

Die I07-Elektronik-AG

Kapitel 5 – Der Kondensator

Lars-Chr. Schulze, DC0BM Ulrich Biester, DK7AU

Version 1.0

Der Kondensator

Was ist ein Kondensator

Der Kondensator

Einen Kondensator hatten wir ja schon in unseren Schaltungen verwendet, um das Ausschalten der LEDs zu verzögern, aber:

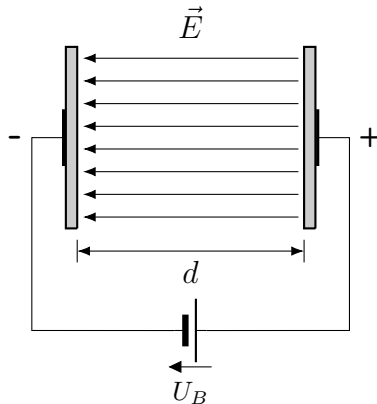
- Was ist ein Kondensator nun genau?
- Wie ist er aufgebaut?
- Und wofür wird er eigentlich eingesetzt?



Der Kondensator

Wirkprinzip eines Kondensators I

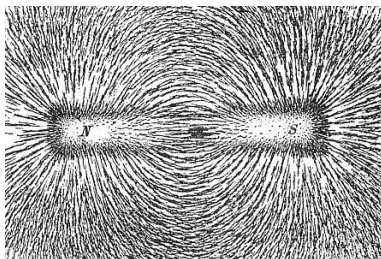
- Ein Kondensator besteht im Prinzip aus zwei sich gegenüber stehenden Metallplatten.
- Dies ist die einfachste Form des Kondensators: der **Plattenkondensator**.
- Legt man an die Platten dieses Kondensators eine elektrische Spannung an, so lädt sich dieser auf.



Der Kondensator

Wirkprinzip eines Kondensators II

- Es fließt dann ein Strom in den Kondensator und zwischen den beiden Platten bildet sich ein **elektrisches Feld** aus, angedeutet durch die Pfeile.
- Das elektrische Feld kann man nicht sehen, nur messen.
- **Als Beispiel (!)** sei hier aber ein **magnetisches Feld** gezeigt, wie es z. B. von einem Stabmagneten erzeugt wird.
- In dem Experiment mit den Eisenpfeilspänen richten sich die Feldlinien entlang der **magnetischen** Feldlinien aus und machen sie dadurch sichtbar.



Der Kondensator


Wirkprinzip eines Kondensators III


- Die Energie wird in einem Kondensator in Form des **elektrischen Feldes** gespeichert. Das Formelzeichen für ein elektrisches Feld ist E , wie in dem Bild eingezeichnet.
- Meist wird das \vec{E} noch mit einem kleinen Pfeil versehen, um anzuzeigen, dass es sich um ein **Feld** handelt.
 - Mit dem Begriff **Feld** wird eine mathematische oder physikalische Größe bezeichnet, welche an jedem Punkt einen anderen Wert hat.
 - Ein **Beispiel** hierfür ist die **Windkarte** aus dem Wetterbericht. Der Wind weht an **jedem Ort** aus einer **anderen Richtung** und in einer **anderen Stärke**.
- So ähnlich verhält sich das im Prinzip auch mit dem elektrischen Feld. Es kann von Punkt zu Punkt unterschiedlich stark sein und in einer anderen Richtung verlaufen.


Der Kondensator

Wirkprinzip eines Kondensators III

- Die **Kapazität** von Kondensatoren wird in der Einheit **Farad** angegeben, zu Ehren des englischen Physikers **Michael Faraday**.
- Abgekürzt wird die Einheit Farad mit F .
- Das Formelzeichen für die Kapazität ist C („Capacitor“).
- Folgende Schaltsymbole werden Euch im Zusammenhang mit Kondensatoren am häufigsten begegnen:

Ungepolter Kondensator: 

Gepolter Kondensator: 

Drehkondensator: 

- Die beiden Striche symbolisieren die Platten des Kondensators.
- Der Pfeil im Schaltsymbol des Drehkondensators soll die Einstellbarkeit symbolisieren.

Der Kondensator

Einheitenvorsätze

- Ein Farad ist aber eine sehr große Einheit. Daher benötigen wir noch weitere Einheitenvorsätze:

Name	Abkürzung	Faktor
milli	m	1 / 1 000
mikro	μ	1 / 1 000 000
nano	n	1 / 1 000 000 000
pico	p	1 / 1 000 000 000 000

- 1 μ F ist ein millionstel Farad, 1 nF ist ein milliardstel Farad und 1 pF ist ein billionstel Farad.
- Kleinere Kondensatoren als etwa 1 pF gibt es praktisch nicht, da selbst kurze Drahtstücke (parasitäre) Kapazitäten im Bereich von 1 pF aufweisen.

