

Versuch 2.2 Gleichrichterdiode

Praktikum: Grundlagen der Elektrotechnik und Halbleiterelektronik

Studierende: K. Ratteit, M. Arnold

Seminargruppe: 5CS23-1

Praktikumsgruppe: 11

Betreuende: Prof. Dr. S. Schneider,

Dipl.-Geophys. L. Aschmann

23. November 2023

Versuchsaufgabe:

Aufgabe 1 Gleichrichterdiode

(a) Bestimmen sie an der Gleichrichterschaltung in Abb. 1 durch eine oszillografische Messung **des Spannungsfalls an R_V** den Di-odenspitzenstrom I_{sp} und die Stromflussdauer Δt ! Führen Sie die Messungen für die Lastwiderstände $R_L = 470 \Omega$ und $R_L = 100 \Omega/2$ Watt durch! Als Spannungsquelle dient ein 8V- Wechselspannungs-steckernetzteil. Diskutieren Sie die Ergebnisse!

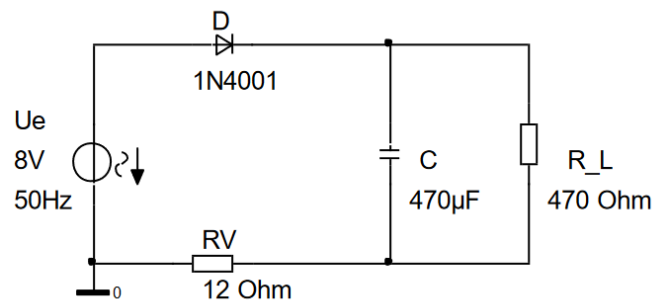


Abbildung 1: Gleichrichterschaltung

(b) Messen Sie **ohne den Kondensator C** die am Widerstand R_L auftretende Spitzenspannung $U_{R_{sp}}$ für $R = 470 \Omega$ und $R = 100 \Omega/2$ Watt, und ermitteln Sie daraus den experimentell vorliegenden Innenwiderstand R_i (einschließlich R_V) der Gleichrichterschaltung!

(c) Oszillographieren Sie am Kondensator $C = 470 \mu F$ für den Widerstand $R_L = 470 \Omega$ die Gleichspannung U_R und die ihr noch überlagerte Wechselspannung! Halten Sie das Ergebnis grafisch fest!

Aufgabe 2 Gleichrichterbrücke

(a) Entwerfen und skizzieren Sie eine Gleichrichterschaltung mit Glättungskondensator C und Lastwiderstand $R_L = 220 \Omega/2$ Watt unter Verwendung des Brückengleichrichters B40C800DIP (entspricht Typ DF04)!

(b) Skizzieren Sie das Oszillogramm der Gleichrichterschaltung mit und ohne Lastwiderstand R_L und dokumentieren Sie alle wichtigen Messwerte! Dabei verwenden Sie für den Glättungskondensator folgende Werte:

$$C = 0 \mu F \text{ (kein Glättungskondensator)}$$

$$C = 10 \mu F$$

$$C = 47 \mu F$$

$$C = 100 \mu F$$

$$C = 470 \mu F$$

Erklären Sie, was passiert!

(c) Warum schaltet man üblicherweise einen kleinen Keramik- oder Folienkondensator (ca. $100 nF$) parallel zum Glättungskondensator (üblicherweise einen Elektrolytkondensator)?

Aufgabe 3: Diskutieren Sie die Fehlereinflüsse beider Teilversuche!

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbereitung	1
1.1	Theoretische Grundlagen	1
1.1.1	Dotierung und <i>pn</i> -Übergang	1
1.1.2	Diodenkennlinie	3
1.1.3	Aufbau und Funktionsweise einer <i>pn</i> -Diode	4
1.1.4	Kennlinie eines ohmschen Widerstandes	5
1.1.5	Kondensator	5
1.1.6	Kapazität	6
1.1.7	Aufbau und Handhabung eines Elektrolytkondensators	7
1.1.8	Ein- und Ausschaltvorgänge am Kondensator, Zeitkonstante	7
1.1.9	Frequenz	10
1.1.10	Wechselstrom und Wechselspannung	10
1.1.11	Funktionsweise eines Oszilloskops	10
1.1.12	Unterschied Einweg- und Zweiweggleichrichtung	11
1.2	Planung des Experiments	13
1.3	Aufgabe 1	13
1.4	Aufgabe 2	15
2	Fehlerbetrachtung	20
3	Quellen	20

1 Vorbereitung

1.1 Theoretische Grundlagen

Zur Vorbereitung des Experiments sind folgende theoretische Grundlagen notwendig.

1.1.1 Dotierung und pn -Übergang

Unter Dotieren oder Dotierung versteht man das gezielte Verändern der Leitfähigkeit von Halbleitern, in dem man in den reinen Halbleiterwerkstoff Fremdatome einbaut.

- n -Schicht: enthält einen Donator, der die Leitfähigkeit des Halbleiters erhöht. Die hinzugefügten Elektronen tragen zur Entstehung eines Stromes bei.

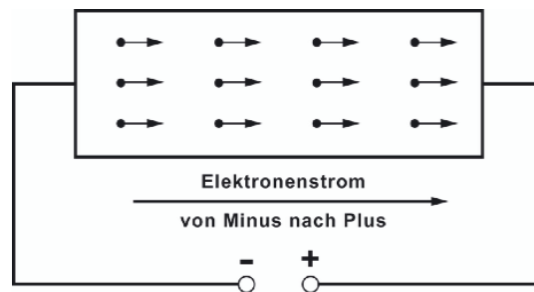


Abbildung 2: n -Dotierung mit Stromquelle

Schließt man eine Stromquelle an den n -Leiter an, so entzieht der Plus-Pol dem n -Leiter die Elektronen. Es entsteht ein Elektronenstrom von Minus nach Plus.

