

27. Kondensator

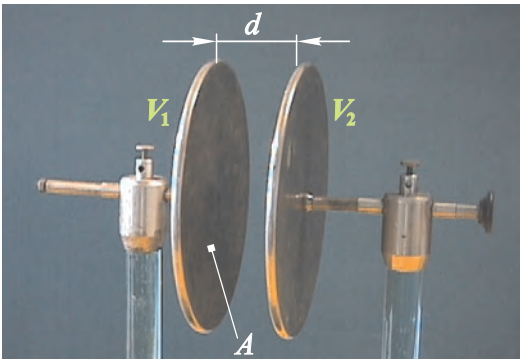
Reicht das Umgebungslicht zum Fotografieren nicht aus, kommt ein Blitzlichtgerät zum Einsatz. Dabei wird in mehreren Sekunden die Energie aus einer Batterie gespeichert und schlagartig in einigen μs an die Blitzröhre abgegeben. Der verwendete Energiespeicher ist ein Kondensator. Seine Eigenschaften sind Thema in diesem Kapitel.



27.1 Blitzgerät

27.1 Plattenkondensator

Beim Plattenkondensator stehen einander zwei ebene leitende Platten mit dem Flächeninhalt A parallel in einem Abstand d gegenüber.



27.2 Plattenkondensator

Die Platten haben die Potentiale V_1 und V_2 , sodass zwischen ihnen die Spannung $U = V_1 - V_2$ herrscht. Abgesehen von einem geringfügigen Streufeld am Rand wird sich zwischen den Platten ein homogenes Feld mit der Feldstärke $E = \frac{U}{d}$ ausbilden. ► 25.1

Die Ladung ist $Q = \epsilon \frac{A}{d} U$, wobei eine Platte die Ladung $+Q$, die andere $-Q$ aufweist. Da zwischen den beiden geladenen Platten eine Anziehungskraft besteht, kann das System Arbeit verrichten: es enthält Energie.

Kapazität¹

Die Kapazität ist das Verhältnis zwischen der Ladung Q zweier Leiter und der zwischen ihnen bestehenden Spannung:

Kapazität C

$$C = \frac{Q}{U} \quad \text{Kapazität} = \frac{\text{Ladung}}{\text{Spannung}}$$

$$[C] = \text{Farad} = F = \text{As/V}$$

Durch die Umformung $Q = C \cdot U$ und gleichzeitige Bezugnahme auf einen Kondensator wird der Begriff anschaulicher: Die auf einem Kondensator sitzende Ladung ist der Spannung und einer Größe C proportional, die gewissermaßen seine „Speicherfähigkeit“ beschreibt.

Die Kapazität des Plattenkondensators ergibt sich aus: $Q = \epsilon \frac{A}{d} \cdot U = C \cdot U$

$$\text{Kapazität des Plattenkondensators: } C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Die Kapazität zwischen zwei Leitern ist von der Geometrie (A , d) und dem Material (ϵ) zwischen den Leitern abhängig. Deshalb haben je zwei Leiter immer eine Kapazität gegeneinander.

BEISPIELE

- 1 Zwischen zwei kreisförmigen Platten (Durchmesser 25 cm, Abstand 1 mm) befindet sich Glimmer ($\epsilon_r = 7,3$). Die Kapazität beträgt:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{A}{d} = 3,17 \text{ nF}$$

- 2 Welche Plattengröße wäre bei Verwendung eines Dielektrikums der Dicke 0,07 mm mit $\epsilon_r = 5$ erforderlich, um eine Kapazität von $C = 1 \text{ F}$ zu erreichen?

$$A = d C \epsilon_0 \epsilon_r = 1,58 \text{ km}^2$$

Die Einheit Farad ist so groß, dass Kapazitäten dieser Größenordnung praktisch nicht vorkommen!

¹ capacitas (lat.) Aufnahmefähigkeit

Gespeicherte Energie

Kondensatoren sind Speicher elektrischer Feldenergie. In einem auf eine Spannung U aufgeladenen elektrischen Kondensator C beträgt die gespeicherte Energie:

Elektrische Energie: $E_{el} = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2}$

Die Energie von Kondensatoren wird zum Beispiel beim Blitzlicht verwendet. Der Kondensator wird langsam aufgeladen, dann wird die Energie in kurzer Zeit an die Lampe abgegeben.²

BEISPIEL

Mit Kondensatoren sollten 80 Ws bei einer Spannung von 500 V gespeichert werden. Die erforderliche Kapazität und Ladung betragen:

$$C = \frac{2W}{U^2} = 640 \mu\text{F}$$

$$Q = C \cdot U = 0,32 \text{ C}$$

27.2 Einfluss von Materie

Die technische Bedeutung des Dielektrikums im Kondensator beruht sowohl auf dem Einfluss auf die Kapazität C als auch auf der isolierenden Wirkung. Ein Kondensator mit Dielektrikum hat gegenüber der gleichen Anordnung im Vakuum (Luft) die ϵ_r -fache Kapazität.

