

Untersuchung und Reparatur einer Gleichrichterschaltung

Sie sind im Labor eines Unternehmens beschäftigt. In einer Gleichrichterschaltung ist ein Kondensator durchgebrannt. Der Gleichrichter ist von höchster Wichtigkeit, da er Wechselspannung in Gleichspannung umwandelt und dadurch die Versorgung eines Prozessors sicherstellt.

Es ist Ihre Aufgabe, das kaputte Bauteil zu reparieren.



Abbildung 1: „Brennender Kondensator“
Bild generiert von Dall-E 3 (CC0)

Sie werden die Funktion der Diode und des Kondensators in der Gleichrichterschaltung mithilfe eines Spannungssensors und einem Gerät zur digitalen Messwerterfassung untersuchen. Sie werden entscheiden, welchen Kondensator Sie verwenden müssen, um das defekte Bauteil zu reparieren.

Gehen Sie dabei folgendermaßen vor:

- 1) Machen Sie sich mit der Gleichrichterschaltung im **Material 1** vertraut. Achten Sie auch auf die Anforderungen des Prozessors.
- 2) Bauen Sie mehrere vereinfachte Versionen der Schaltung auf (**Material 2**) und stellen Sie jeweils den Spannungsverlauf am Widerstand graphisch dar.

Beschreiben Sie jeweils, welche Auswirkungen die Diode und der Kondensator (mit verschiedenen Kapazitäten) auf den Spannungsverlauf haben.
- 3) Erläutern Sie die Funktion der Diode und des Kondensators in der Schaltung (Experiment und **Material 3**).
- 4) Schätzen Sie ab, wie groß die Kapazität des neuen Kondensators mindestens sein muss, um das defekte Bauteil zu reparieren. Beachten Sie dabei die Anforderungen des Prozessors. Begründen Sie Ihre Entscheidung anhand Ihrer Messergebnisse aus Aufgabe 2.

Mögliche mathematische Vertiefung:

Berechnen Sie die mindestens erforderliche Kapazität des Kondensators. Nutzen Sie dazu **Material 4**.

Material 1: Die Gleichrichterschaltung

Bei dem betroffenen Bauteil handelt es sich um eine Gleichrichterschaltung, welche Wechselspannung in Gleichspannung umwandelt. Die Wechselspannung U_B beträgt 3 V bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$. Die Diode lässt den elektrischen Strom nur in eine Richtung durch. In Reihe zur Diode wurde ein Prozessor eingebaut, welcher einen Innenwiderstand von $1 \text{ k}\Omega$ aufweist.

Parallel zum elektrischen Widerstand befindet sich ein (polarisierter) Elektrolytkondensator, der durchgebrannt ist. Aufgrund von Gebrauchsspuren ist die Kapazität C des Kondensators nicht mehr ablesbar.

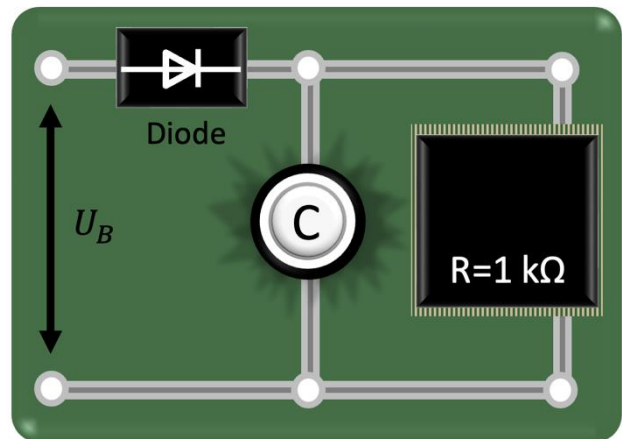


Abbildung 2: „Platine“ Autor: Jonas Kratschmar (CC BY SA 4.0), Lernaufgabe Gleichrichterschaltung

Bei der Reparatur des Bauteils ist es von zentraler Wichtigkeit, dass die Anforderungen des Prozessors beachtet werden.

