

In diesem Text wird der Begriff des Kondensators, seine Kenngröße – die Kapazität – und wovon diese abhängt, beschrieben. Hierbei wird Wert auf die Anschaulichkeit gelegt und weniger auf exakte Ableitungen. Die Zusammenhänge werden auch zuvor in praktischen Demos dargestellt.

Der Begriff des Kondensators

Ein Kondensator ist ganz allgemein ein elektrisches Bauteil, das Energie speichern kann. Es speichert die Energie im Elektrischen Feld, das aufgrund der getrennten und auf den Flächen des Kondensators verteilten Ladungen entsteht. Als weitere Bezeichnung existiert auch noch der Begriff „Kapazität“. Hier ist es genau wie beim Widerstand: Dieser Begriff gilt sowohl für das Bauteil „Widerstand“ als auch für die Eigenschaft, einen Widerstandswert (mit Zahlenangabe) zu haben.

Die Kenngröße des Kondensators: Kapazität

Auch außerhalb der Physik/Elektrotechnik sagt die Angabe einer „Kapazität“, z.B. von Tanks, Speichern, Lagerräumen usw. etwas über Größe und Menge aus, die aufgenommen werden kann.

Bei Tanks z.B. lässt sich das Volumen über die Maße berechnen, genau gesagt über das Produkt aus Grundfläche mal Höhe, wenn sie rechteckig oder zylinderförmig sind.

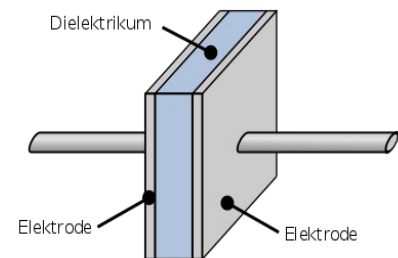
Das ist nun bei Kondensatoren nicht ganz so einfach ;-), obwohl auch dort der größere Kondensator (bei gleicher Bauform) die größere Kapazität hat. Daraus kann man nun schon mal schließen, dass mechanische Größen bei gleicher Bauform eine Rolle spielen müssen.

Welche Größen könnten dies sein?

In der Grundform, wie sie auch zu Demonstrationszwecken verwendet wird, besteht der Kondensator aus zwei Platten, die sich gegenüber stehen. Dazwischen ist Luft, die die beiden Platten trennt bzw. elektrisch gesprochen voneinander isoliert. Schließt man nun eine Spannungsquelle an, so werden auf die eine Platte Elektronen „hineingedrückt“, und die gleiche Anzahl auf der anderen Seite „abgesaugt“. Somit werden aus den vorher ungeladenen Platten geladene Objekte. Sie haben auf der einen Seite einen Überschuss an Elektronen (negativ geladen) und auf der anderen Seite einen Elektronenmangel (positiv geladen). Dieser Ladevorgang verläuft nach einer e-Funktion und ist beendet, wenn die Spannung zwischen den Platten genauso groß ist, wie die Spannung, die man an den Kondensator anlegt. Der Kondensator verhält sich sozusagen wie ein Spülkasten in der Toilette: Ist er leer, fließt am Anfang eine große Wassermenge pro Zeit in den Kasten. Je voller er wird, umso mehr reduziert der Schwimmer den Wasserstrom, bis zum Moment, in dem der maximale Wasserstand erreicht ist und der Schwimmschalter den Zustrom ganz abstellt. Zurück zur Kapazität und den Größen, von denen diese abhängt:

Ganz anschaulich kann man sich vorstellen, dass auf eine große Plattenfläche mehr Ladungen „Platz haben“. Demnach muss die Kapazität also schon einmal von der Fläche der Platten abhängen. Es gilt also: Die Kapazität ist proportional zur Fläche.

Als weitere mechanische Größe bietet sich – ganz naheliegend – der Plattenabstand an. Wie kann sich dieser auswirken?