- p -Schicht: enthält einen Akzeptor, dem ein Elektron fehlt. Dadurch entsteht ein Loch in welches Elektronen gezogen werden, woraufhin an anderen Stellen Löcher entstehen. Ohne das Anlegen einer Spannung wandern die Löcher ungeordnet.

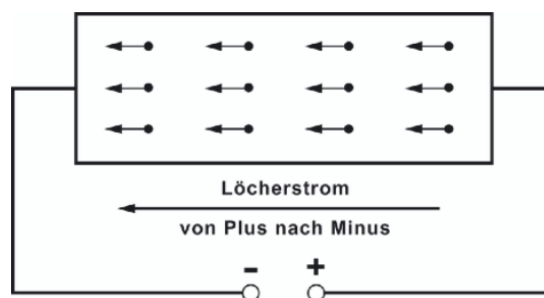


Abbildung 3: p -Dotierung mit Stromquelle

Schließt man eine Stromquelle an den p-Leiter an, so fließen Elektronen vom Minus-Pol in den p-Leiter und rekombinieren mit den Löchern. Der Plus-Pol entzieht nun dem p-Leiter wieder die Elektronen. Es fließt ein Löcherstrom von Plus nach Minus.

- *pn*-Übergang: Fügt man *p*-leitendes Material und *n*-leitendes Material zusammen, so entsteht ein Grenzbereich zwischen den Materialien, der *pn*-Übergang genannt wird. Dieser Bereich wird auch als Grenzschicht bezeichnet. Durch Zusammenfügen eines *p*-leitenden und eines *n*-leitenden Materials entsteht ein Bauelement das als Halbleiterdiode, kurz Diode, bezeichnet wird.

Ohne äußere Einwirkung durch Spannung oder Strom, sondern nur durch den Einfluss der Wärmeschwingungen, wandern die Elektronen (freie Ladungsträger) nahe des Grenzbereichs von der *n*-leitenden Schicht in die *p*-leitende Schicht.

Im Grenzbereich der beiden Schichten wandern viele Elektronen aus der *n*-Schicht in die *p*-Schicht. Die Elektronen aus der *n*-Schicht rekombinieren dabei mit den Löchern aus der *p*-Schicht. Das Wandern der Elektronen nennt man Ladungsträgerdiffusion.

Durch die Ladungsträgerdiffusion ist ein Ionengitter entstanden. Es ist eine an freien Ladungsträgern verarmte Sperrschicht und wird auch Raumladungszone genannt. In dieser Schicht herrscht ein starkes elektrisches Feld, das weitere Elektronenwanderungen verhindert.

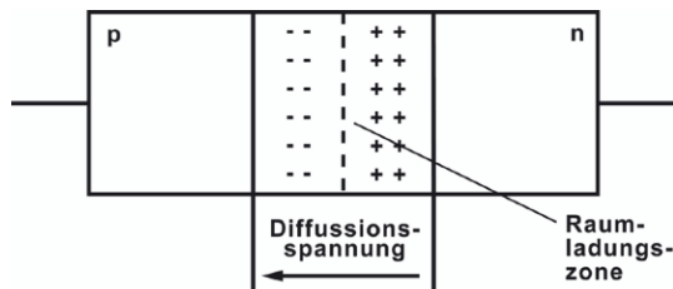


Abbildung 4: Diffusionsspannung

Wird die **Diode in Sperrrichtung** betrieben, so liegt die *p*-Schicht am Minus-Pol und die *n*-Schicht am Plus-Pol. Die Löcher der *p*-Schicht werden vom Minus-Pol angezogen, die Elektronen der *n*-Schicht werden vom Plus-Pol angezogen. Dadurch vergrößert sich die Sperrschicht, die auch Grenzschicht genannt wird. Es können keine Ladungsträger durch die Sperrschicht hindurch gelangen. Es kann nur ein sehr kleiner Strom durch die Sperrschicht fließen.

Wird die **Diode in Durchlassrichtung** betrieben, so liegt die *p*-Schicht am Plus-Pol und die *n*-Schicht am Minus-Pol. Die Löcher der *p*-Schicht werden vom Plus-Pol abgestoßen und die Elektronen der *n*-Schicht werden vom Minus-Pol abgestoßen.

Die Grenzschicht wird nun mit freien Ladungsträgern überschwemmt. Über den *pn*-Übergang hinweg, fließt ein Strom durch die Diode. Und die durch Ladungsdiffusion aufgebaute Diffusionsspannung wird abgebaut.

1.1.2 Diodenkennlinie

$$I = I_S \cdot (e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$$

$$I = I_S \cdot (e^{\frac{U}{26mV}} - 1) \quad (\text{bei Raumtemperatur } \sim 300\text{K})$$

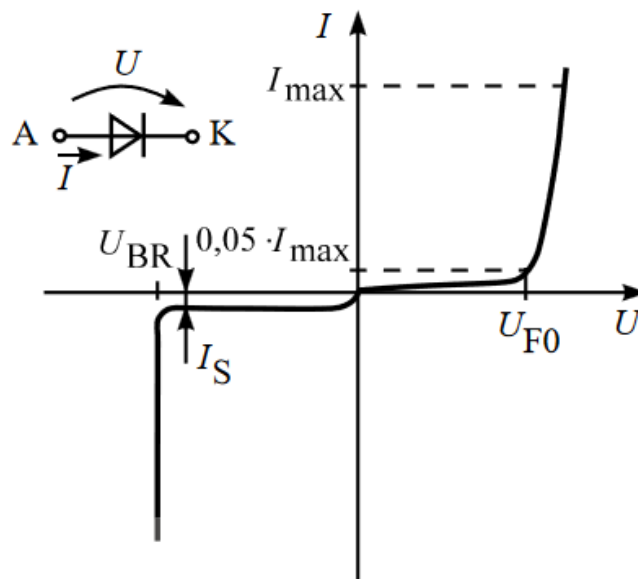


Abbildung 5: I-U-Kennlinie Diode

- I_{max} maximal zulässiger Durchlassstrom
- U_{F0} Schwellspannung, bei Siliziumdioden etwa bei 0,7 V
- I_S Sättigungsstrom
- U_{BR} Durchbruchsspannung
- Quadrant III - unten links - zeigt den Sperrbereich der Diode
- Quadrant I - oben rechts - zeigt den Durchlassbereich

