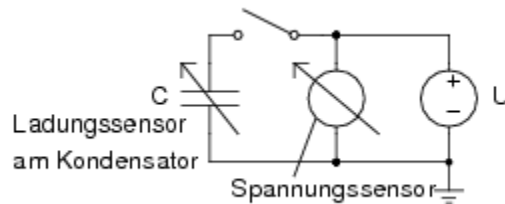


Abbildung 1: Schaltbild

Der Kondensator wird geladen und anschließend vom Netzgerät abgekoppelt. Dann wird die Ladung des Kondensators bestimmt. Die Spannung wird in 2V-Schritten von 0 bis 10 V erhöht. Das Ladungs-Spannungs-Paar wird abgelesen und in eine Tabelle und ein Diagramm eingetragen.

1.4 Auswertung

Die Auswertung liefert die Proportionalität zwischen Ladung und Spannung. Somit kann der Kondensator als Ladungsspeicher mit der Speicherkapazität

$$C = \frac{Q}{U}$$

definiert werden.

Nun wird der Versuch bei verschiedenen Abständen durchgeführt. Das Ergebnis ist in Diagramm 1 dargestellt. Damit lässt sich sehr gut die Beziehung

$$C \propto \frac{1}{d}$$

nachweisen, siehe Diagramm 2.

Die Proportionalität zwischen der Kapazität C und der Plattenfläche A habe ich in einem Gedankenversuch entwickelt. Sie könnte selbstverständlich bei Vorhandensein von Kondensatoren mit verschiedener Plattenfläche wie oben experimentell nachgewiesen werden.

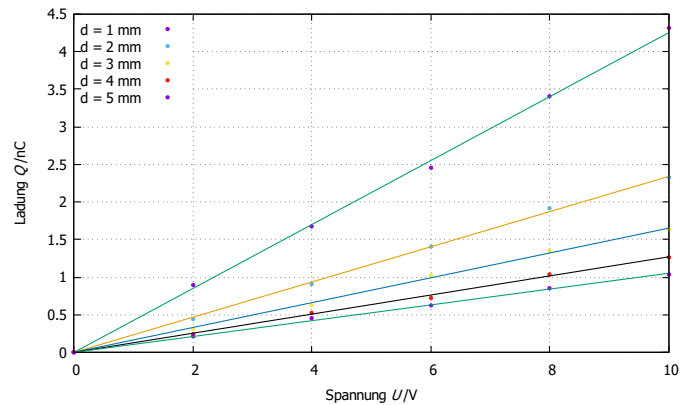


Abbildung 2: Ladung in Abhängigkeit der Spannung

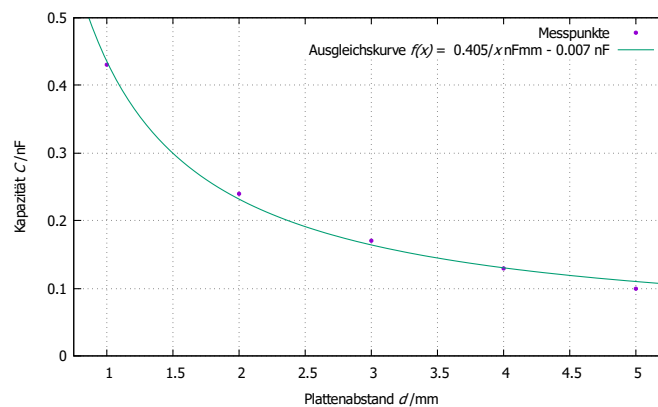


Abbildung 3: Kapazität in Abhängigkeit des Plattenabstands

1.5 Zusatzbemerkungen

1. Aus den gemessenen Daten lässt sich dann problemlos die elektrische Feldkonstante bestimmen.
2. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass bei diesen niedrigen Spannungen die Schüler selber messen können. Dies hat meine Schüler sehr motiviert.
3. Natürlich kann man die beschriebenen Versuche in gleicher Weise auch mit herkömmlichen Messgeräten durchführen. Der Vorteil des computergestützten Verfahrens besteht hier vor allem in der Darstellung der Werte von Ladung und Spannung in einem großen Display (Beamer) mit korrekten Bezeichnungen. Der Unterricht kann zielgenauer und mit weniger ablenkenden Zusatzklärungen z.B über Anzeigegeräte durchgeführt werden.
4. Die Auswertung mit LoggerPro® führt sehr schnell zu optimalen Ausgleichskurven und dazugehörigen Funktionsparametern. Die Kurven können vor Ort ausgedruckt, und den Schülern zum Einkleben ins Heft übergeben werden.

