

30. Füllstandsanzeige: kapazitiv

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungs- niveau	Durchführungs- niveau	Vorlauf Vorbereitung Durchführung
SII	Elektrik	Wechselstrom kapazitiver Widerstand Dielektrikum	● ●	■ ■	- ca. 15 min. ca. 20 min.

Die technische Nutzung der Kapazitätsänderung in Abhängigkeit von der Größe des dielektrischen Mediums zwischen den Kondensatorplatten wird am Modell der kapazitiven Füllstandsanzeige demonstriert.

Materialien

- 2 Spulen mit Eisenkern
(z. B. 200 Wdg und 6000 Wdg)
- Kabel
- Amperemeter 100 μA ~
- Sinusgenerator
(evtl. mit int. Leistungsverstärker)
- Kondensator
(z. B. 200 mm x 200 mm Plattenfläche)
- Stativmaterial
- Wasser als Dielektrikum
- Flüssigkeitsbehälter (Dicke ca. 5-10 cm)

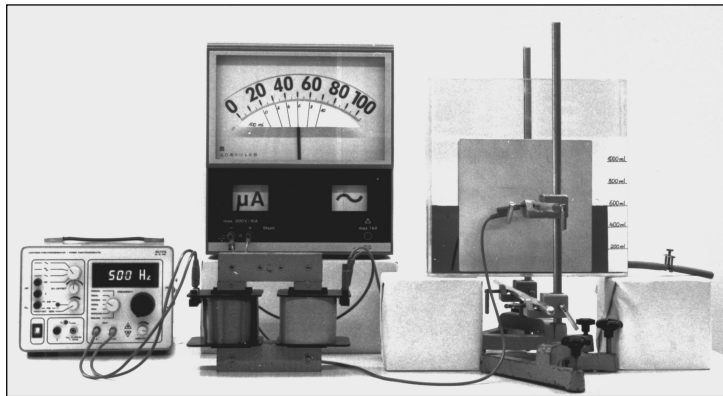


Abb. 1: Versuchsaufbau

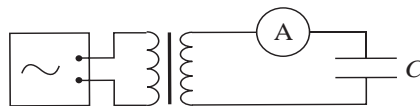


Abb. 2: Schaltskizze

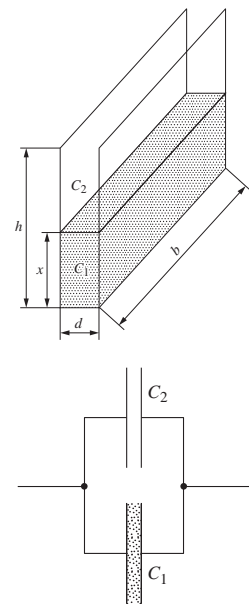


Abb. 3: Geometrie (oben) und Ersatzschaltbild (unten) für C_1 und C_2

Vorbereitung

Der Versuch wird wie in Abb. 1 und 2 dargestellt aufgebaut. Der verwendete Transformator, bestehend aus den beiden Spulen mit Eisenkern, dient dabei zur Erhöhung der Spannung des Sinusgenerators, um einen deutlich meßbaren Strom zu erhalten. Der Flüssigkeitsbehälter wird durch das Unterlegen von Klötzen so zwischen den Kondensatorplatten positioniert, daß sich der Boden des Behälters auf Höhe der Unterkante der Kondensatorplatten befindet. Dadurch wird eine exakte und kontinuierliche Messung des Füllstands ermöglicht.

