

## *Kondensatorentladung (E6) NF*

### *Ziel des Versuches*

In vielen Bereichen der elektrischen Messtechnik dient die Änderung der Kapazität von Kondensatoren als Messgröße für verschiedene Parametern. So basieren Luftfeuchte-, PH-Wert- und Füllstandsmesser auf der Änderung der Kapazität von Kondensatoren. Das Messprinzip ist bedingt durch die Veränderung der Dielektrizitätskonstante zwischen den Platten eines Kondensators herbeigeführt von den Umgebungsparametern. Aber auch Alltagsgeräte wie ein Touchscreen registriert die Berührung durch eine Änderung der Kapazität in Segmenten des Bildschirms.

In diesem Versuch werden Sie die physikalischen Eigenschaften von Kondensatoren untersuchen. Dazu gehört die Messung des zeitlichen Verlaufs der Entladung von Kondensatoren woraus die Kapazität unterschiedlicher Plattenkondensatoren bestimmt und der Einfluss verschiedener Dielektrika ermittelt werden kann. Zusätzlich wird die Änderung der Kondensatorentladung in Abhängigkeit der verwendeten Widerstände auch für kommerzielle Kondensatoren untersucht.

### *Theoretischer Hintergrund*

Die Entladung und Aufladung eines Kondensators sind typische Beispiele für einen physikalischen Relaxationsvorgang, bei dem die Endwerte durch zeitlich exponentielle Annäherung erreicht werden. Zur Untersuchung dieser Vorgänge kann die in Abb. 1 dargestellte Schaltung verwendet werden. Diese Schaltung enthält drei Leitermaschen (Stichwort: kirchhoffsche Regeln). Die links dargestellte Masche enthält die Spannungsquelle  $U_0$ , einen Taster und den Kondensator  $C$ . Wird der Taster geschlossen, so lädt sich der Kondensator  $C$  bis zu einer maximalen Spannung auf. Die Kondensatorspannung kann mit Hilfe eines Elektrometerverstärkers, der auf einen Eingang des CASSY-Interface gesteckt wird, registriert werden. Der Elektrometerversärfker ist ein Impedanzwandler (Verstärkung = 1) mit einem sehr hohen Eingangswiderstand von etwa  $10^{13} \Omega$  und wird schaltungstechnisch mittels eines Operationsverstärkers (siehe Versuch E20) realisiert. Auf Grund dieses hohen Eingangswiderstands<sup>1</sup> fließen in der rechten Masche praktisch keine Ströme, sodass diese in der Betrachtung außer Acht gelassen werden können. Die Eingangskapazität der Elektrometerbox und die Kabelkapazität werden im Schaltbild durch den Kondensator  $C_A$  berücksichtigt.

Zunächst soll die maximale Spannung  $U_{C_{\max}}$  nach dem Aufladen berechnet werden. Nach Aufladung fließt durch den Kondensator kein Strom mehr,

<sup>1</sup> Warum ist dieser hohe Eingangswiderstand für die Messung wichtig?

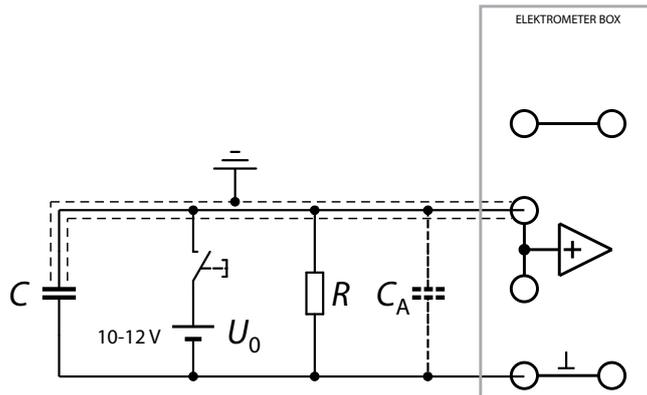


Abbildung 1: Schaltung zur Untersuchung des Entladungsvorgangs.

sodass der Strom vollständig durch  $R$  fließen muss. Für die Spannungen ergibt sich  $U_R = U_{C_{\max}} = U_0$ .