Bei einer kleinen Durchlassspannung U_F fließt nur ein kleiner Strom I_F . Die Sperrschicht durch die Ladungsträgerdiffusion ist noch sehr groß. Die Halbleiterdiode bzw. der pn -Übergang ist noch sehr hochohmig. Mit steigender Spannung steigt auch der Strom. Aber nur ganz leicht. Ab einer bestimmten Durchlassspannung U_{F0} steigt der Durchlassstrom I_F stark an. Dieser Spannungswert wird auch Schleusenspannung genannt, weil die Sperrschicht abgebaut wird und der pn -Übergang sich für den Stromfluss öffnet. Die Schleusenspannung wird auch Schwellspannung genannt. Oberhalb der Schwellspannung bleibt die Halbleiterdiode niederohmig.

1.1.3 Aufbau und Funktionsweise einer pn -Diode

Die Halbleiterdiode bzw. Diode ist das Grundbauelement in der Halbleitertechnik. In der Halbleiterdiode wird der pn -Übergang abgebildet und dessen Funktionsweise als Bauelement genutzt. Die Halbleiterdiode besteht also aus einer p - und einer n -leitenden Schicht. Die Schichten sind in einem Gehäuse miteinander verbunden und mit Anschlüssen versehen.

Wegen dem pn -Übergang ist eine Halbleiterdiode gepolt. Ihre Haupteigenschaft ist, den Strom nur in eine Richtung durchzulassen. Oder anders ausgedrückt, ihr Leitfähigkeit hängt hauptsächlich von der Polung ab.

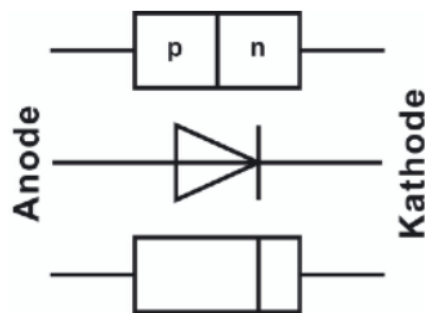


Abbildung 6: Diode

Schaltzeichen und Bauteil (axial) haben einen Markierungsring (Kathode). Das Dreieck im Schaltzeichen stellt die p -Schicht bzw. Anode dar. Der Balken die n -Schicht bzw. Kathode. Die Dreiecksspitze zeigt die technische Stromrichtung in Durchlassrichtung an. Die Diode wird mit dem Plus-Pol an der Anode in Durchlassrichtung und mit dem Plus-Pol an der Kathode in Sperrrichtung betrieben.

Die technische Stromrichtung beschreibt die Bewegungen positiver Ladungen vom Plus- zum Minus-Pol.

1.1.4 Kennlinie eines ohmschen Widerstandes

Die U-I-Kennlinie eines Leiters stellt den Zusammenhang zwischen angelegter Spannung und sich ergebender Stromstärke dar. Die Kennlinien von ohmschen Widerständen sind Ursprungshalbgeraden und zeigen damit die direkte Proportionalität von Spannung und Strom. Bei der Darstellung in Form einer U-I-Kennlinie ist der Proportionalitätsfaktor jedoch der sog. Leitwert und nicht der Widerstand des Leiters. Den Wert des Widerstandes erhält man als den Kehrwert des Proportionalitätsfaktors.

Daher gilt: Je steiler die Gerade im U-I-Diagramm verläuft, desto kleiner ist der Widerstand.

1.1.5 Kondensator

Ein Kondensator ist ein passives elektrisches Bauelement mit der Fähigkeit, in einem Gleichstromkreis elektrische Ladung und die damit zusammenhängende Energie statisch in einem elektrischen Feld zu speichern. Die gespeicherte Ladung pro Spannung wird als elektrische Kapazität bezeichnet und in der Einheit Farad gemessen.

- Parallelschaltung von Kondensatoren
 - Verhalten der Spannungen: An allen Kondensatoren liegt die gleiche Spannung an.

$$U_{ges} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$$

- Verhalten der Kapazität: Die Gesamtkapazität ist gleich der Summe der Einzelkapazitäten, da der Strom die Kondensatoren auflädt.

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

- Verhalten der Ladungen: Verhalten sich wie die Kapazität, die Gesamtladung ist gleich der Summe der Einzelladungen.

$$Q_{ges} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

- Reihenschaltung von Kondensatoren
 - Verhalten der Spannungen: Die Gesamtspannung teilt sich an den Kondensatoren in der Reihenschaltung auf. An der kleinsten Kapazität fällt die größte Spannung ab und an der größten Kapazität die kleinste.

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

- Verhalten der Kapazität: Die Gesamtkapazität ist kleiner als die kleinste Einzelkapazität. Durch jeden weiteren Reihenkondensator sinkt die Gesamtkapazität.

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

- Verhalten der Ladungen: Die Ladungen der Kondensatoren sind gleich groß.

$$Q_{ges} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots$$

1.1.6 Kapazität

Die Kapazität ist die Eigenschaft eines Bauteils eine elektrische Energie zu speichern. Der Kondensator ist das elektronische Bauelement, das diese ausgeprägte Eigenschaft besitzt. Die Kapazität hat als Formelzeichen das große C . Es ist die Abkürzung für das englische Wort Capacity. Die Maßeinheit ist das F für Farad.

