

# Grundlagen für die Elektronik

## Teil 3: Das elektrische Feld und der Kondensator

*Nachdem wir den elektrischen Widerstand kennengelernt haben und auch mit verschiedenen Schaltungskombinationen von Widerständen vertraut sind, behandeln wir als nächstes Bauteil den Kondensator. Zu seiner näheren Beschreibung soll kurz auf das Wesen des elektrischen Feldes eingegangen werden, was zum besseren Verständnis der Vorgänge innerhalb des Kondensators beitragen soll. Zum Abschluß dieses Kapitels werden – wie in Teil II – Reihen- und Parallelschaltung des betrachteten Bauteils untersucht, wobei wir grundsätzliche Unterschiede zu den Widerstandsschaltungen feststellen werden.*

### 4. Das elektrische Feld

Das elektrische Feld ist grundsätzlich an das Vorhandensein einer elektrischen Spannung gebunden. Die elektrische Spannung ist (wie in Kapitel 1.3 erklärt) zwischen verschiedenen elektrischen Ladungen vorhanden.

Wir betrachten nun einen offenen Stromkreis, dessen Leitungsenden durch zwei Metallplatten abgeschlossen sind. Diese beiden Platten seien im Abstand von einigen Zentimetern aufgestellt. Eine im offenen Stromkreis vorhandene Spannungsquelle bewirkt die unterschiedliche Aufladung beider Platten, so daß eine positiv und die andere negativ geladen ist. Bringt man eine sehr kleine Metallkugel, die an einem dünnen Faden hängt, mit der negativen Platte in Berührung, so lädt

sie sich mit den dort vorhandenen überschüssigen Elektronen auf, bis sie die gleiche Ladung hat wie die negative Platte. Nun wird die Kugel von der negativen Platte abgestoßen und von der positiven Platte angezogen, wo sich ein Ladungsaustausch in umgekehrter Richtung vollzieht (von der Kugel werden Elektronen abgesaugt), bis wieder Ladungsgleichheit besteht. Die Kugel pendelt im Raum zwischen den Platten hin und her, was auf das Vorhandensein von Kräften schließen läßt. Man spricht von einem zwischen den Platten befindlichen Kraftfeld, dem elektrischen Feld. Zu seinem Aufbau benötigt das elektrische Feld elektrische Energie. Nach dem Aufladen der Platten steckt diese Energie im elektrischen Feld.

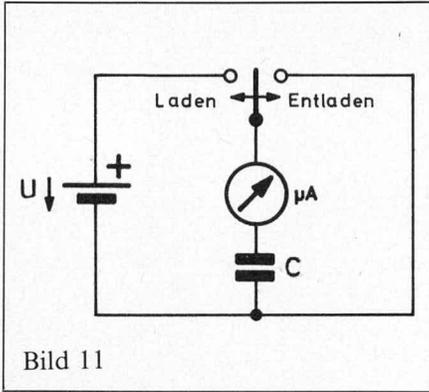
Die beschreibende Größe des elektrischen Feldes ist die elektrische Feldstärke  $E$ . Da ohne Spannung kein elektrisches Feld existiert, ist die Größe der Feldstärke von der Größe der Spannung abhängig. Sie ist weiterhin vom Abstand  $d$  der Platten abhängig. Ähnlich wie bei einem Magneten, dessen Anziehungskraft mit größer werdendem Abstand nachläßt, gilt für die elektrische Feldstärke

$$E = U/d \quad \text{gemessen in Volt pro cm.}$$

Aus der Formel ersieht man, daß bei sehr kleinem Plattenabstand  $d$  die Feldstärke sehr groß wird. Besteht der Raum zwischen den Platten aus Luft, so springen bei einer Feldstärke von etwa 30 000 V/cm Funken über. Man spricht vom Durchschlag.

### 4.1 Der Kondensator

Ein Kondensator besteht im Grundaufbau aus zwei Metallplatten und einem dazwischen befindlichen Isolierstoff, dem sogenannten Dielektrikum. Um die Funktionsweise des Kondensators zu verstehen, betrachten wir dieses Bauteil in einem einfachen Gleichstromkreis (Bild 11).



Legt man den Kondensator mit dem Umschalter an die Gleichspannung U, so zeigt das Mikro-Amperemeter mit Nullpunkt in Skalenmitte das kurzzeitige Fließen eines Ladestromes, der dann wieder völlig verschwindet. Beim Entladen schlägt der Zeiger in entgegengesetzte Richtung kurzzeitig aus und geht dann ebenfalls wieder in die Nullstellung zurück.