Durchführung/Ergebnis

Zunächst wird durch Variation von Frequenz und Spannung eine Einstellung ermittelt, die es erlaubt, über die gesamte Füllhöhe den gleichen Meßbereich des Amperemeters zu verwenden. Dies wurde im vorliegenden Versuch für eine Frequenz von ca. 500 Hz und eine Sekundärspannung von ca. 50 V erreicht. Als Meßbereich für die Stromstärke erhielt man 0-100 μA . Anschließend wird die Füllstandsanzeige geeicht, indem man - beginnend mit leerem Gefäß - jeweils eine konstante Wassermenge (z. B. 100 ml oder 200 ml) in den Behälter gießt und die zugehörige Stromstärke notiert. Im Anschluß daran läßt sich zusätzlich zur Stromstärkeskala eine Volumenskala am Meßgerät anbringen, auf der die durch die Eichung erhaltenen Werte aufgetragen sind. So kann man sowohl die Stromstärke als auch das Volumen ablesen und dadurch einerseits das physikalische Phänomen der Kapazitätsänderung und andererseits die technische Anwendung in Form der Füllstandsmessung demonstrieren.

Funktionsweise

Für einen Plattenkondensator, dessen Zwischenraum teilweise mit einem Dielektrikum gefüllt ist, bestimmt sich die Gesamtkapazität C aus der Summe der beiden Teilkapazitäten C_1 (Kondensatorabschnitt mit Dielektrikum) und C_2 (Kondensatorabschnitt ohne Dielektrikum). Für einen Plattenkondensator mit Plattenabstand d , Plattenbreite b , Plattenhöhe h und Füllhöhe x erhält man somit für die Teilkapazitäten:

$$C_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_{r, \text{Medium}} \frac{b \cdot x}{d}; \quad C_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_{r, \text{Luft}} \frac{b(h-x)}{d}$$

Da $\varepsilon_{r, \text{Luft}} \approx 1$ ist, ergibt sich die Gesamtkapazität des Kondensators zu:

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d} + \varepsilon_0 (\varepsilon_{r, \text{Medium}} - 1) \frac{b}{d} \cdot x,$$

also: $C = C_0 + C(x)$.

Die Gesamtkapazität $C = C_0 + C(x)$ ist eine lineare Funktion der Füllhöhe x . Bei leerem Behälter ($x = 0$) gilt $C(0) = 0$ und damit ergibt sich die Kapazität zu $C = C_0$.

Mit Hilfe des Diagramms (Abb. 4) läßt sich diese Kapazität C_0 aus dem y-Achsenabschnitt der Eichgeraden bestimmen. Da R_Ω und R_L vernachlässigbar klein sind gegenüber R_C , läßt sich diese

Kapazität rechnerisch wie folgt bestimmen: $C_0 = \frac{1}{\omega \cdot U_{\text{eff}}} \cdot I_0$

Der lineare Zusammenhang entsteht in diesem speziellen Fall durch die Geometrie von Kondensator und Flüssigkeitsbehälter.

Variante

Durch die Verwendung verschiedener Füllmaterialien kann die Abhängigkeit der Kapazität vom dielektrischen Medium dargestellt werden.

Um den Schülern und Schülerinnen zu demonstrieren, daß nicht immer ein linearer Zusammenhang zwischen Stromstärke und Füllhöhe besteht, sollte der Versuch auch mit anderen Kondensator- und Gefäßformen durchgeführt werden.

Methodischer Einsatz

Der Versuch demonstriert anschaulich die Abhängigkeit des kapazitiven Widerstands von der Größe des dielektrischen Mediums. Aufgrund der benötigten Materialien ist der Versuch lediglich als Demonstrationsexperiment einsetzbar.

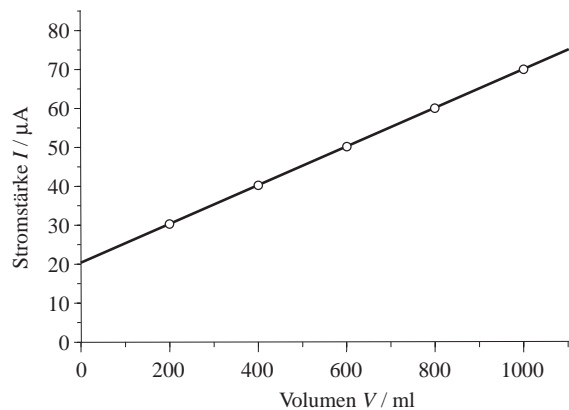


Abb. 4: Stromstärke als Funktion des Volumens