Die Ladungsmenge hat das Formelzeichen Q und die Einheit Coulomb C . Die Ladung besteht aus Strom mal Zeit As (Ampere pro Sekunde).

$$C = \frac{Q}{U} \quad (\text{in Farrad } 1F = 1\frac{C}{V})$$

$$C = \frac{I \cdot t}{U} \quad (\text{in Farrad } 1F = 1\frac{As}{V})$$

Die Kapazität eines Kondensators wird durch seine baulichen Größen bestimmt. Die Kapazität C ist umso größer,

- je größer die Plattenoberfläche A
- je kleiner der Plattenabstand d
- je besser die Dipolbildung im Dielektrikum (je größer die relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r)

$$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

1.1.7 Aufbau und Handhabung eines Elektrolytkondensators

Die meisten Kondensatoren haben feste Kondensatorbeläge. Meistens sind es Folien aus metallischen Werkstoffen. Bei Elektrolytkondensatoren gibt es nur einen festen Werkstoff als Kondensatorbelag. Der andere Belag ist ein Elektrolyt, den es in flüssiger aber auch in fester Form gibt. Der flüssige Elektrolyt hat den Vorteil, dass damit sehr hohe Kapazitäten erreicht werden können. Allerdings hat es wie andere Flüssigkeiten den Nachteil, dass es trotz fest verschlossenem Kondensatorgehäuse im Laufe der Jahrzehnte austrocknet oder ausläuft. Der aufgedruckte Kapazitätswert auf einem Elektrolytkondensator ist nur ein Schätzwert, der nur unter Berücksichtigung einer hohen Toleranz stimmt. Deshalb sind die Toleranzwerte dieser Kondensatoren sehr hoch. Nahezu alle Elektrolytkondensatoren müssen richtig gepolt werden.

Beim Anlegen einer Wechselspannung oder einer falschen Polung der Spannungsquelle wird die isolierende Oxidschicht zerstört, der Elektrolyt verdampft und der Kondensator platzt auf.

1.1.8 Ein- und Ausschaltvorgänge am Kondensator, Zeitkonstante

Im Einschaltaugenblick springt der Strom von Null auf den Maximalwert. Ab diesem Augenblick wird der Strom nach einer e -Funktion immer kleiner. Die Spannungsquelle zieht die Elektronen der oberen Kondensatorfläche an und drückt sie auf die untere Kondensatorfläche. Bei diesem Vorgang wird der Kondensator aufgeladen. Die Verschiebung der Elektronen erzeugt einen Stromfluss. Das ist der Ladestrom, der sehr hoch ist.

Je länger der Ladevorgang dauert, desto weniger Strom fließt. Die Elektronen auf der oberen Fläche werden weniger. Während der Strom in Richtung Null sinkt, steigt die Spannung von Null auf den Maximalwert. Je größer die Spannung wird, umso größer wird der Widerstand des Kondensators. Ein Kondensator kann nur bis zu einer bestimmten maximalen Spannung aufgeladen werden.

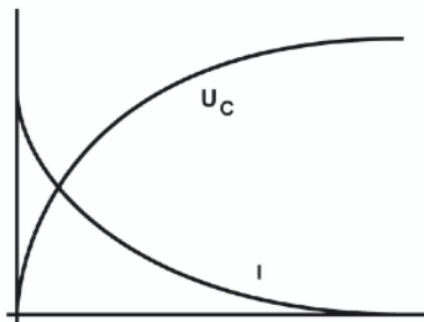


Abbildung 7: Spannung und Strom beim Laden des Kondensators

Hat die Kondensatorspannung U_C die Ladespannung U_{ges} erreicht, fließt kein Strom mehr und der Kondensatorwiderstand ist unendlich groß. Der Kondensator wirkt wie eine Sperre für den Gleichstrom.

$$U_C(t = 0) = 0 = Q(t = 0)$$

$$U_R(t = 0) = U_0$$

$$I(t = 0) = \frac{U_0}{R} = I_0$$

Beim Entladen wirkt der Kondensator wie eine Spannungsquelle mit einem geringen Innenwiderstand. Ab dem Entladezeitpunkt sinkt die Spannung vom Maximalwert auf Null ab. Der Strom wechselt seine Flussrichtung (Polarität) und sinkt vom Maximalwert auf Null ab. Er fließt also in entgegengesetzter Richtung zum Ladestrom. Die Spannung U_C verhält sich wie der Strom. Sie sinkt vom Maximalwert auf Null. Die Polarität bleibt erhalten. An dem Punkt, wo keine Strom mehr fließt, ist der Kondensator entladen.

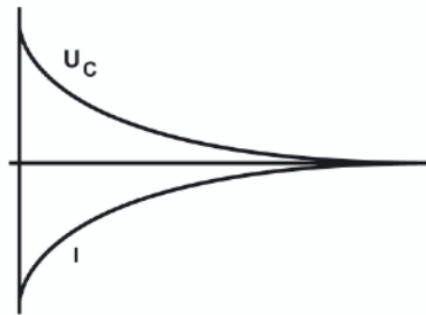


Abbildung 8: Spannung und Strom beim Entladen des Kondensators

$$U_C(t \rightarrow \infty) = U_0$$

$$Q(t \rightarrow \infty) = U_0 \cdot C$$

$$I(t \rightarrow \infty) = 0$$

Die Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$ ist unabhängig von Strom und Spannung und ihr Wert stellt eine Zeitspanne dar, die beim Auf- und Entladen des Kondensators eine Rolle spielt.