2 Ladung und Entladung eines Kondensators

2.1 Vorbemerkung

Der Lade/Entladevorgang des Kondensators eignet sich hervorragend zur experimentellen Erarbeitung exponentieller Vorgänge, erstens weil die Messpunkte mit großer Präzision am Fit liegen, sofern man ein paar kleine experimentelle Details beachtet und zweitens weil sich sein zeitlicher Ablauf in weiten Grenzen durch die Wahl der Komponenten steuern lässt. So kann vom langsam sich entwickelnden, Punkt für Punkt entstehenden Diagramm, bis zur millisekundenschnell ablaufenden Datenerfassung alles geboten und untersucht werden. Das Vorliegen der Messpunkte in Form von numerischen Werten, ermöglicht sehr weitgehende Möglichkeiten der Auswertung, sowohl im Unterricht, als auch in Form von Gruppenaufträgen.

2.2 Vorwissen

Die Eigenschaften des Kondensators als Speichermedium von elektrischen Ladungen und der Begriff Kapazität als Verhältnis von Ladung zu Spannung sind bekannt.

2.3 Vorbereitung

Erforderliche Bauteile:

1. Gleichspannungsnetzgerät U_0 ca. 6 V
2. Wechselschalter S
3. Kondensatoren verschiedener Kapazitäten C
4. Verschiedene Widerstände R
5. Ich habe zwei Differentialspannungssensoren 6V/0,3mV benutzt. (Andere sind möglich)

Der Spannungssensor wird als Strommessinstrument benutzt, weil der Stromstärkesensor 600mA/0,3mA in der Regel für die anfallenden Stromstärken zu unempfindlich ist.

Bei der Komponentenwahl sollte das RC-Glied die Millisekunde nicht unterschreiten, weil die maximale Datenerfassungsrate (zumindest, wenn man LabQuest® benutzt) bei 10/ms liegt. Ich benutzte zwei Kondensatoren mit 4,7mF und 16μF und als Widerstände 1kΩ und 100kΩ. Widerstände > 100kΩ sind nicht zu empfehlen, weil sich dann die Innenwiderstände der Spannungsmesser bemerkbar machen.