Hier hilft ein Blick auf die beiden bekannten Formeln zur Berechnung der elektrischen Feldstärke E im Fall des homogenen Feldes zwischen den Platten:

$$E = \frac{F}{Q} \quad \text{und} \quad E = \frac{U}{d}$$

Daraus kann man schon mal erahnen, dass der Abstand von getrennten Ladungen etwas mit den Kräften, die zwischen den Ladungen wirken, zu tun haben muss. Genauer gesagt ist sie umgekehrt proportional zum Abstand der Ladungen, in diesem Fall dem Plattenabstand d . Ohne weitere Herleitung, nur zur Info: Für die Anziehungskraft F zwischen den Platten gilt folgende Proportionalität:

$$F \sim \frac{1}{d^2}$$

Dies bedeutet, wiederum ganz anschaulich, dass bei kleinerem Plattenabstand d die anziehenden Kräfte größer werden und mehr Ladungen auf die Platten „gezogen“ werden. Damit steigt dann auch die Dichte der Ladungen, die so genannte **Flächenladungsdichte** σ (Sigma) an. Die Kapazität ist also umgekehrt proportional zum Plattenabstand (allerdings nicht quadratisch, wie bei den Kräften).

Wie bereits bekannt, besteht zwischen reinen Proportionalitäten zweier Größen und Formeln der Unterschied, dass eine weitere (konstante) Größe zur Berechnung auftritt und auftreten muss. Dies ist in diesem Fall die **elektrische Feldkonstante** ϵ_0 („Epsilon Null“). Man kann sich darunter die „Durchlässigkeit“ für die elektrischen Feldlinien vorstellen, die ja den Raum zwischen den Platten ausfüllen. Sie sagt also aus, wie stark sich das E-Feld in Luft/Vakuum in Abhängigkeit der (verursachenden) Ladungen ausbildet. Es handelt sich hierbei im freien Raum um eine Naturkonstante mit dem Wert $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$.

Der weiterer Name dieser Konstante lautet auch „Permittivität des freien Raumes“. Schön, gell ;-)?

Ist zwischen den Platten ein anderes Material als „Nichts“ oder auch Luft, dann ändert sich die Durchlässigkeit für die Feldlinien je nach Material. Dies wird mit der so genannten **relativen Permittivität** ϵ_r zum Ausdruck gebracht, also um wie viel diese höher ist, als in Luft bzw. Vakuum. Daraus folgt auch, dass ϵ_r für Luft 1 ist.

Die Permittivität ϵ eines beliebigen Stoffes berechnet sich demnach so: $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$

Nun haben wir also alles beisammen. Die Kapazität eines Kondensators ist also

1. proportional zur Fläche
2. umgekehrt proportional zum Plattenabstand
3. und proportional zur relativen Permittivität ϵ_r als Faktor, mit dem ϵ_0 multipliziert wird.

In der Elektrotechnik spielen Kondensatoren eine große Rolle. Sofern sie als „echte“ Energiespeicher eingesetzt werden (was nicht die einzige Aufgabe ist), will man natürlich eine möglichst große Kapazität bei möglichst kleiner Bauform erzielen.

Das konstruktive Ziel ist also, eine möglichst große Oberfläche bei möglichst kleinem „Plattenabstand“ zu erreichen. Dies wird z.B. bei so genannten Elektrolytkondensatoren („Elkos“) dadurch erreicht, in dem man die Oberfläche von Alufolien aufraut und damit deren Fläche vergrößert. Zudem ist der „Plattenabstand“ **d** nur so groß wie die Dicke der Oxydschicht auf der Folie. Das nebenstehende Bild (Quelle: Wikipedia) zeigt eine Übersicht der Bauformen und Größen von Elkos.



Wer mehr dazu wissen will, kann dort den umfangreichen Artikel dazu lesen. Suchbegriff: Elektrolytkondensator.

Neben dem Kondensator als Bauteil soll noch erwähnt werden, dass alle Objekte, die einen Abstand zueinander haben, auch eine Kapazität, d.h. Ladungsspeicherfähigkeit haben. Dies gilt für beliebige Anordnungen z.B. von großen Bauteilen auf Gebäuden wie Blechdächer und Geländer, weshalb diese dann auch geerdet sein müssen, um gefährliche Aufladungen abzuleiten. Ebenso hat eine Wolke eine Kapazität gegen Erde, was sich ja deutlich durch die Entladungen beim Gewitter zeigt. Auch Personen können sich aufladen. Wer schon mal über einen Teppichboden gelaufen ist und anschließend eine metallische Türklinke angefasst hat, kennt den Effekt ;-).