- **Beim Aufladen:**

- Der Anstieg der Ladung stellt ein beschränktes Wachstum dar:

$$Q(t) = Q_{max} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau C}})$$

$$Q_{max} = C \cdot |U_0|$$

- Nach der Zeitkonstante τ ist die Ladung auf ca. 63% der Maximalladung angestiegen.

- Die Stromstärke fällt exponentiell ab:

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_C}}$$

$$I_0 = \frac{|U_0|}{R}$$

- Nach der Zeitkonstante τ ist die Ladung auf ca. 37% der anfänglichen Stromstärke abgefallen.
- Die Spannung U_R über dem Widerstand fällt exponentiell ab:

$$U_R(t) = |U_0| \cdot e^{-\frac{t}{\tau_C}}$$

- Nach der Zeitkonstante ist die Spannung am Widerstand auf ca. 37% von der Nennspannung abgefallen.
- Der Anstieg der Spannung U_C über dem Kondensator stellt ein beschränktes Wachstum dar:

$$U_C(t) = |U_0| \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_C}})$$

- Nach der Zeitkonstante ist die Spannung am Kondensator auf ca. 63% von der Nennspannung angestiegen.

- **Beim Entladen:**

- Die Ladung auf dem Kondensator fällt exponentiell ab:

$$Q(t) = Q_{max} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_C}}$$

$$Q_{max} = C \cdot |U_0|$$

- Nach der Zeitkonstante ist die Ladung auf dem Kondensator auf ca. 37% der maximalen Ladung abgefallen.
- Der Betrag der Stromstärke im Stromkreis fällt exponentiell ab:

$$I(t) = -I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_C}}$$

$$I_0 = \frac{|U_0|}{R}$$

- Nach der Zeitkonstante ist der Betrag der Stromstärke auf ca. 37% der anfänglichen Stromstärke abgefallen.

- Der Betrag der Spannung über dem Widerstand fällt exponentiell ab:

$$U_R(t) = -|U_0| \cdot e^{-\frac{t}{\tau_C}}$$

- Nach der Zeitkonstante ist die Spannung über dem Kondensator auf ca. 37% vom Betrag der Nennspannung abgefallen.
- Die Spannung über dem Kondensator fällt exponentiell ab:

$$U_C(t) = |U_0| \cdot e^{-\frac{t}{\tau_C}}$$

- Nach der Zeitkonstante ist die Spannung über dem Kondensator auf ca. 37% vom Betrag der Nennspannung abgefallen.

1.1.9 Frequenz

Die positive und die negative Halbwelle einer Schwingung bezeichnet man als Periode. Die Zeit die zum Durchlaufen der Periode benötigt wird, ist die Periodendauer T . Die Periodendauer T wird in Sekunden angegeben. Die Frequenz f gibt die Zahl der Perioden an, die in einer Sekunde durchlaufen werden. Die Frequenz wird in Hertz Hz angegeben. 1 Hertz entspricht einer Schwingung pro Sekunde. Die Frequenz ist der Kehrwert der Periodendauer. Das bedeutet, die Frequenz ist um so größer, je kleiner die Periodendauer ist. $f = \frac{1}{T}$

1.1.10 Wechselstrom und Wechselspannung

Bei Wechselstrom und Wechselspannung spricht man von elektrischen Größen, deren Werte sich im Verlauf der Zeit regelmäßig wiederholen. Der Wechselstrom ist ein elektrischer Strom, der periodisch seine Polarität (Richtung) und seinen Wert (Stromstärke) ändert. Das selbe gilt für die Wechselspannung.

1.1.11 Funktionsweise eines Oszilloskops

Ein Oszilloskop stellt Spannung über ihren zeitlichen Verlauf dar. Das bedeutet, es werden die physikalische Größe Spannung und die Zeit gemessen. Ein Oszilloskop wird verwendet, wenn periodisch wiederkehrende Signale bildlich dargestellt und schnelle elektrische Vorgänge sichtbar gemacht werden müssen.

Die klassischen Messgrößen, die mit einem Oszilloskop gemessen werden, sind die Spannung und die Periodendauer eines Signals. Beides zusammen ergibt die Wechselspannung.

Damit sind wir wieder bei den periodisch wiederkehrenden Signalen, die sich mit einem Oszilloskop bildlich darstellen lassen. Die Spannung und die Periodendauer lassen sich vom Bildschirm ablesen. Die Frequenz lässt sich aus der Periodendauer berechnen.

Man legt die zu messende Wechselspannung zwischen der Eingangsbuchse und der Masse-Buchse an. Der Messbereichsdrehknopf ist so einzustellen, dass der Strahl in vertikaler Richtung möglichst weit ausgelenkt ist (nach oben).

1.1.12 Unterschied Einweg- und Zweiweggleichrichtung

Die **Einweg-Gleichrichterschaltung** besteht aus einer einfachen Diode. Die Polung der Diode bestimmt ob ein positiver oder ein negativer Spannungswert am Ausgang der Schaltung anliegt. Dadurch, dass die Halbleiterdiode den Strom nur in eine Richtung durchlässt, sperrt sie die vom Wechselstrom kommende zweite Halbwelle.

Am Ausgang der Einweg-Gleichrichterschaltung entsteht eine pulsierende Gleichspannung. Da der Strom nur in eine Richtung durch die Diode fließt, fehlt die jeweils zweite Halbwelle der Wechselspannung in der Ausgangsspannung U_a .

Die Brückengleichrichterschaltung wird auch als **Zweiweggleichrichter** bezeichnet. Sie besteht aus jeweils zwei parallel geschalteten Diodenpaaren. Der Wechselspannungseingang befindet sich zwischen den Diodenpaaren. Durch die Anordnung der Halbleiterdioden in der Schaltung fließt der Wechselstrom in zwei verschiedenen Wegen durch die Schaltung. Der Verbraucher wird dabei immer nur in einer Richtung vom Strom durchflossen.