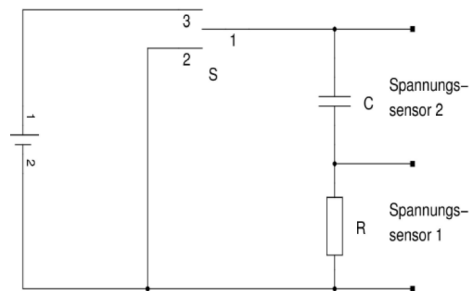


Abbildung 4: Schaltbild

2.4 Durchführung

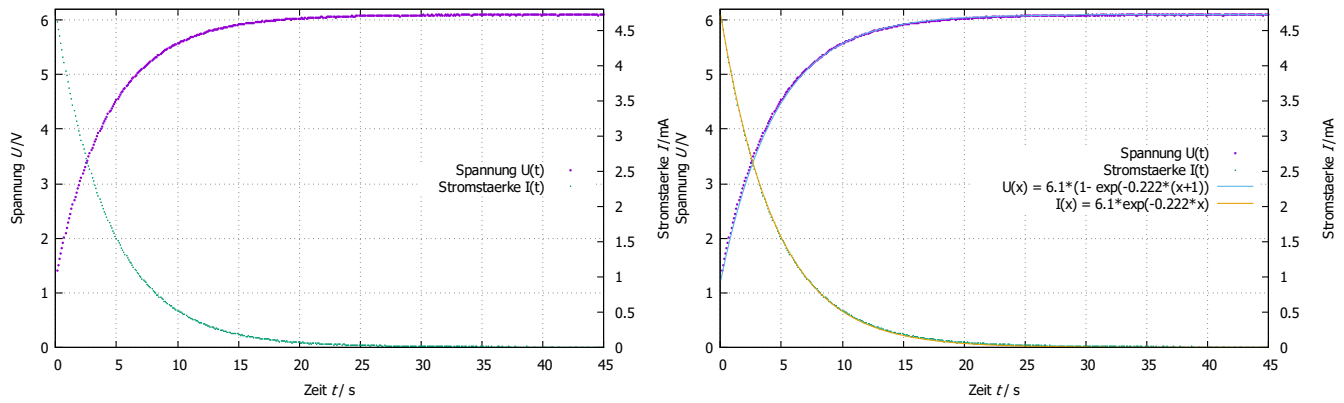
Zunächst wird das Erfassungsgerät entsprechend der Halbwertszeit bezüglich Messdauer, Messfrequenz und Triggerung eingestellt. Die Stromstärke wird als $I = U_1/R$ in einer von Hand eingefügten Spalte erfasst (diese Spalte kann jederzeit, auch nach Durchführung des Versuches eingefügt werden). Dann wird der Kondensator durch Schalterstellung (1,2) entladen und die beiden Spannungen auf Null gestellt. Um den Ladevorgang zu messen, wird der Schalter auf (1,3) gestellt und die Messung gestartet (von Hand oder durch Trigger).

2.5 Auswertung

2.5.1 Lade- und Entladekurve

Sowohl beim Ladevorgang wie auch beim Entladevorgang liegen die Messpunkte von Stromstärke $I(t)$ und Spannung $U(t) = U_2(t)$ als Zeitfunktion auf charakteristischen Kurven, wie sich durch einen exponentiellen Fit sofort erkennen lässt.

Für den Ladevorgang ist das Gleichungspaar $I(t) = I_0 \cdot \exp(-\alpha t)$ und $U(t) = U_0 \cdot [1 - \exp(-\alpha t)]$ leicht nachzuvollziehen, und entsprechend für den Entladevorgang das Paar $I(t) = I_0 \cdot [1 - \exp(-\alpha t)]$ und $U(t) = U_0 \cdot \exp(-\alpha t)$



a) $U(t)$ und $I(t)$ beim Ladevorgang eines Kondensators
($1k\Omega$, $4,7mF$)

b) Ladekurve mit Fit

Abbildung 5: Messreihen zur Ladung

Ergebnisse bei Komponentendaten $R = 1k\Omega$ und $C = 4,7mF$.

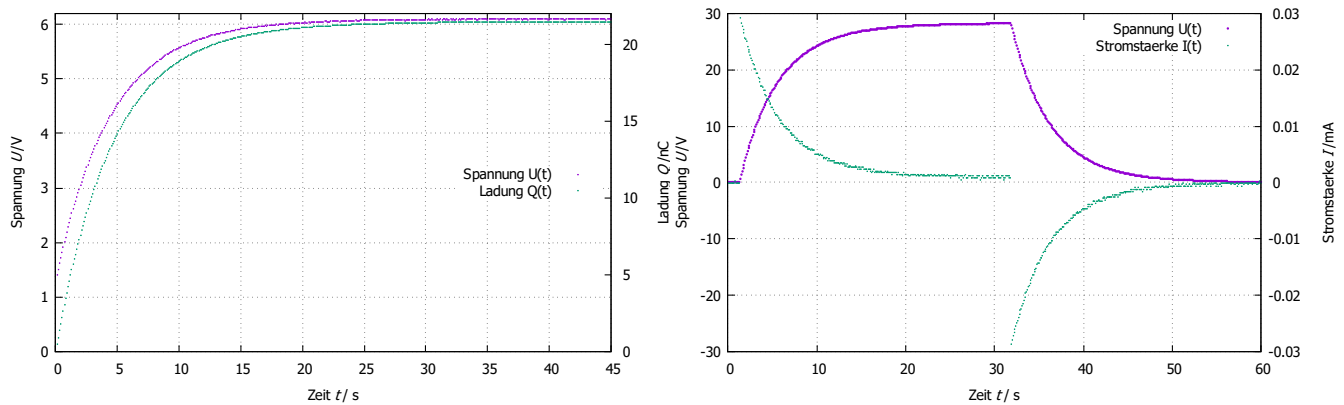
Ergebnis der Auswertung: $R = 986\Omega$, $C = 4,53mF$. Für die Kombination $100k\Omega$, $16\mu F$ habe ich mit der gleichen Methode die Werte $R = 99500\Omega$ und $C = 16,6\mu F$ erhalten.