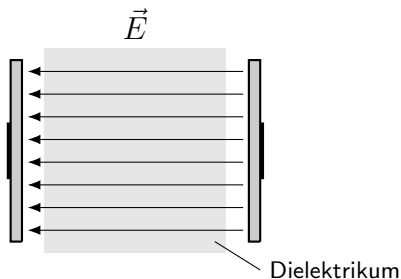
Aufbau eines Kondensators

- Die **Kapazität** eines Kondensators wird – wie leicht einsehbar ist – durch die **Größe** der sich gegenüber stehenden **Metallflächen** bestimmt.
- Daher versucht man, diese Flächen so groß wie möglich zu machen.
- Z. B. dadurch, dass man lange Metallstreifen („Alu-Folie“) mit einer Isolationsfolie dazwischen aufrollt (→ **Folienkondensator**).
- Ebenso erhöht sich Kapazität, je geringer der Abstand d zwischen den Platten ist.
- Daher versucht man, die Isolationsfolie zwischen den Platten so dünn wie möglich zu machen.
- Hier ist man aber dadurch begrenzt, dass irgendwann die Isolationschicht von der anliegenden Spannung durchschlagen wird.
- Daher gibt es Kondensatoren auch für unterschiedliche Betriebsspannungen. Kondensatoren für höhere Spannungen sind größer.

Der Kondensator

Das Dielektrikum I

- Zusätzlich wird die Kapazität eines Kondensators durch das Material **zwischen** den Platten bestimmt, das sog. **Dielektrikum**.
- Es gibt viele verschiedene Dielektrika, welche die Kapazität von Kondensatoren teilweise drastisch erhöhen.

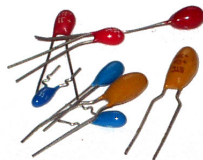
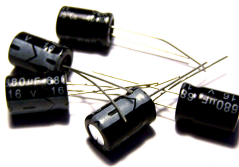
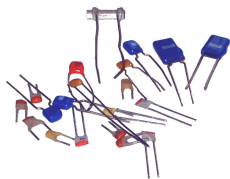


- Das Dielektrikum bestimmt aber auch die **elektrischen Eigenschaften** eines Kondensators, z. B. welche **Verluste** er hat oder ob er für Hochfrequenz geeignet ist.

Der Kondensator

Das Dielektrikum II

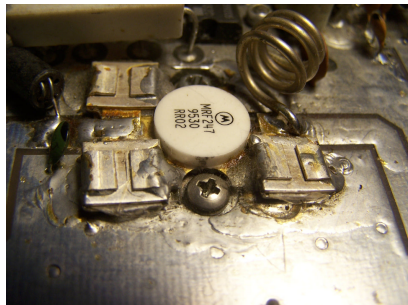
- Verluste können sein **Selbstentladung**, wie man das auch von Akkus kennt, oder Verluste durch einen **inneren Widerstand**.
- Nicht jeder Kondensatortyp ist für jeden Frequenzbereich und für jede Anwendung geeignet.
- Daher gibt es viele unterschiedliche Kondensatortypen mit unterschiedlichen Eigenschaften, z. B. Folien-Kondensatoren, keramische Kondensatoren, Elektrolyt-Kondensatoren oder auch die Tantal-Elkos.



Der Kondensator

Das Dielektrikum III

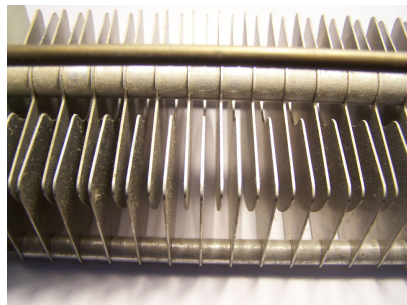
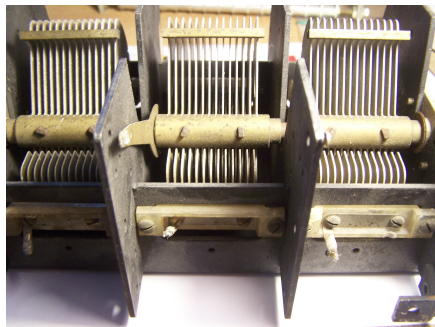
- Für Hochfrequenzanwendungen kommen oft Styroflex oder andere Kunststoffe, Glimmer oder einfach nur Luft als Dielektrikum zur Anwendung.
- Einige Kondensatortypen, wie z. B. die Elektrolyt-Kondensatoren („Elkos“) oder auch die sog. **Tantal-Elkos** müssen **richtig herum gepolt** eingebaut werden.
- Sie können sonst heiß werden, fangen an zu brennen oder explodieren.