Dabei passiert folgendes: Beim Ladevorgang entzieht die Spannungsquelle der einen Kondensatorplatte Elektronen und pumpt sie auf die andere Platte. Ist der Kondensator auf diese Weise aufgeladen worden, so sperrt er den Gleichstrom. Zwischen den Platten des Kondensators besteht dann ein elektrisches Feld mit der Feldstärke  $E = U/d$ , mit d als Abstand der Kondensatorplatten.

Die Spannung, auf die sich der Kondensator aufgeladen hat, ist genau so groß, wie die angelegte Spannung U. Dabei ist die Richtung der Kondensatorspannung entgegengesetzt der Speisespannung. Beim Entladen des Kondensators fließt ein Entladestrom, bis der ursprüngliche, ungeladene Zustand des Kondensators wieder hergestellt ist.

Die Betrachtung zeigt, daß der Kondensator elektrische Ladungen speichern kann. Dieses Speichervermögen bezeichnet man als Kapazität.

### 4.2 Die Kapazität

Die Maßeinheit für die Kapazität C eines Kondensators ist das Farad (Kurzzeichen F). Für die Praxis ist das Farad als Maßeinheit zu groß. Ge-

bräuchlich sind die kleineren Einheiten:

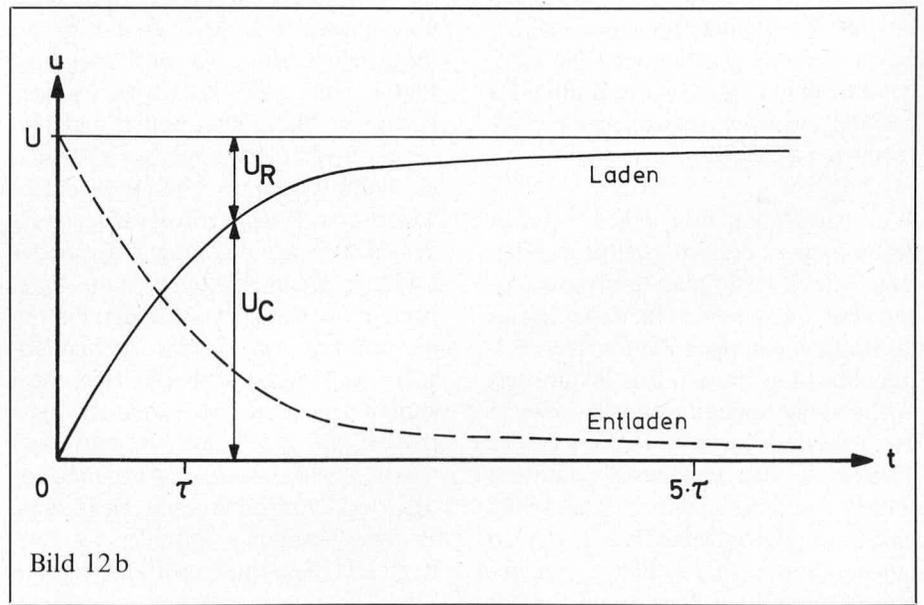
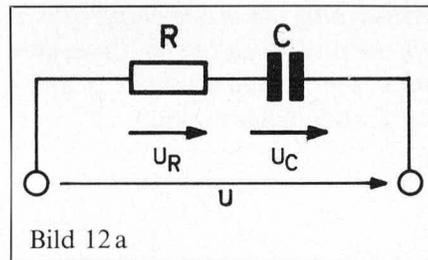
- 1 Mikrofarad =  $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$   
= 0,000001 F
- 1 Nanofarad =  $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$   
= 0,000000001 F
- 1 Pikofarad =  $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$   
= 0,000000000001 F

Man kann sich leicht vorstellen, daß die Ladung Q eines Kondensators (also die Elektronenmenge, die er faßt) von dessen Speichervermögen (also der Kapazität C) abhängt. Weiterhin muß die Ladung von der anliegenden Spannung abhängig sein, welche die Elektronen von einer Kondensatorplatte zur anderen befördert. Je größer die Spannung, desto mehr Elektronen können transportiert werden. Damit haben wir die erste wichtige Beziehung für den Kondensator gefunden:

$$Q = C \cdot U$$

Die Ladung Q wird in Amperesekunden (As) gemessen. Stellt man die Gleichung nach der Kapazität C um, so ergibt sich für die Maßeinheit Farad die Dimension: Amperesekunden pro Volt (As/V).

Für später folgende Berechnungen ist die Zeit von Interesse, in der ein Kondensator aufgeladen wird. Hierzu betrachten wir die einfache Schaltung in Bild 12 a.



Erwartungsgemäß wird die Ladezeit des Kondensators von seinem Speichervermögen, der Kapazität, abhängen. Je kleiner die Kapazität, desto schneller wird der Kondensator aufgeladen sein. Als zweites spielt die Größe des ohmschen Widerstandes R eine Rolle, denn durch ihn wird ja der Elektronenfluß gebremst. Ist der Widerstand sehr groß, so wird es auch sehr lange dauern, bis der Kondensator voll ist.

