

5

Experimentelles Arbeiten: Kapazitätsmessungen

Ph12 Lernbereich 4: Experimentelles Arbeiten

Die Schülerinnen und Schüler **bestimmen experimentell am Plattenkondensator die relative Permittivität eines vorgegebenen Materials. In einem selbst geplanten Experiment bestimmen sie die Kapazität eines Kondensators anderer Geometrie und vergleichen sie mit einem recherchierten Wert.**

Voraussetzung: AB3 „Experimentelles Arbeiten: Auf- und Entladung von Kondensatoren“

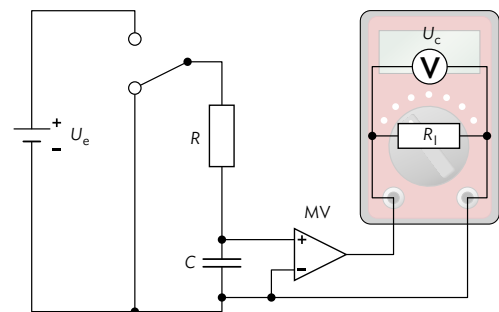
Kapazitätsmessung am Kondensator

Um die Kapazität $C = \frac{Q}{U}$ eines Kondensators direkt zu bestimmen, muss die Ladung Q abhängig von der angelegten Spannung U_e gemessen werden. Empfindliche Ladungsmessgeräte stehen für Schülerversuche meist nicht zur Verfügung, allerdings kann die Ladung über den zeitlichen Verlauf der Stromstärke beim Entladen eines Kondensators bestimmt werden (vgl. AB3 „Experimentelles Arbeiten: Auf- und Entladung von Kondensatoren“).

! Kondensatoren sollen immer über einen Widerstand kontrolliert entladen und dürfen nicht kurzgeschlossen werden. Vor allem Kondensatoren mit größerer Kapazität können sonst überhitzen und explodieren. Bauartbedingt muss bei einigen Kondensatoren (z. B. Elektrolytkondensatoren) auf korrekte Polung geachtet werden. Kondensatoren mit größerer Kapazität sollten mit einer aktivierten Entladevorrichtung gelagert werden (vgl. Handreichung „Sicher experimentieren“ S. 23), da sie sich durch auftretenden Memory-Effekt selbst laden könnten.

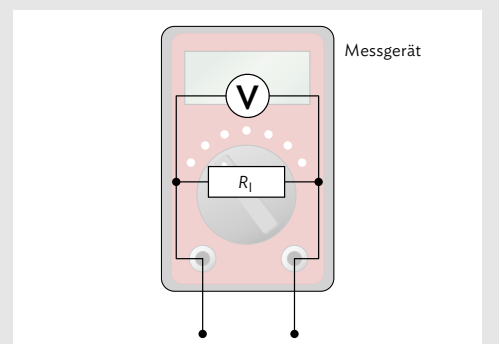
Verwenden Sie den Versuchsaufbau wie in AB3 „Experimentelles Arbeiten: Auf- und Entladung von Kondensatoren“. Bei der Untersuchung eines Plattenkondensators mit unterschiedlichen Dielektrika ist aufgrund der geringen Kapazität ein großer Widerstand sinnvoll, daher muss auch ein Messverstärker verwendet werden.

Die Größenordnung der zu messenden Kapazität liegt bei etwa 1 nF, somit muss für eine Zeitkonstante $\tau = RC$ von ca. 1 s ein Messwiderstand von bis zu 1 G Ω gewählt werden. Bei so großen Widerständen kann selbst der Eingangswiderstand des Messverstärkers einen merklichen Einfluss auf die Messgenauigkeit haben (vgl. Infokasten).



B1 Experimenteller Aufbau zur Untersuchung eines RC-Glieds, inklusive Messverstärker.

i Ideale Spannungsmessgeräte haben einen unendlich hohen Widerstand und beeinflussen somit den untersuchten Stromkreis nicht. In der Realität hingegen besitzen Messgeräte einen endlichen Innenwiderstand R_i , das reale Messgerät kann also durch eine Parallelschaltung aus Innenwiderstand und einem idealen Messgerät dargestellt werden, vgl. B2. Dieser Widerstand beträgt bei elektronischen Messwerterfassungssystemen typischerweise einige M Ω und ist im untersuchten Stromkreis stets mit zu berücksichtigen. Die Auswirkungen von R_i können nur dann vernachlässigt werden, falls im Stromkreis lediglich wesentlich kleinere Widerstände enthalten sind.



B2 Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts.