Anforderungen des Prozessors:

- ✓ Der Prozessor benötigt eine Spannung, die zwischen **2,4 V** und **5 V** liegen muss.
- ✓ Bei einer Unterversorgung der Spannung länger als **2 ms** kann es zu Abstürzen und Ausfällen kommen.
- ✓ Bei einer Überversorgung der Spannung von mehr als **5 V** kann der Prozessor beschädigt werden.

Material 2: Versuchsaufbau zur Untersuchung des Bauteils

Achten Sie beim Einbau des Elektrolytkondensators auf die Polarität. Die Spitze des Pfeils der Diode muss zum Pluspol des Kondensators zeigen!

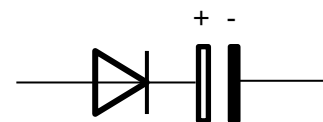


Abbildung 3: „Diode“ Autor: Jonas Kratschmar (CC BY SA 4.0), Lernaufgabe Gleichrichterschaltung

Material:

- Wechselspannungsquelle ($U_B = 3 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$)
- Spannungssensor zur digitalen Messwerterfassung (Abtastrate von $1.000 \text{ Hz} \leq f \leq 10.000 \text{ Hz}$)
- Widerstand ($R = 1 \text{ k}\Omega$)
- Diode
- unterschiedliche Kondensatoren (z.B.: $C_1 = 10 \text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = 100 \text{ }\mu\text{F}$, $C_3 = 470 \text{ }\mu\text{F}$)
- Steckplatine und Verbindungskabel

Versuchsaufbau:

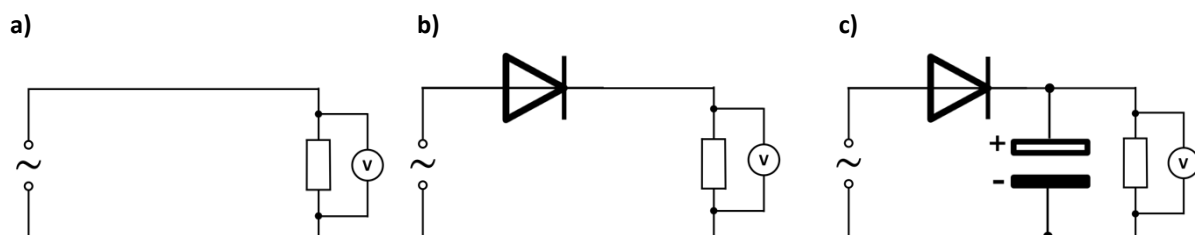


Abbildung 4: „Versuchsaufbau“ Autor: Jonas Kratschmar, Dr. Enno Mallwitz (CC BY SA 4.0), Lernaufgabe Gleichrichterschaltung

Material 3a: Auf- und Entladung eines Kondensators

Wird ein Kondensator an eine Spannung U angeschlossen, so lädt sich der Kondensator auf. Elektronen wandern auf eine Seite des Kondensators, während sie von der anderen Seite wegwandern. Es baut sich eine Spannung U_C zwischen den Kondensatorplatten auf. Der Kondensator lädt sich auf, während die Spannung U_C am Kondensator kleiner als die Spannung U ist. Der Kondensator entlädt sich, wenn die Spannungsquelle ausgeschaltet wird oder wenn sich die Spannung U zeitlich ändert.

Die Abbildung 5 zeigt in Blau die Spannung U , die abwechselnd ein und ausgeschaltet wird. Der Kondensator lädt sich auf, wenn $U_C < U$ ist und entlädt sich, wenn die Spannung $U = 0$ V ist. Der Verlauf der Auf- bzw. Entladekurve hängt von der Kapazität C des Kondensators und dem Widerstand R ab, über den der Kondensator entladen wird.