Durch die Diodenschaltung wird der Stromfluss der zweiten Halbwelle der Eingangsspannung U_e hochgeklappt. Das bewirkt ein Pulsieren der Ausgangsspannung U_a . Sie wird auch als pulsierende Gleichspannung bezeichnet.

Durch die **Gleichrichterschaltung** entsteht eine stark pulsierende Gleichspannung. Zum Glätten dieser Spannung wird ein Kondensator verwendet. Meistens ein Elektrolytkondensator mit einer hohen Kapazität. Das Pulsieren der Spannung wird durch diesen Kondensator weitestgehend verhindert. Der Kondensator wird als Ladekondensator C_L bezeichnet.

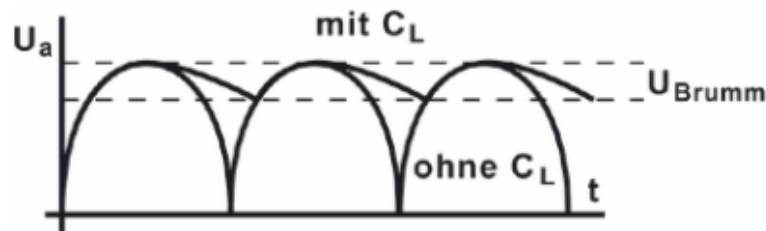


Abbildung 9: Brummspannung

Während der Zeit des Anstiegs der Spannung lädt der Kondensator sich auf. Zwischen den Halbwellen überbrückt der Kondensator die Spannungslücke. Je größer die Kapazität des Kondensators ist, um so besser ist die Glättung. Die Kapazität kann aber nicht beliebig hoch gewählt werden, da sonst der hohe Ladestrom des Kondensators die Gleichrichterioden zerstören würde. Die Restwelligkeit der geglätteten Wechselspannung wird Brummspannung genannt. Die Brummspannung ist der Wechselspannungsanteil der geglätteten Wechselspannung. Die Brummspannung ist eine messbare Größe, die mit einem Oszilloskop dargestellt werden kann. Sie ist abhängig von:

- Der Kapazität des Ladekondensators C_L , nämlich umso kleiner, je größer C_L .
- Der Zeit (Frequenz) mit der der Ladekondensator aufgeladen wird.
- Von der Belastung/ Stromentnahme.

Warum ist die Stromflussdauer ein entscheidender Parameter für die Schaltung?

$$C = I \cdot \frac{\Delta t}{\Delta U}$$

$$I = C \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

- C - Kapazität des Kondensators
- I - Ladestrom
- Δt halbe Periodendauer, wird aus der Frequenz der Spannung berechnet. Bei einer Netzspannung von 50 Hz ist $\Delta t = \frac{1}{2} \cdot T = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{50} = 10 \text{ ms}$
- ΔU Brummspannung

1.2 Planung des Experiments

Als Messgeräte und Hilfsmittel stehen zur Verfügung: Digitalmultimeter, DC-Spannungsquelle, Frequenzgenerator, Oszilloskop, Elektroniksteckbrett, Laborkabel, Messleitungen, Bauelemente (Widerstand, Kondensator)

Begriffserklärungen:

- Werte Widerstand: 100Ω 2 Watt gibt die Belastbarkeit des Widerstandes an. In diesem Fall beträgt die Belastbarkeit 2 Watt. $1W = \frac{1J}{s}$. Joule ist die Maßeinheit der elektrischen Energie.
- Berechnung Innenwiderstand:

$$R_i = \frac{U_q}{I_K} \quad (U_q \text{ Quellspannung/ Leerlaufspannung, } I_K \text{ Kurzschlussstrom})$$

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (\text{Spannungs- und Stromdifferenz})$$

- Bestimmung des Diodenspitzenstroms:

$$I = \frac{U}{R_V} \quad (\text{Messung der Spannung } U \text{ an } R_V)$$

1.3 Aufgabe 1

- **Teilaufgabe a)**

- Spannung an R_V bei 470Ω Lastwiderstand R_L : $1,75 V$
- $\Delta t = 4,4 ms$
- Diodenspitzenstrom: $I = \frac{U}{R} = \frac{1,75 V}{12 \Omega} = 0,146 A$
- Spannung an R_V bei 100Ω Lastwiderstand R_L : $4,2 V$
- $\Delta t = 6,4 ms$
- Diodenspitzenstrom: $I = \frac{U}{R} = \frac{4,2 V}{12 \Omega} = 0,35 A$