Wird der Taster nach abgeschlossener Aufladung geöffnet, so kann sich der Kondensator über den Widerstand  $R$  entladen. In dieser Konstellation fließen in der nun aus Kondensator  $C$  und Widerstand  $R$  bestehenden Masche Ströme, was die Berechnung der Spannungsverläufe erleichtert. Nach der kirchhoffschen Maschenregel und unter Berücksichtigung des ohmschen Gesetzes ergibt sich:

$$-U_C(t) = U_R(t) = RI(t) = R\dot{Q} = RC\dot{U}_C \quad (1)$$

Daraus folgt für  $U_C(t)$  eine Differentialgleichung erster Ordnung:

$$U_C(t) + RC\dot{U}_C = 0 \quad (2)$$

Setzt man den Zeitpunkt des Beginns des Entladevorgangs  $t = 0$ , so erhält man die Lösung:

$$U_C(t) = U_{C_0} \cdot e^{-t/\tau} \quad \text{mit} \quad \tau = RC \quad (3)$$

$U_{C_0}$  ist eine Integrationskonstante. Diese entspricht der Spannung nach Aufladen des Kondensators, also gilt  $U_{C_0} = U_{C_{\max}}$ . Die Größe  $\tau = RC$  hat die Dimension einer Zeit und wird als Zeitkonstante des  $RC$ -Glieds bezeichnet.<sup>2</sup> Das zeitliche Verhalten von Strom und Spannung nach Ein- und Ausschalten, z. B. eines Stroms, bis zu dem Zeitpunkt, an dem sich stationäre Verhältnisse eingestellt haben, nennt man auch Ausgleichsvorgänge.

<sup>2</sup> Die Zeitkonstante ergibt sich auch aus der Halbwertszeit  $t_H$  zu:  $\tau = t_H/0,69$ .

### Versuchsaufbau und -durchführung

Der zeitliche Verlauf der Kondensatorentladungen wird mit dem CASSY-Interface und PC aufgenommen. Auf einem Eingang des CASSY-Interface ist der Elektrometerverstärker (Elektrometerbox) aufgesteckt.<sup>3</sup> Der Kondensator wird bei gedrückten Taster über die Spannungsquelle aufgeladen. Nach Loslassen des Tasters beginnt die Entladung, die mit CASSY aufzuzeichnen ist. Bei der Einstellung der Messparameter ist ein Triggerniveau von 6-8 V einzustellen. Dadurch beginnt CASSY mit der Messung, wenn die Kondensatorspannung auf die Triggerspannung abgefallen ist. Somit können nahezu der volle Messbereich der Elektrometerbox ausgenutzt werden als auch

<sup>3</sup> Messbereich bis 8 V

mögliche Störsignale, hervorgerufen durch Prellen des Tasters, unterdrückt werden.<sup>4</sup>

Bauen Sie die Schaltung auf und führen Sie eine Kontrollmessung des zeitlichen Abklingverhaltens der Spannung an einem konventionellen Kondensator durch. Zur Kontrolle berechnen Sie die Kapazität des Kondensators aus dem Abklingverhalten. Dazu müssen sie die Eigenkapazität des Aufbaus kennen. Um diesen Wert zu ermitteln führen Sie eine Messung ohne Kondensator durch. So erhalten Sie die Eingangskapazität der Elektrometerbox und die Kapazität der Leitungen, die Sie bei der Auswertung der Messungen mit den Plattenkondensatoren und den industriell hergestellten Kondensatoren berücksichtigen müssen. Danach können aus den gemessenen Zeitkonstanten  $\tau$  unbekannte Kapazitäten bestimmt werden. Dazu werden Plattenkondensatoren unterschiedlicher Größe verwendet, bei denen zusätzlich der Plattenabstand  $d$  durch isolierende Abstandshalter eingestellt werden kann, die zwischen die beiden Platten gelegt werden. Der zeitliche Verlauf der Entladung soll bei unterschiedlichen Plattengrößen und verschiedenen Abständen  $d$  aufgenommen werden. Außerdem sollen für die Plattenkondensatoren unterschiedliche Dielektrika eingesetzt werden.