Wegen $Q = C \cdot U$ bedeutet dies, dass man beim Aufüllen eines Kondensators mit einem Dielektrikum zwei Fälle unterscheiden kann:

- Wenn Q nicht geändert wird, sinkt die Spannung U und damit auch die Feldstärke $E = U \cdot d$ zwischen den Platten auf den $1/\epsilon_r$ -ten Teil ab.
- Der Kondensator muss weitere Ladung bis zum Gesamtbetrag $\epsilon_r \cdot Q$ aufnehmen, wenn die Spannung konstant gehalten wird. Hier bleibt die Feldstärke E unverändert.

² Oft werden mechanische Modelle herangezogen, weil man sich elektrische Vorgänge dann leichter vorstellen kann. So kann der geladene Kondensator mit einer gespannten Feder verglichen werden. ▶ [14.3](#)

BEISPIEL

Ein Plattenkondensator (Plattenabstand 2 cm) ist in Luft auf 300 V aufgeladen. Der Zwischenraum der Platten wird mit Petroleum aufgefüllt. Wie groß ist nun die elektrische Spannung und die Feldstärke zwischen den Platten?

$$U_{\text{Pet}} = \frac{U_{\text{Luft}}}{\epsilon_r} = \frac{300 \text{ V}}{2,1} = 143 \text{ V}$$

$$E_{\text{Pet}} = \frac{U_{\text{Luft}}}{d \cdot \epsilon_r} = \frac{300 \text{ V}}{0,02 \text{ cm} \cdot 2,1} = 7143 \text{ V/m}$$

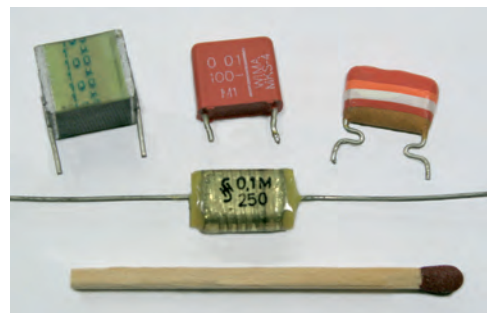
Nach Füllen mit Petroleum sinkt die Spannung auf 143 V und die Feldstärke auf 7143 V/m. Nach Entfernen des Petroleum steigt die Spannung wieder auf 300 V.

27.3 Kondensatorbauformen

Die Eigenschaft des Kondensators, elektrische Energie zu speichern, führt zu einer Vielzahl von Anwendungen. Für diese Anwendungen wurden spezielle Bauformen entwickelt, von denen nun die wichtigsten vorgestellt werden.

Folienkondensatoren

Relativ hohe Kapazitäten erzielt man nur mit großer Plattenfläche und kleinem Plattenabstand. Um Platz zu sparen werden diese Forderungen verwirklicht, indem man als Platten lange Streifen dünner Metallfolien verwendet, als Dielektrikum ebenfalls lange Streifen eines Isolators (z. B. Styroflex, Parafinpapier) und diese aufwickelt.



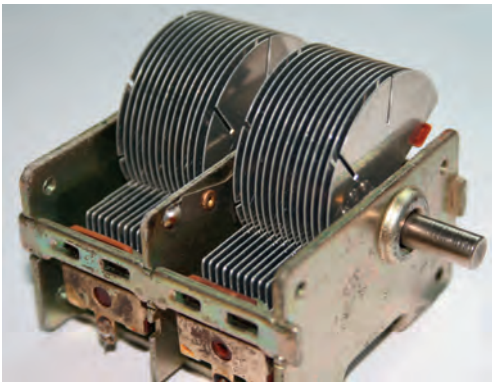
27.3 Folienkondensatoren – Bauformen

Bei einem elektrischen Durchschlag verdampft das Metall an dieser Stelle, sodass man von Selbstthei-

lung spricht. Die Rolle kann in einem Blechbehälter („Becher“) untergebracht werden und wird mit Isoliermasse vergossen.

Drehkondensatoren

Sie bestehen aus zwei Plattengruppen, die gegeneinander verdrehbar angeordnet sind, sodass sie, je nach Stellung, mehr oder weniger tief ineinandergreifen. Mit den einander gegenüberstehenden Flächen ändert sich auch die Kapazität.



27.4 Drehkondensator

Elektrolytkondensatoren

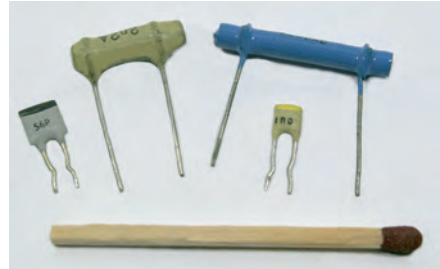
Sie kommen mit relativ kleinen Aluminiumelektroden aus, wobei als Dielektrikum auf elektrochemischem Weg (► 75.3) eine sehr dünne Schicht (10^{-7} m!) von $Al(OH)_3$ erzeugt wird. Falsche Polung zerstört diese Schicht. Große Kapazitäten sind (bis 0,1 F) möglich. Die zulässigen Spannungen sind sehr begrenzt.