Als Maß für die Aufladezeit können wir jetzt die sogenannte Zeitkonstante  $\tau$  definieren als:

$$\tau = R \cdot C$$

Hierin sind unsere vorangegangenen Überlegungen enthalten: Großer Widerstand und große Kapazität ergeben eine große Ladezeit.

Den Verlauf der Ladekurve gibt Bild 12 b wieder. Man erkennt, daß sich der leere Kondensator anfänglich sehr schnell auflädt. Nach der Zeit  $t = \tau$  ist er bereits auf ca. 63% der angelegten Spannung U aufgeladen. Nach der Zeitdauer  $5 \cdot \tau$  kann man davon ausgehen, daß er nahezu die Spannung U erreicht hat.

Um ein Gefühl für die Größe der Ladezeiten zu bekommen, soll ein kleines Beispiel durchgerechnet werden.

Wollen wir wissen, wie lange der Ladevorgang eines Kondensators von  $10 \mu\text{F}$  dauert, der über einen Vorwiderstand von  $100 \text{ k}\Omega$  an z. B.  $12 \text{ V}$  Gleichspannung angeschlossen wird, so lautet unsere Gleichung:

$$\begin{aligned} \text{Ladedauer ungefähr } 5 \cdot \tau &= 5 \cdot C \cdot R \\ &= 5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 10^5 \Omega \\ &= 5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ As/V} \cdot 10^5 \text{ V/A} \\ &= 5 \text{ s (Sekunden)}. \end{aligned}$$

Nimmt man bei gleichem Widerstand eine Kapazität von 10 nF, so beträgt die Ladezeit nur noch 5 Millisekunden (ms), und bei einer Kapazität von 10 pF sind es nur noch 5 Mikrosekunden ( $\mu$ s).

In gleicher Weise entlädt sich ein Kondensator in der Zeit  $t = 5 \cdot \tau$  fast vollständig und hat nach der Zeit  $t = \tau$  nur noch 37% seiner ursprünglichen Spannung. Den Entladevorgang zeigt die gestrichelte Kurve in Bild 12b.

#### 4.3 Ausführungen von Kondensatoren

Beim Kondensatorenaufbau unterscheidet man grundsätzlich zwischen Festkondensatoren und Drehkondensatoren. Zur ersten Gruppe gehören die **Metall-Papier-Kondensatoren**, auch MP-Kondensatoren genannt. Sie bestehen aus einem Papierband als Dielektrikum, auf das eine dünne Metallschicht aufgedampft worden ist. Aus Gründen der Platzersparnis werden die Papierbänder zu einem Wickel aufgerollt. Ein MP-Wickel besteht aus zwei solchen MP-Bändern. Bei mehrlagigem Aufbau sind isolierende Zwischenschichten zusammen mit den MP-Bändern aufgerollt. Auf die Stirnseiten des Wickels ist eine Metallschicht aufgespritzt, die als Anschluß für die stromführenden Beläge dient.

Von ähnlicher Bauart sind **Metall-Lack-Kondensatoren**, **Lackfolien-Kondensatoren** und **Kunststoff-Folien-Kondensatoren**.

**Keramik-Kondensatoren** sind für hohe Betriebsspannungen geeignet. Sie haben als Dielektrikum eine keramische Masse, auf der beidseitig ein Metallbelag aufgedampft ist.

**Glimmerkondensatoren** sind ebenfalls aufgrund der hohen Durchschlagsfestigkeit des Glimmers (ca. 50 kV/mm) für den Einsatz bei hohen Spannungen geeignet.

Ein häufig benutzter Typ ist der **Elektrolytkondensator**, auch Elko genannt. Bei ihm besteht das Dielektrikum aus einer isolierenden Aluminiumoxydschicht, die nur einige Tausendstel Millimeter dick ist. Elkos sind sogenannte gepolte Kondensatoren und dürfen deshalb nicht an Wechselspannung gelegt werden. Es gibt auch eine ungepolte Ausführung von Elektrolytkondensatoren. Hierbei sind zwei Kondensatoren mit entgegengesetzter Polung in Reihe geschaltet, so daß Wechselspannungsbetrieb möglich ist. Elkos werden bis zu einer Kapazität von 10 000  $\mu$ F für Betriebsspannungen bis etwa 1000 V gebaut.