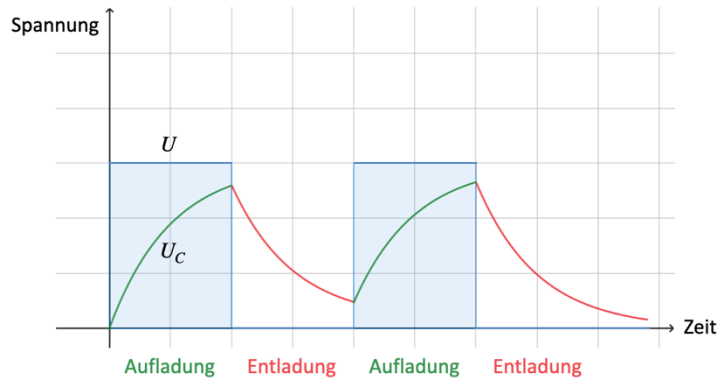


Abbildung 5: „Auf- und Entladung“ Autor: Dr. Enno Mallwitz (CC BY SA 4.0), Lernaufgabe Gleichrichterschaltung

Material 3b: Spannungsverlauf des Bauteils

Die Abbildung 6 zeigt den Spannungsverlauf am Widerstand bei der Schaltung mit Wechselspannung, Diode, Kondensator und Widerstand - siehe Schaltung c) in Material 2. In der oberen Abbildung ist in Blau die gleichgerichtete pulsierende Spannung U_p und in Rot die exponentiell abnehmende Entladekurve des Kondensators dargestellt.

Die untere Abbildung stellt den resultierenden Spannungsverlauf dar. Nach jeweils einer Periodendauer T erreicht die Spannung das Spannungsmaximum U_{max} , welches unter dem Wert der Spannung U_p liegt. Das Spannungsminimum U_{min} hängt von der Kapazität C des Kondensators und vom Widerstand R ab.

Da der Gleichrichter die Wechselspannung in eine möglichst konstante Gleichspannung umwandeln soll, muss die Kapazität C so gewählt werden, dass sie den Anforderungen des Prozessors entspricht.

Bei der Wahl sollte zudem beachtet werden, dass Kondensatoren mit großer Kapazität auch mehr kosten und größer sind. Sparen Sie also Geld und Platz.

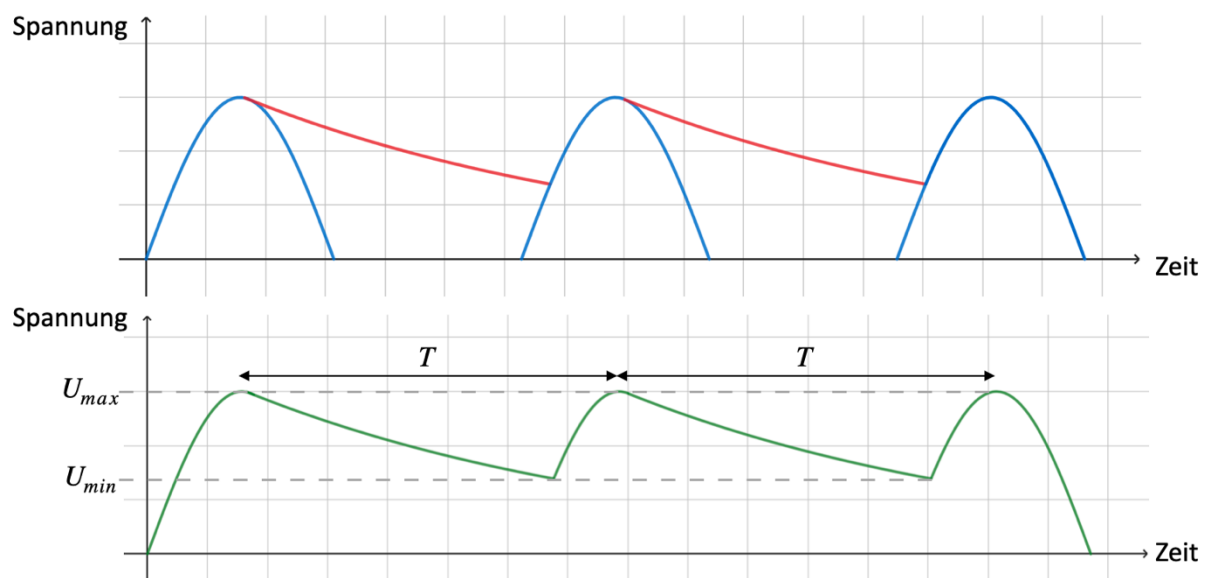


Abbildung 6: „Spannungsverlauf“ Autor: Dr. Enno Mallwitz (CC BY SA 4.0), Lernaufgabe Gleichrichterschaltung