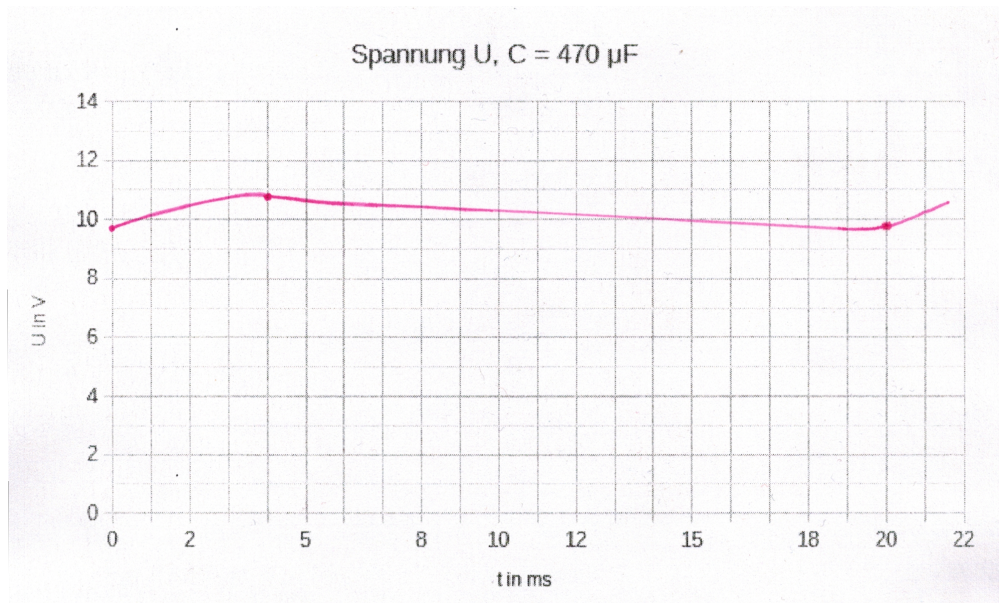
- **Teilaufgabe b)**

- Spitzenspannung U_{Sp} an Lastwiderstand R_L mit 470Ω : $12,5 V$
- $I = \frac{U}{R} = \frac{12,5 V}{470 \Omega} = 0,0266 A$
- Spitzenspannung U_{Sp} an Lastwiderstand R_L mit 100Ω : $10,8 V$
- $I = \frac{U}{R} = \frac{10,8 V}{100 \Omega} = 0,108 A$

- Daraus ergeben sich $\Delta U = 1,7 \text{ V}$ und $\Delta I = 0,0814 \text{ A}$
- Innenwiderstand $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{1,7 \text{ V}}{0,0814 \text{ A}} = 20,88 \Omega$

• **Teilaufgabe c)**

- Maximale Spannung am Kondensator C : $10,8 \text{ V}$ nach 4 ms
- Minimale Spannung am Kondensator C : $9,9 \text{ V}$
- Periodendauer: $20,05 \text{ ms}$
- Gleichspannung: $10,35 \text{ V}$



1.4 Aufgabe 2

- Teilaufgabe a)

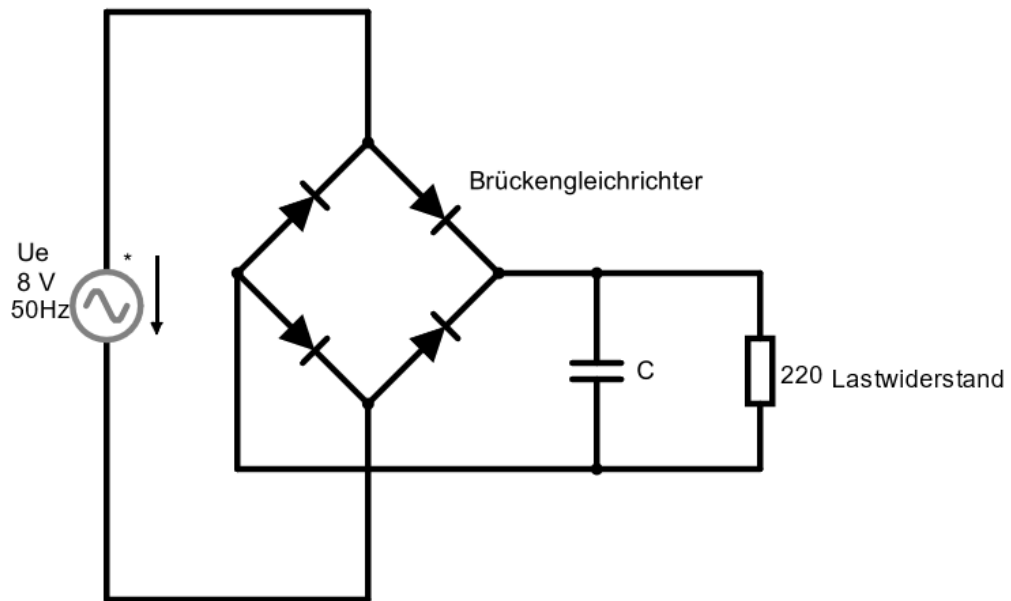
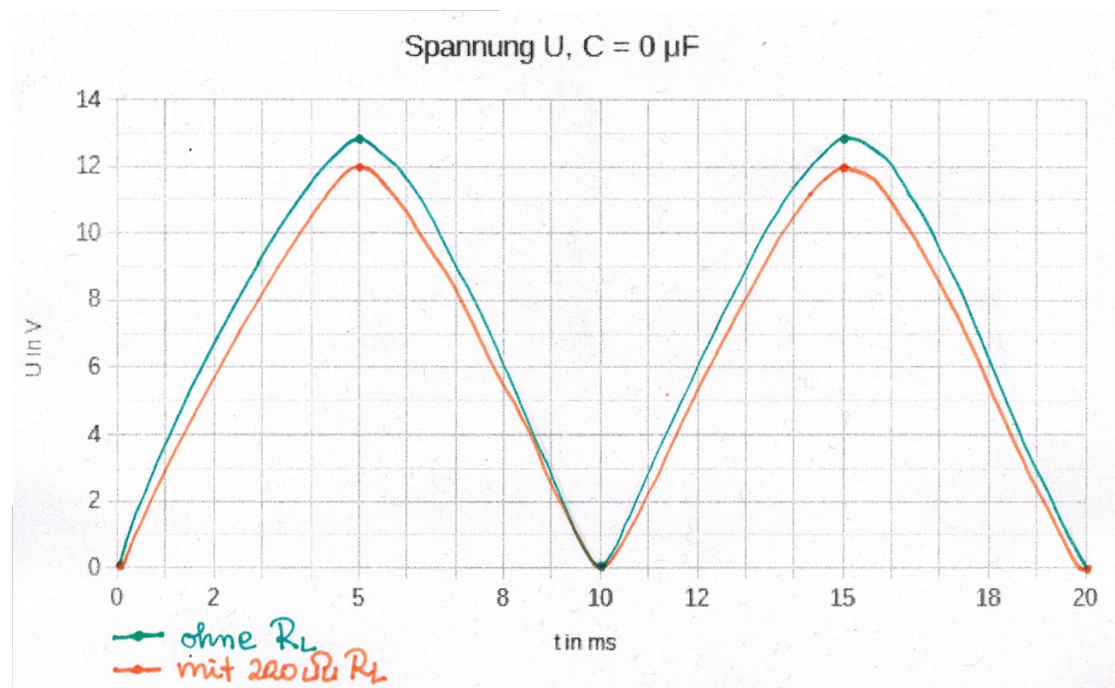