Der Kondensator

Kondensatoren mit variabler Kapazität I

- Normalerweise haben Kondensatoren eine konstante Kapazität.
- Diese ist aufgedruckt oder in Form eines Zahlencodes angegeben.
- Es gibt aber auch Kondensatoren mit **variabler Kapazität**.
- Das sind zum einen die sog. **Trim-Kondensatoren** und der klassische **Drehkondensator**.



Der Kondensator

Kondensatoren mit variabler Kapazität II

- Variable Kondensatoren bestehen aus **zwei Plattenstapeln**, von denen der **eine feststeht** und der **andere drehbar** an einer Achse befestigt ist.
- Je nachdem, wie weit der drehbare Plattenstapel in den feststehenden hineingedreht wird, verändert sich die Kapazität.



Der Kondensator

Kondensatoren mit variabler Kapazität III

- Trim-Kondensatoren dienen aber normalerweise nur zum Abgleich, d.h. zur einmaligen Einstellung.
- Über die echten „Drehkos“ wurde früher in Radios die Sendereinstellung gemacht.
- Später kamen dann die **Kapazitäts-Dioden** auf.
- Heute sind Frequenzaufbereitung und Abstimmung in Radios oder anderen Funkempfängern meist rein digital.
- Daher stehen sowohl Drehkos als auch Kapazitätsdioden heute auf der roten Liste aussterbender Bauteile ☹️.

Der Kondensator

Das elektrische Verhalten von Kondensatoren I

- Einen Kondensator hatten wir in verschiedenen Schaltungen ja bereits als kleinen Energiespeicher eingesetzt.
- Wie schon erwähnt, speichert ein Kondensator die Energie in Form eines **elektrischen Feldes**.
- Dieses kann **sehr schnell** aufgebaut und auch wieder abgebaut werden.
- Einen Kondensator kann man daher **sehr schnell laden** und auch wieder **entladen**.
- Dabei können kurzzeitig **sehr große und gefährliche (!)** Ströme fließen.

Hinweis: In einem **Akku** (Blei-, Nickel-, Lithium- etc.) wird die Energie in **chemischer Form** gespeichert. Beim Laden und Entladen läuft jeweils eine chemische Reaktion ab. Daher sind die erzielbaren Ströme hier nicht so groß. Es kann aber **wesentlich mehr** Energie gespeichert werden als in einem Kondensator.

Der Kondensator

Das elektrische Verhalten von Kondensatoren II

- Ein geladener Kondensator ist, wie gesagt, eine kleine Batterie.
- Ein **ungeladener Kondensator** stellt umgekehrt im ersten Moment nach dem Anlegen der Spannung einen **Kurzschluss** dar!
- Speziell bei größeren Kondensatoren muss man daher darauf achten, diese Ströme zu begrenzen, z. B. durch einen Widerstand.
- Sonst ist das ein „Sicherungskiller“!
- Daher wollen wir uns jetzt ansehen, was bei der Ladung bzw. Entladung eines Kondensators im Detail passiert.
- Da dies ein sich zeitlich verändernder Vorgang ist, benötigen wir zur Betrachtung das Oszilloskop.
- Eine umfangreiche Abhandlung zum Thema Kondensator findet sich auch auf Wikipedia [5].
- Allerdings gehen die dort gezeigten Zusammenhänge weit (!) über unseren derzeitigen Kenntnisstand hinaus und erfordern Oberstufen-Mathematik.

Versuche:

Messen der Lade- und Entladekurve eines Kondensators

Verhalten des Kondensators bei Wechselspannung

Der Kondensator

Der Kondensator und Wechselstrom I

- Wenn wir eine Wechselspannungsquelle jetzt so **schnell umpolen**, d. h. die Frequenz so hoch einstellen, dass sich die **Polarität ändert**, **bevor** der Kondensator **geladen** ist, fließt praktisch ständig ein Strom.
- Wenn wir die Frequenz immer weiter erhöhen, stellen wir fest, dass der Strom immer größer wird.
- Kondensatoren stellen für **Wechselstrom keine Unterbrechung**, sondern einen **frequenzabhängigen Widerstand** dar.
- Dieser Widerstand wird als **Scheinwiderstand** oder **kapazitiver Blindwiderstand** X_C bezeichnet, weil er kein Widerstand im Sinne des Ohmschen Gesetzes ist.
- Der Vollständigkeit halber sei hier angegeben, wie sich dieser Widerstand berechnet:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Dabei ist C die Kapazität des Kondensators in Farad und f die Frequenz der Wechselspannung.