Da hierbei neben den Kapazitäten der Leitungen und der Elektrometerbox auch die Platten zur Eigenkapazität der Messanordnung beitragen, muss für jede Plattengröße die Zeitkonstante der Apparatefunktion erneut bestimmt werden. Die Messung erfolgt indem die Kondensatorplatten mitsamt der Kabel voneinander getrennt auf den Tisch gelegt werden.

Die Kapazität eines Plattenkondensators ist nach der Theorie gegeben durch:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{F}{d} \quad . \quad (4)$$

Dabei ist  $F$  die Fläche der Kondensatorplatten, die durch Ausmessen ermittelt werden kann.  $\varepsilon_0$  ist die Vakuum-Dielektrizitätskonstante und  $\varepsilon_r$  die Dielektrizitätskonstante des zwischen den Kondensatorplatten befindlichen Dielektrikums.<sup>5</sup> Gl. (4) soll durch obige Messungen verifiziert werden.

<sup>4</sup> Der Pluspol ist über den Taster an die obere Kondensatorplatte anzuschließen. Verbinden Sie die Mäntel der abgeschirmten Leitungen mit der Erdungsbuchse des Spannungsversorgungsgerätes.

<sup>5</sup> Für Luft ist  $\varepsilon_r \approx 1$

## Aufgabenstellung

### 1. Vorbereitende Messung:

- (a) Bauen Sie die Schaltung mit einem kommerziellen Kondensator mit einer Kapazität von 1 nF und einem Widerstand von 4,7 M $\Omega$  auf und messen Sie das zeitliche Abklingverhalten.
- (b) Messen Sie Eingangskapazität der Elektrometerbox und der Leitungskapazitäten durch eine Messung der Zeitkonstante ohne Kondensator für den verwendeten Entladewiderstände  $R$  (Apparatefunktion).
- (c) Bestimmen Sie die Zeitkonstanten  $\tau$  für den Entladevorgang des Kondensators und überprüfen Sie mit der Beziehung  $\tau = RC$  die Kapazität des verwendeten Kondensators. Dazu tragen Sie  $U_C$  halblogarithmisch gegen die Zeit  $t$  auf (Korrektur mit der Apparatefunktion nicht vergessen) oder passen Sie die korrigierte Kurve mit einer Exponentialfunktion an.

### 2. Messung der Plattenkondensatoren:

- (a) Bestimmen Sie die Kapazitäten unterschiedlich großer Plattenkondensatoren. Dazu müssen Sie zuerst für jede verwendete Plattengröße die Eigenkapazität der Messanordnung bei voneinander getrennten aber verkabelten Kondensatorplatten messen. Messen Sie  $U_C$  als Funktion der Zeit.
- (b) Ermitteln Sie  $U_C(t)$  für eine Plattengröße bei fünf unterschiedlichen Plattenabständen  $d$ .

Berechnen Sie aus den Messwerten jeweils die Kapazitäten. Somit können Sie die Gültigkeit von Gl. (4) zeigen und die Vakuum-Dielektrizitätskonstante  $\varepsilon_0$  ermitteln.

- (c) Für eine Plattengröße  $F$  und einen Abstand  $d$  messen Sie den zeitlichen Verlauf von  $U_C$  für fünf Entladewiderstände im  $M\Omega$  Bereich und überprüfen die Gültigkeit der Beziehung  $\tau = RC$ .
3. Bestimmen Sie die Dielektrizitätskonstanten  $\varepsilon_r$  zweier unterschiedlicher Materialien, die zwischen die Kondensatorplatten gebracht werden, indem Sie jeweils die Kapazität  $C$  ermitteln und  $\varepsilon_r$  aus Gl. (4) berechnen. Wählen Sie die Abstände zwischen den Platten und die Dicken der Materialien so, dass die Messparameter vergleichbar sind und Sie die Änderungen diskutieren können.