Material 4: Mathematische Beschreibung des Entladevorgangs

Die Entladung eines Kondensators kann mit Hilfe einer Exponentialfunktion beschrieben werden. Dabei gilt für die Spannung U_C am Kondensator zum Zeitpunkt t :

$$U_C(t) = U_{max} \cdot e^{-\frac{1}{R \cdot C} \cdot t}$$

Hierbei ist U_{max} der maximale Wert der Spannung, R der Widerstand und C die Kapazität des Kondensators. e ist die Eulersche Zahl. Da der Exponent negativ ist, handelt es sich um eine exponentielle Abnahme. Die Gleichung beschreibt den in Rot gezeichneten Verlauf der Entladekurve in der Abbildung 6 in Material 3. Je größer der Term $\frac{1}{R \cdot C}$ im Exponenten ist, umso stärker fällt der Graph. Das bedeutet wiederum: Umso größer das Produkt $R \cdot C$, desto weniger stark fällt der Graph.

Eine Gleichung, bei der die gesuchte Größe im *Exponenten* auftritt, wird *Exponentialgleichung* genannt. Eine Exponentialgleichung wird gelöst, indem die Potenz isoliert wird und dann der Logarithmus auf beiden Seiten der Gleichung gebildet wird:

Potenz isoliert: $U_C(t) = U_{max} \cdot e^{-\frac{1}{RC} \cdot t} \quad | : U_{max}$

Logarithmieren: $\frac{U_C(t)}{U_{max}} = e^{-\frac{1}{RC} \cdot t} \quad | \ln(...)$

$$\ln\left(\frac{U_C(t)}{U_{max}}\right) = \ln\left(e^{-\frac{1}{RC} \cdot t}\right)$$

$$\ln\left(\frac{U_C(t)}{U_{max}}\right) = -\frac{1}{RC} \cdot t$$

Von der 3. zur 4. Zeile wurde verwendet, dass $\ln(e^x) = x$ gilt. Im Folgenden kann die Gleichung nach der gesuchten Größe umgestellt werden.

Hinweise zur Abschätzung:

Der Maximalwert der Spannung U_{max} liegt immer unter dem maximalen Wert der gleichgerichteten pulsierenden Spannung $U_P \approx 4,2 \text{ V}$ und kann mit Hilfe der Messergebnisse abgeschätzt werden.

Die Zeit t für die Entladung kann ebenfalls aus den Messergebnissen abgeschätzt werden, wobei die Zeit immer kleiner als die Periodendauer T sein muss.

Einordnung in den Rahmenlehrplan

(Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe Berlin Brandenburg 2021, gültig ab Schuljahr 2023/24 in die Qualifikationsphase)

Q1 Elektrisches Feld	
- Anwendungen von Kondensatoren in der Technik - Mögliche Kontexte: Glätten einer pulsierenden Gleichspannung - Mathematische Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Auf- und Entladen von Kondensatoren - Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Auf- und Entladen eines Kondensators auch mithilfe von Sensoren	
	Die Lernenden...
S4	bauen Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwerterfassungssystemen nach Anleitungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen.
S5	erklären bekannte Messverfahren sowie die Funktion einzelner Komponenten eines Versuchsaufbaus.
E4	modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen.
K3	entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder.
B3	entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab.
B6	beurteilen Technologien und Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung und Konsequenzen und schätzen Risiken, auch in Alltagssituationen, ein.

Bildnachweis

Bildtitel	Bildquelle	Seite
<i>Brennender Kondensator</i>	Bild generiert von Dall-E 3, CC0 ,	1
<i>Platine</i>	Jonas Kratschmar, CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gleichrichterschaltung	2
<i>Diode</i>	Jonas Kratschmar, Dr. Enno Mallwitz, CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gleichrichterschaltung	2
<i>Versuchsaufbau</i>	Jonas Kratschmar, Dr. Enno Mallwitz, CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gleichrichterschaltung	2
<i>Auf- und Entladung</i>	Dr. Enno Mallwitz, CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gleichrichterschaltung	3
<i>Spannungsverlauf</i>	Dr. Enno Mallwitz, CC BY SA 4.0 , Lernaufgabe Gleichrichterschaltung	3