Der Kondensator

Der Kondensator und Wechselstrom II

- Dieser frequenzabhängige Widerstand ist bei verschiedenen Schaltungen, z. B. beim **Schwingkreis** von großer Bedeutung¹.
- Gleichstrom dagegen kann den Kondensator nach Beenden des Aufladevorgangs nicht passieren.
- Kondensatoren werden daher an vielen Stellen zur **Trennung** von Gleich- und Wechselspannung eingesetzt.
- Z. B. erfolgen bei dem LNB einer Satellitenanlage die Stromversorgung des LNB (Gleichspannung) und die Übertragung des Empfangssignals (Hochfrequenz, also Wechselspannung) über das gleiche Kabel. Die Trennung erfolgt über Kondensatoren.
- Dieses Verfahren wird in der Technik oft angewendet, um Leitungen zu sparen.
- Eine andere wichtige Anwendung von Kondensatoren ist die Glättung von Spannungen, z. B. bei Stromversorgungen, oder die Unterdrückung von Störimpulsen.

¹Das Thema *Schwingkreis* werden wir später noch behandeln. Vorher müssen wir uns noch mit den *Spulen* beschäftigen.

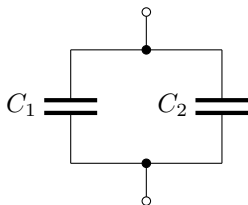
Der Kondensator

Der Kondensator und Wechselstrom III

- In vielen digitalen Schaltungen werden daher kleine Kondensatoren, meist nimmt man hier keramische Kondensatoren von 100 nF, so **dicht wie möglich** an die Stromversorgungsanschlüsse von integrierten Schaltungen gebaut.
- Auf diese Weise werden Störimpulse auf der Versorgungsspannung, welche durch Schaltvorgänge anderer Bauteile erzeugt werden, unterdrückt.
- Kondensatoren sind also trotz ihres relativ einfachen Aufbaus ein sehr wichtiges Bauelement in elektronischen Schaltungen.
- Im Experiment haben wir gesehen, dass sinusförmige Signale einen Kondensator unverändert passieren.
- Bei nicht-sinusförmigen Signalen wird das Signal mehr oder weniger stark verzerrt.
- Die Theorie dazu und warum das so ist, müssen wir auf später verschieben.

Serien- und Parallelschaltung von Kondensatoren

- Wie andere Bauteile lassen sich auch Kondensatoren in Serien- und Parallelschaltung betreiben.
- Für die Berechnung der Gesamtkapazität gilt bei Parallelschaltung, wie leicht einsehbar ist:

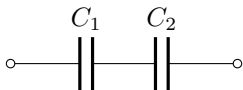


$$C_{ges} = C_1 + C_2$$

Der Kondensator

Serien- und Parallelschaltung von Kondensatoren II

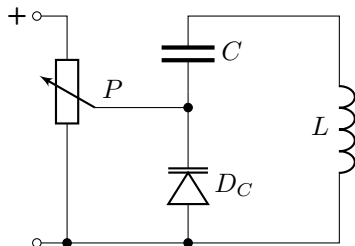
- und bei Serienschaltung:



$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

- Kondensatoren verhalten sich hier also genau anders herum als Widerstände.

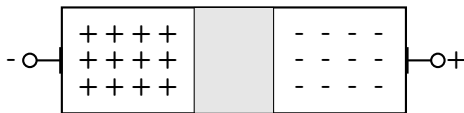
Die Kapazitäts-Diode



Der Kondensator

Die Kapazitäts-Diode II

- Normalerweise wird eine Diode zur Gleichrichtung, zur Beleuchtung (LED) oder anderen (hier noch nicht behandelten Zwecken) verwendet.
- Schauen wir uns aber nochmal den Aufbau einer in Sperrichtung gepolten Diode an:



- Wir sind jetzt mal spitzfindig und sagen, wir haben in diesem Fall **zwei leitende Flächen** (das p- und das n-Silizium), welche durch eine **Isolationsschicht** (die Sperrschicht) getrennt sind.
- Damit haben wir aber einen **Kondensator**!
- Eigentlich ist das ein unerwünschter Effekt, eine sog. **parasitäre Kapazität**.
- Parasitäre Kapazitäten kommen bei praktisch allen Bauteilen vor und sorgen meist für unerwünschte Effekte ☹️.