Eine weitere Definition der Kapazität des Kondensators ergibt sich aus der elementaren Größe der Ladungsmenge **Q** auf dem Kondensator und der sich dabei einstellenden Spannung **U** zwischen den Platten (allgemein: Elektroden).

Ganz praktisch ausgedrückt: Je mehr Ladungen der Kondensator aufnimmt, desto höher steigt auch das „Ausgleichsbestreben getrennten Ladungen“, also die Spannung.

Das **Verhältnis** zwischen Ladung und Spannung ist dabei **konstant** und ergibt seinerseits ein Maß für die „Ladungsspeicherfähigkeit“ – also die Kapazität **C**.

Eine weitere Formel zur Berechnung von **C** lautet daher:

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

Ähnlich der Kenngröße **R** eines ohmschen Widerstandes, die sich aus dem konstanten Verhältnis von **U** und **I** ergibt (als bekannte Formel $R = \frac{U}{I}$) ergibt sich die Kenngröße **C** der Kapazität beim Kondensator eben aus dem konstanten Verhältnis aus **Q** und **U**.

Merke:

Ergibt sich bei Anordnungen aus Teilgrößen eine konstante Größe, so ist diese Kennzeichnend für das System!

Der Kondensator – Begriff, Kenngröße

Praxis-Beispiel:

Berechne aus den Angaben des abgebildeten Kondensators die maximal in ihm gespeicherte Ladung (38,4mC).

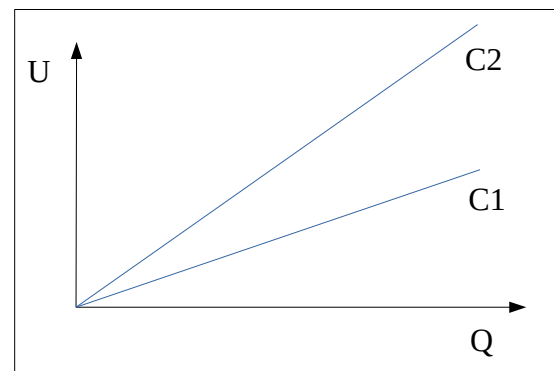
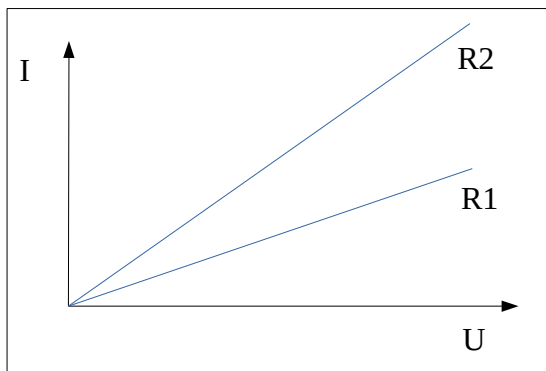


Artikel-Nr.: S-F 2,4M 16

Elko, radial, 2.400µF, 16V, RM5, 105°C, 10000h, 20%

■ Typ:	Elektrolytkondensator
■ Bauform:	radial
■ Kapazität:	2400 µF
■ Spannung:	16 V
■ Temperaturbereich:	-40...+105 °C
■ Lebensdauer:	10000 h
■ Toleranz:	20 %
■ Ø:	12,5 mm
■ Höhe:	20 mm

Im U/Q-Diagramm dargestellt ergibt sich eine Gerade, deren Steigung die Kapazität repräsentiert. Dies ist analog zur Geraden und deren Steigung im U/I-Diagramm bei ohmschen Widerständen!



Frage zu den Diagrammen:

Erkläre - mit Begründung - welcher Widerstand und welcher Kondensator den höheren Widerstandswert / die größere Kapazität hat.

Energie des Kondensators

Informell, ohne Herleitung: Die gespeicherte Energie W_C (ja, netter Witz ;-)) des Kondensators berechnet sich bei gegebener Kapazität und Spannung U nach der Formel

$$W_C = \frac{1}{2} C U^2$$

Dies ist auch anschaulich nachvollziehbar, da die Kapazität ja etwas mit der gespeicherten Energie zu tun haben muss, die sich, je nach Spannung, dann noch erhöht.