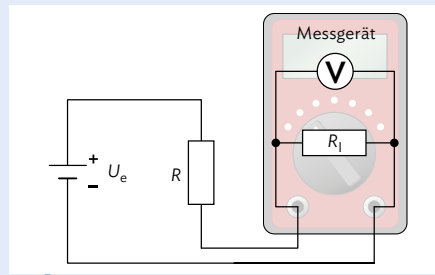
Arbeitsauftrag

1 | Bearbeiten Sie zur Vorbereitung des Experiments den folgenden Arbeitsauftrag.

a) Untersuchen Sie den Eingangswiderstand R_I Ihres Messgeräts mit Messverstärker. In der Abbildung bilden R und R_I einen Spannungsteiler. Wählen Sie R so, dass die gemessene Spannung zwischen 10 % und 90 % von U_e liegt und bestimmen Sie daraus R_I . Weitere Informationen dazu finden Sie im Infokasten von AB3 „Experimentelles Arbeiten: Auf- und Entladung von Kondensatoren“.

b) Wählen Sie für die weiteren Messungen R so, dass die systematische Messunsicherheit durch den Eingangswiderstand R_I des Messgeräts nicht größer als 1 % ist.

Erläutern Sie, inwiefern sich der Eingangswiderstand R_I des Messverstärkers auf den Entladevorgang des Kondensators im RC-Glied auswirkt. Gehen Sie dabei insbesondere auf die Zeitkonstante τ ein.

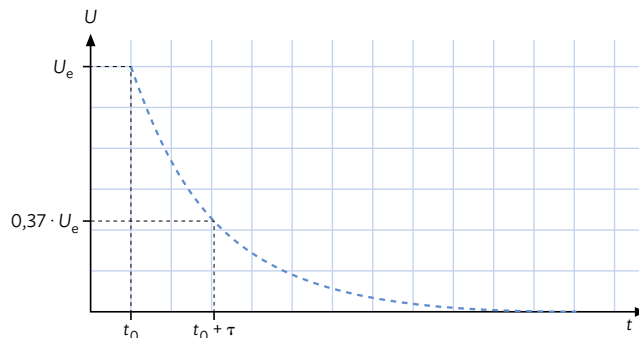


B3 | Schaltskizze zur Bestimmung von R_I .

Beispielmessung

Grundlagen

Beim Entladen eines Kondensators fällt die anfängliche Spannung $U_e = 9,0\text{V}$ exponentiell ab gemäß $U(t) = U_e \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ mit der Zeitkonstante $\tau = RC$ (näheres dazu finden Sie in AB2 „Auf- und Entladevorgang bei einem RC-Glied“). Nach einer Zeitkonstante ist die Spannung auf nur noch etwa 37 % ($\approx \frac{1}{e}$) der ursprünglichen Spannung U_e abgefallen (vgl. B4).



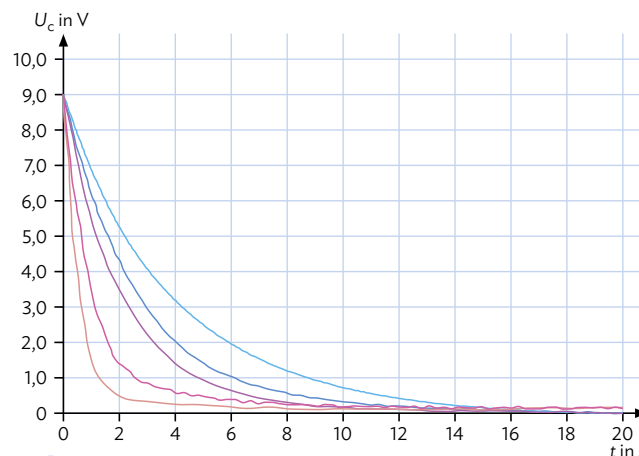
B4 | t-U-Diagramm mit Zeitkonstante.

Durchführung

Ein Plattenkondensator mit der Plattenfläche $A = 400\text{cm}^2$ und Plattenabstand $d = 1,0\text{mm}$ wird über einen Widerstand $R = 1,0\text{G}\Omega$ entladen. Aus dem Graphen kann $\tau = 0,26\text{s}$ abgelesen werden und somit ergibt sich für die Kapazität

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{0,26\text{s}}{1,0\text{G}\Omega} = 0,26\text{nF}.$$

Die relative Unsicherheit des Widerstandes $\frac{\Delta R}{R} = 10\%$ dominiert die Messunsicherheit gegenüber den gemeinsamen Unsicherheiten der Spannungsmessung und der Zeitmessung, die vernachlässigt werden können. Systematische Messabweichungen durch Influenz oder Einkopplung anderer Signale wie das „50-Hz-Brummen“ nicht abgeschirmter Elektroleitungen können die Messung allerdings erheblich beeinflussen. Bei genügend langer Zeitkonstante τ kann die Spannungsmessung über 2 ms gemittelt werden, wodurch der Einfluss von 50-Hz-Signalen minimiert werden kann. Werden diese systematischen Einflüsse sowie die im Vergleich zum Widerstand geringen Messunsicherheiten der Spannung und der Zeitmessung vernachlässigt, kann also insgesamt die relative Messunsicherheit der Kapazität mit ca. 10 % abgeschätzt werden. Somit liegt der gemessene Wert der Kapazität bei $C = 0,26\text{nF} \pm 0,03\text{nF}$.