2.5.2 Bestimmung der Kapazität

Das Programm LoggerPro[®] gestattet auch eine numerische Integration der Stromstärkefunktion durchzuführen. Dadurch ist es möglich mit

$$Q(t) = \int_0^t I(t) dt$$

die vom Kondensator aufgenommene Ladung als Zeitfunktion darzustellen. Es lässt sich sofort verifizieren, dass $Q(t)$ ebenfalls eine Exponentialfunktion ist, die bei entsprechender Skalierung sogar nahezu exakt mit der $U(t)$ -Funktion zusammenfällt, allerdings nur, wenn die $I(t)$ -Daten für größere t -Werte exakt zu Null werden.



a) $Q(t)$ aus der Stromstärke integriert und $U(t)$

b) Lade- und Entladekurve

Abbildung 6: Messreihen

Diese Eigenschaft kann wegen der Streuung nicht ohne weiteres vorausgesetzt werden, und muss von Fall zu Fall durch Korrektur in der $I(t)$ -Funktion sichergestellt werden. Eine physikalische Begründung für die Notwendigkeit dieser Manipulation der Daten lässt sich mit den Schülern problemlos erarbeiten und sollte unbedingt thematisiert werden.

Diese numerische Integration ist auch mit einem Tabellenkalkulationsprogramm, in das die Daten exportiert werden, leicht durchzuführen.

Die Funktion $Q(U)$ ergibt eine Gerade mit der Steigung C .

Die Funktion $U(I)$ ergibt eine Gerade mit der Steigung $-R$.

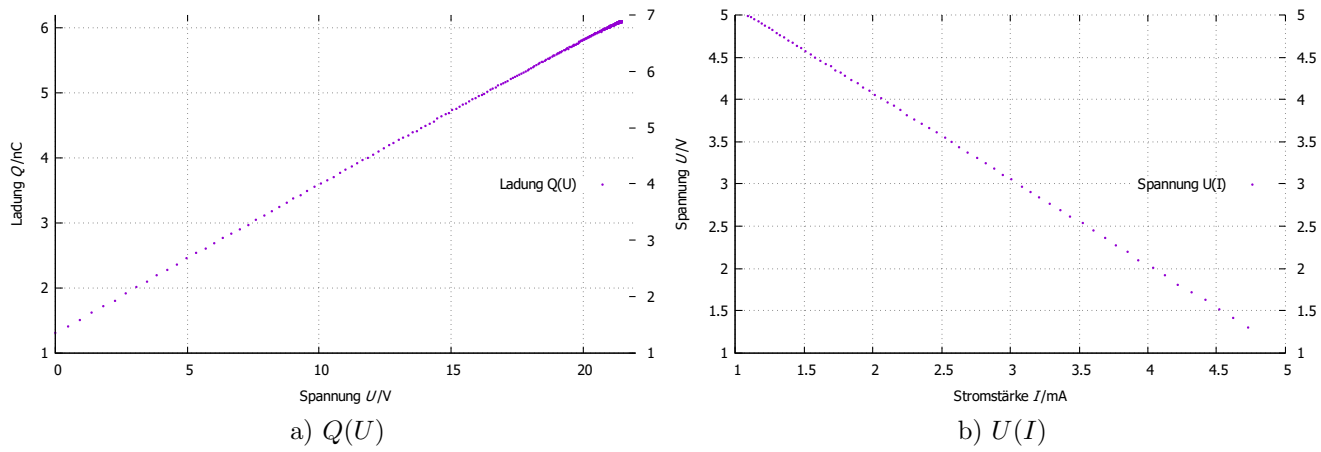


Abbildung 7: Ladevorgang

Daraus lassen sich die Differenzialgleichungen

$$Q(t) = Q_0 - RC\dot{Q}(t)$$

und

$$U(t) = U_0 - RC\dot{U}(t)$$

herleiten.