27.5 Elektrolytkondensatoren – Bauformen

Keramische Kondensatoren

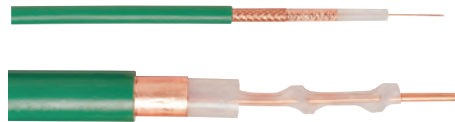
Leitende Schichten sind als Elektroden beiderseits auf ein Keramikplättchen aufgebracht. Diese Bauform ist für hohe Spannungen geeignet.



27.6 Keramische Kondensatoren – Bauformen

Paralleldrahtleitungen und Koaxialkabel

Auch hier besteht eine Kapazität der einzelnen Leiter gegeneinander. Relevant dabei ist die Kapazität pro Laufmeter Leitungslänge. ► 75.3



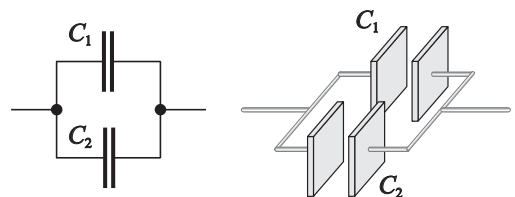
27.7 Koaxialkabel

27.4 Schaltung von Kondensatoren

Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten, elektrische Bauelemente mit zwei Anschlüssen, wie sie Kondensatoren darstellen, leitend miteinander zu verbinden (und natürlich beliebige Kombinationen davon).

Parallelschaltung

Die Kondensatoren sind „nebeneinander“ geschaltet:



27.8 Parallelschaltung

Bei der Parallelschaltung bewirkt die leitende Verbindung gleiche Potentialdifferenz U an allen Kondensatoren. Wir erhalten die Gesamtkapazität C_g aus

$$Q = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U = (C_1 + C_2) U = C_g \cdot U$$

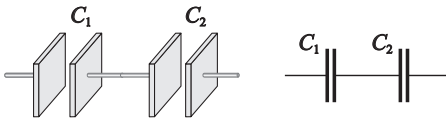
also:

$$C_g = C_1 + C_2$$

Parallelschaltung von Kondensatoren

Serienschaltung

Die Schaltung der Kondensatoren erfolgt „hintereinander“:



27.9 Serienschaltung

Bei der Berechnung der Serienschaltung geht man davon aus, dass auf beiden Platten eines Kondensators praktisch gleich viel Ladung sitzt. Daher ist Q (bis auf das Vorzeichen) überall gleich und

$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \cdot Q = \frac{1}{C_g} \cdot Q$$

also:

$$C_g = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Serienschaltung von Kondensatoren

BEISPIELE

- 1 Wie kann man eine Kapazität $C_1 = 12 \mu\text{F}$ durch Zuschalten eines zweiten Kondensators auf $10 \mu\text{F}$ ändern?

Es ist eine Serienschaltung erforderlich:

$$C_2 = \frac{1}{\frac{1}{C_g} - \frac{1}{C_1}} = 60 \mu\text{F}$$

- 2 Zwei Kondensatoren mit $2 \mu\text{F}$ und $0,1 \mu\text{F}$ werden parallel bzw. in Serie geschaltet. Wie groß ist jeweils die Gesamtkapazität?

Parallelschaltung:

$$C_g = C_1 + C_2 = 2,1 \mu\text{F}$$

Serienschaltung:

$$C_g = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 95 \text{ nF}$$

Zusammenfassung

- Die Kenngröße eines Kondensators ist seine Kapazität C . Sie gibt die Speicherfähigkeit für elektrische Energie an.
[C] = Farad = F
- Für die Ladung eines Kondensators gilt:
 $Q = C \cdot U$
- Die gespeicherte Energie eines auf die Spannung U geladenen Kondensators der Kapazität C ist: $E_{el} = \frac{C \cdot U^2}{2}$
- Für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete gibt es entsprechende Bauformen.
- Parallelschaltung: $C_g = C_1 + C_2$
- Serienschaltung: $C_g = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$

Aufgaben

1. Wie groß ist die Gesamtkapazität zweier Kondensatoren mit 180 nF und 680 nF bei Serien- bzw. Parallelschaltung?
2. Wie groß ist die Energie, die ein Kondensator von $3300 \mu\text{F}$ speichert, wenn er auf 160 V aufgeladen ist?
3. Zwischen zwei quadratischen Platten (Seitenkante 5 cm , Abstand 1 mm) befindet sich Silikon ($\epsilon_r = 2,8$). Wie groß ist die Kapazität dieser Anordnung?