Der Kondensator

Die Kapazitäts-Diode III

- Bei der Kapazitätsdiode kann dieser Effekt aber nutzbringend angewendet werden.
- Da, wie wir ja wissen, die **Dicke der Sperrschicht** von der anliegenden **Sperrspannung** abhängig ist, ist somit auch die (parasitäre) Kapazität der Diode von der Sperrspannung abhängig.



Niedrige Sperrspannung → dünne Sperrschicht → hohe Kapazität.



Hohe Sperrspannung → dicke Sperrschicht → geringe Kapazität.


Der Kondensator

Die Kapazitäts-Diode IV

- Eine hohe Sperrspannung bedeutet eine dicke Sperrschicht und damit eine geringere Kapazität.
- Eine niedrige Sperrspannung bedeutet eine dünnere Sperrschicht und damit eine höhere Kapazität.
- Damit haben wir eine durch **Gleichspannung einstellbare Kapazität**.
- Die ist ein erheblicher Vorteil gegenüber der aufwendigen Mechanik eines herkömmlichen Drehkos.
- Kapazität-Dioden sind außerdem genau so groß (oder klein) wie andere Dioden. Dies spart Platz.
- Die Spannung lässt sich z. B. über unser schon bekanntes Potentiometer einstellen.
- Zudem kann die Spannung über Mikro-Controller oder durch andere Mittel erzeugt werden und ermöglicht z. B. elektronische Stationstasten.

Der Kondensator

Die Kapazitäts-Diode V

- Das Schaltsymbol für eine Kapazitätsdiode ist: 
- Die Kapazität wird, wie bei einem Kondensator, durch den doppelten Strich symbolisiert.
- Die Abstimmung mittels Kapazitätsdioden war mal total angesagt, weil sie gegenüber dem großen und mechanisch aufwändigen Drehko doch einige Vorteile bot.
- Heute erfolgt, wie bereits erwähnt, die gesamte Signalverarbeitung meist digital, und man bekommt komplette Rundfunkempfänger in Form eines Chips von wenigen mm^2 Fläche.

Für Experten und solche, die es werden wollen

- Ihr habt Euch vielleicht gewundert, was die komische Zeichnung auf Folie 23 zu Beginn dieses Abschnittes bedeuten soll.
- Dieses Fragment eines Schaltplanes zeigt, wie eine Kapazitätsdiode früher in einem Schwingkreis, das ist eine Parallelschaltung einer Spule und eines Kondensators, eingesetzt wurde.
- Dies war eine Standardschaltung zur Einstellung des Senders in Funkempfängern.
- Die Kapazität der Diode ist veränderlich und ersetzt den Drehkondensator.
- Die Steuerspannung für die Diode wird über das Potentiometer P eingestellt.
- Da die Diode in Sperrrichtung betrieben wird, fließt über die Diode kein Strom.
- Eine wichtige Funktion hat auch der Kondensator C .
- Da eine Spule im Prinzip nur ein aufgewickelter Draht ist, stellt dieser Draht für die mit dem Potentiometer eingestellte Spannung praktisch einen Kurzschluss dar.
- Der Kondensator C verhindert diesen Kurzschluss, indem er die Gleichspannung blockiert, die Hochfrequenz des empfangenen Signals aber durchlässt.

Der Kondensator

Referenzen

- [1] Der Deutsche Amateur-Radio-Club e.V.: www.darc.de
- [2] Die Webseite des OV I07: www.amateurfunk-leer.de
- [3] Verband der Funkamateure in Telekommunikation und Post e.V. (früher: Vereinigung der Funkamateure der Deutschen Bundespost): www.vfdb.org, z31.vfdb.org
- [4] <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Magnet0873.jpg>. Verwendung gem.[6].
- [5] Wikibooks: Bauelemente, Band 1: Kondensatoren https://de.wikibooks.org/w/index.php?title=Bauelemente:_Band_1:_Kondensatoren&oldid=1014343
- [6] creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de

© Alle Rechte beim DARC OV I07 bzw. den Autoren. Für Ausbildungs- und Lehrzwecke frei verwendbar.
Die gewerbliche oder kommerzielle Nutzung bedarf der schriftlichen Genehmigung.

Nicht referenzierte Bilder von DJ1FC oder vom Author.

Version 1.0, April 2026. Dokument erstellt mit L^AT_EX unter Verwendung der Pakete TikZ, CircuiTikZ und Beamer.