B5 | t-U-Diagramm einer realen Messung.

5 Experimentelles Arbeiten: Kapazitätsmessungen

Arbeitsauftrag

- 2 | Planen Sie ein Experiment zur Überprüfung der Formel der Kapazität eines Plattenkondensators $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$ für einen luftgefüllten Kondensator. Verwenden Sie für das RC-Glied und die Spannungsmessung möglichst kurze Kabel (vgl. Aufgabe 5).
- Fertigen Sie eine Skizze des Versuchsaufbaus an. Messen Sie die Plattenfläche A sowie den Plattenabstand d und schätzen Sie die jeweilige Messunsicherheit ab.
 - Berechnen Sie aus diesen Daten die Kapazität unter Berücksichtigung der Messunsicherheit. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Kapazität, die der Hersteller für den Kondensator angibt.
 - Entladen Sie den Kondensator über einen Widerstand und bestimmen Sie bei diesem Vorgang die Zeitkonstante des Kondensators. Berücksichtigen Sie auch hier die Messunsicherheit. Berechnen Sie daraus wieder die Kapazität des Kondensators.
 - Vergleichen Sie die beiden Methoden und beurteilen Sie die Verlässlichkeit der experimentellen Bestimmung. Identifizieren Sie dabei weitere Störfaktoren, welche die Messung beeinflussen können.
- 3 | Die Kapazität eines Plattenkondensators soll nun statt für einen luftgefüllten Kondensator für verschiedene Dielektrika untersucht werden.
- Füllen Sie einen Kondensator nacheinander mit verschiedenen Dielektrika (z. B. Glas oder PVC) und bestimmen Sie jeweils die Kapazität des Kondensators. Nutzen Sie dafür auch Ihre Erkenntnisse aus Aufgabe 2c.
 - Bestimmen Sie mit den Ergebnissen aus a) die Dielektrizitätskonstanten der verwendeten Materialien, indem Sie die in Aufgabe 2 angegebene Formel verwenden. Vergleichen Sie die ermittelten Dielektrizitätskonstanten mit Werten aus der Literatur (vgl. Tabelle in AB4 „Materie im elektrischen Feld“). Finden Sie mögliche Ursachen für eventuelle Abweichungen.
 - An verunreinigten Kontaktflächen zwischen den Dielektrika und den Metallplatten können schwache Kriechströme auftreten. Begründen Sie, dass dadurch die gemessenen Werte für ϵ_r systematisch zu niedrig gemessen werden.
- 4 | Neben den schon untersuchten Plattenkondensatoren gibt es noch weitere Arten von Kondensatoren in unterschiedlichen Ausführungen.
- Bauen Sie mithilfe von Alltagsgegenständen selbst einen Kondensator. Sie können dafür Materialien wie Kartons oder Aluminiumfolie verwenden. Bestimmen Sie dann die Kapazität Ihres Kondensators.
 - Messen Sie die Kapazität eines Koaxialkabels. Recherchieren Sie typische Werte für die Kapazität pro Meter und vergleichen Sie diese mit Ihren Ergebnissen.
 - Recherchieren Sie den Aufbau einer „Leidener Flasche“ und bauen Sie eine solche selbst auf. Bestimmen Sie die Kapazität Ihrer Leidener Flasche.
 - Bereiten Sie ein Kurzreferat über die Funktionsweise der Leidener Flasche sowie über historische Experimente damit vor.
- 5 | Bei Experimenten stellt sich heraus, dass nicht nur die verwendeten Kondensatoren eine Kapazität besitzen, sondern auch andere im Experiment verwendete Bauteile, bei denen das auf den ersten Blick vielleicht nicht ersichtlich ist.
- Identifizieren Sie mögliche Störeinflüsse, welche die Messung der Kapazität beeinträchtigen können. Berühren Sie dazu Messleitungen mit dem Finger, bewegen Sie elektrostatisch geladene Gegenstände in der Nähe der Messung etc. Beschreiben Sie mögliche Maßnahmen, um die Messung besser gegen diese Einflüsse abzuschirmen.
 - Entfernen Sie den Kondensator aus dem RC-Glied, die Zuleitungen zum Kondensator bleiben unverändert, der Stromkreis bleibt an dieser Stelle unterbrochen. Wiederholen Sie die Messung aus Aufgabe 2c und schätzen Sie die Kapazität des restlichen experimentellen Aufbaus ab. Variieren Sie auch die Länge der Anschlusskabel des Kondensators sowie deren gegenseitigen Abstand. Beschreiben und begründen Sie den Einfluss auf die Messung.