Wie man sehen kann, haben in der Physik Formeln zur Berechnung gleicher Größen auch den gleichen Aufbau. Ein Beispiel zeigt die Formel zur Berechnung der kinetischen Energie W_{kin} einer Masse m :

$$W_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$$

Auch hier berechnet sich die Energie aus einer Konstante (m) und der veränderlichen Größe (v). Im Falle des Kondensators sind dies eben die Kapazität C und die Spannung U .

Aufgaben

Hinweis: Es lassen sich alle Aufgaben (außer bei ausdrücklichem Hinweis in der Aufgabenstellung) aus dem Text heraus beantworten! Daher nicht das Netz, sondern den Text verwenden – sonst ist kein Lerneffekt gegeben!

1. Erkläre die doppelte Bedeutung des Begriffs „Kapazität“.
2. Leite mit Hilfe der im Text beschriebenen Zusammenhänge die Formel zur Berechnung der Kapazität C eines Kondensators her.
3. Gib das Symbol und den Wert der Elektrischen Feldkonstante an.
4. Erkläre, was man sich anschaulich unter der relativen Permittivität eines Stoffes vorstellen kann.
5. Recherchiere die Werte von ϵ_r für die folgenden Stoffe:
Wasser, Glas, Papier, Polyethylen (PE), Tantalpentoxid
6. Recherche die Zweite: Skizziere den Auf- und Entladevorgang (zeitabhängiger Spannungsverlauf) beim Kondensator in einem U/t -Diagramm und skizziere ihn hier.



Auflagevorgang



Entladevorgang

7. Berechne die Kapazität eines Luft-Kondensators, der die Fläche eines Fußballfeldes ($100\text{m} \times 64\text{m}$) und den Plattenabstand 1cm hat. ($5,67\mu\text{F}$)
8. Berechne die Kapazität eines Plattenkondensators nach den folgenden Angaben:
 $A=40\text{cm}^2$, $d=1\text{mm}$
 - a) für Luft ($35,4\text{pF}$)
 - b) für $\epsilon_r = 8$ (283pF)
9. Das Dielektrikum eines Kondensators besteht aus PE. Berechne, um wie viel die Fläche eines theoretischen Luft-Kondensators (bei gleichem d) größer sein müsste, wenn dieser die gleiche Kapazität haben soll. (2,3-fach)

10. Ein Plattenkondensator besteht aus zwei kreisförmigen Platten mit dem Durchmesser $D=28\text{cm}$, deren Abstand d sich von $0,5\text{mm}$ bis 5mm verändern lässt.
 - a) Berechne die minimalen und maximale Kapazität. ($1,09\text{nF}$ / $10,9\text{nF}$)
 - b) Berechne den Abstand der Platten d für $C=177\text{pF}$ ($3,07\text{mm}$)
11. Die beiden Platten eines Demonstrationskondensators lassen sich bei konstantem Abstand gegeneinander verschieben. Die Seitenlänge der quadratischen Platten beträgt dabei 20cm . Berechne um wie viel Prozent sich die Kapazität beim Verschieben um 15cm aus der Normallage (Platten stehen sich flächig komplett gegenüber) verändert. (75%)
12. Berechne die Kapazität eines Kondensators, der bei 24V eine Ladung von $163,2\text{mC}$ aufnehmen kann. ($6800\mu\text{F}$)
Mache die Einheitenprobe – kommt als Ergebnis-Einheit auch die der Kapazität C heraus?
13. Berechne die Ladungsmenge, die ein Kondensator von $1500\mu\text{F}$ bei 50V aufgenommen hat (75mC).
Mache die Einheitenprobe – kommt als Ergebnis-Einheit auch die der Ladung Q heraus?
14. Berechne die gespeicherte Energie eines Kondensators der Kapazität $2200\mu\text{F}$, der auf 24V aufgeladen wird. ($0,633\text{J}$)
15. Wiederholung Grundlagen (Einheitenvorsätze)
Schreibe die folgenden Kapazitätswerte in Exponentialdarstellung:
 $0,1\mu\text{F}$ 10mF 22pF 100nF $0,47\text{nF}$ $220\mu\text{F}$
16. Technische Allgemeinbildung, Recherche:
Nenne 3 weitere Typen von Kondensatoren und beschreibe deren Aufbau/Besonderheiten.