Eine Weiterentwicklung der Elkos sind die **Tantalkondensatoren**. Es sind ebenfalls gepolte Kondensatoren, allerdings mit höherer Qualität und geringeren Abmessungen als normal Elkos. Zur zweiten Gruppe gehören die **Drehkondensatoren**. Es sind Kondensatoren mit veränderlicher Kapazität. Sie bestehen im einfachsten Fall aus zwei voneinander isolierten Platten, die durch Drehen verstellt werden können. Decken sich die Platten, so ist die Kapazität am größten. Als Dielektrikum dient meist Luft. Wir kennen diese Kondensatoren als mehrschichtige Ausführung aus Rundfunkempfängern, wo sie die Sendereinstellung besorgen.

Bei **Trimmerkondensatoren**, die nach dem gleichen Prinzip arbeiten, handelt es sich z. B. um zwei Keramikscheiben mit aufgedampften Silberbelägen. Diese Scheiben können mit einem Schraubenzieher gegeneinander verdreht werden. Sie dienen meist zur einmaligen Einstellung eines bestimmten Kapazitätswertes und werden anschließend mit Schraubensicherungslack gegen weiteres Verstellen gesichert.

#### 4.4 Parallelschaltung von Kondensatoren

Auch für die Kondensatoren sollen die Gesetzmäßigkeiten für die beiden Grundschaltungsarten erläutert werden. Die Parallelschaltung von Kondensatoren (Bild 13) wirkt wie eine Vergrößerung ihrer Plattenoberfläche. Das hat bei gegebener Spannung U eine entsprechende Vergrößerung der gespeicherten Elektrizitätsmenge zur Folge.

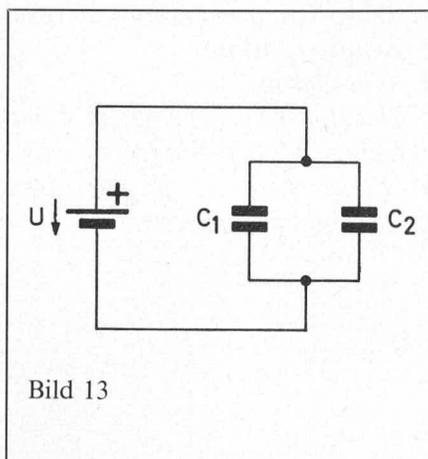


Bild 13

Die gesamte Elektrizitätsmenge Q kann man also schreiben als Summe der einzelnen Elektrizitätsmengen der parallel liegenden Kondensatoren.

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots$$

Mit der bereits abgeleiteten Beziehung  $Q = C \cdot U$  erhält man:

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

Daraus folgt:

$$C_g = C_1 + C_2 + \dots$$

Die Gesamtkapazität  $C_g$  mehrerer parallel geschalteter Kondensatoren ergibt sich also als Summe ihrer Einzelkapazitäten.

#### 4.5 Reihenschaltung von Kondensatoren

Bei der Reihenschaltung von Kondensatoren (Bild 14) muß die Elektrizitätsmenge auf allen hintereinanderfolgenden Belegungen gleich sein. Das bedeutet, daß  $Q = C \cdot U$  konstant ist.

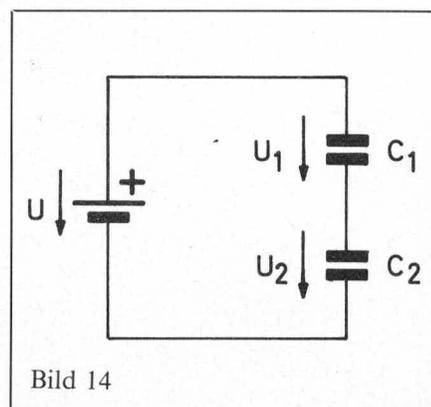


Bild 14

Die Gesamtspannung U setzt sich aus den Teilspannungen zusammen.

$$U = U_1 + U_2 + \dots$$

Das gleiche wird ausgedrückt durch:

$$\frac{Q}{C_g} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \dots,$$

und nach Division durch Q ergibt sich:

$$\frac{1}{C_g} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots,$$

so daß die Gesamtkapazität  $C_g$  kleiner ist als die Einzelkapazität. Für zwei hintereinandergeschaltete Kondensatoren erhält man die Beziehung

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

Es fällt auf, daß sich die Kapazitäten anders als die Widerstände verhalten. Das liegt am Leitwertcharakter der Kapazität. Würde man bei den Widerstandsschaltungen mit dem Leitwert  $G = 1/R$  rechnen, käme man bei der gleichen Schaltungsart auf analoge Gesetzmäßigkeiten zu den Kapazitäten.

In unserer nächsten Folge muß noch das magnetische Feld und die Induktivität behandelt werden. Danach befassen wir uns mit dem umfangreichen Gebiet der Wechselstromtechnik und mit Schaltungsarten der vorher kennengelernten Bauteile.