Abbildung 10: Entwurf der Schaltung

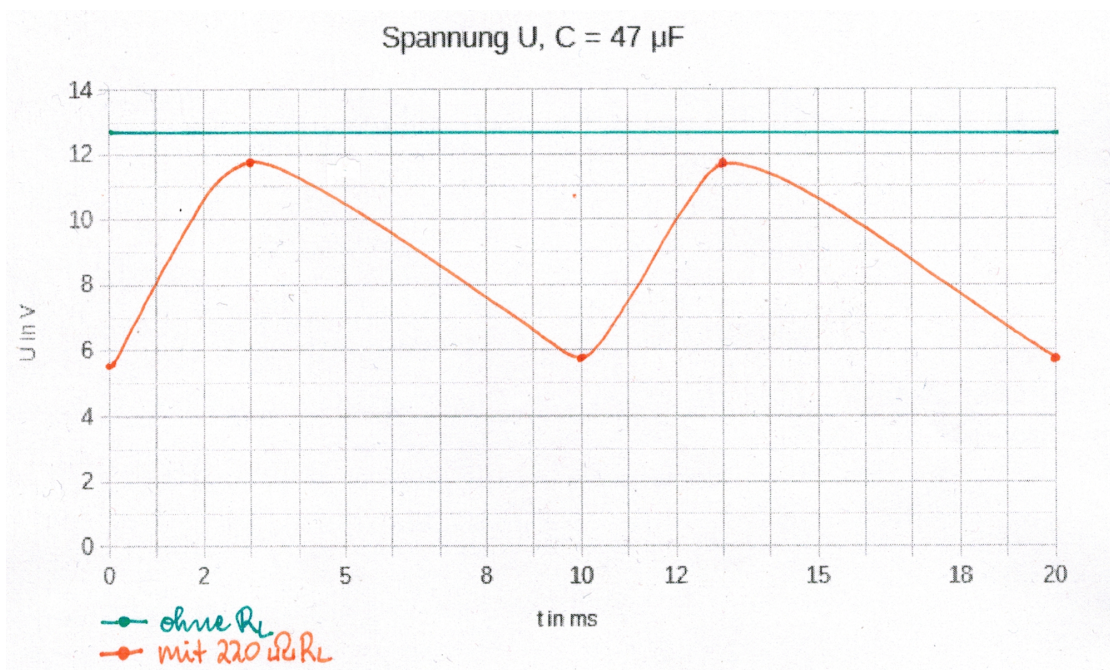
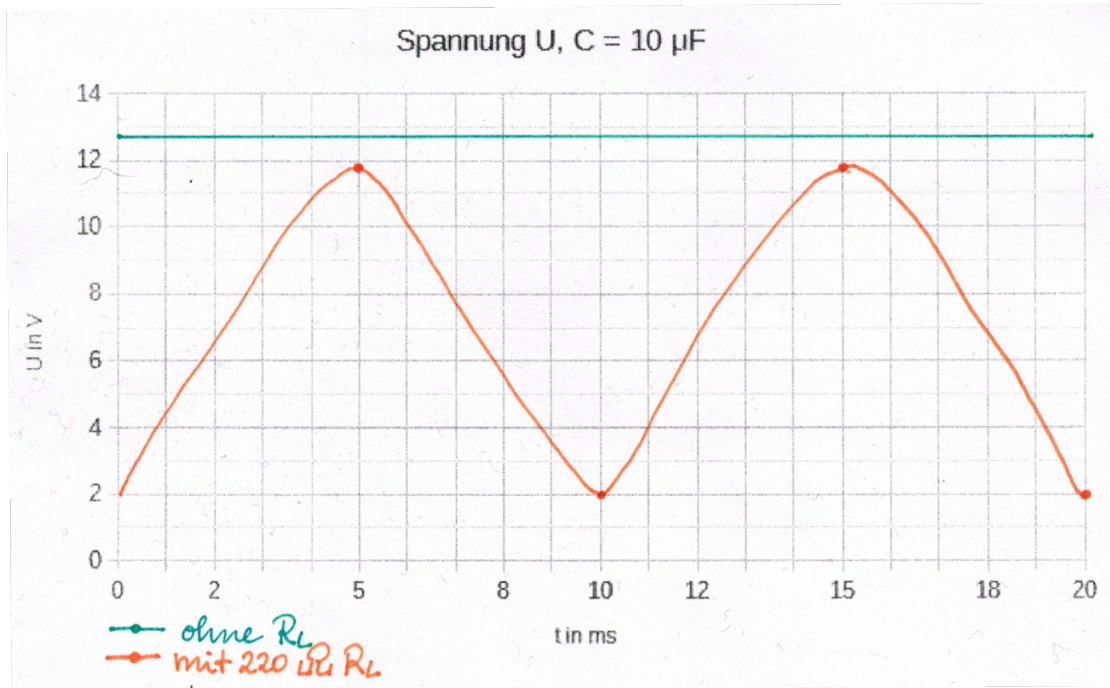
- Teilaufgabe b)

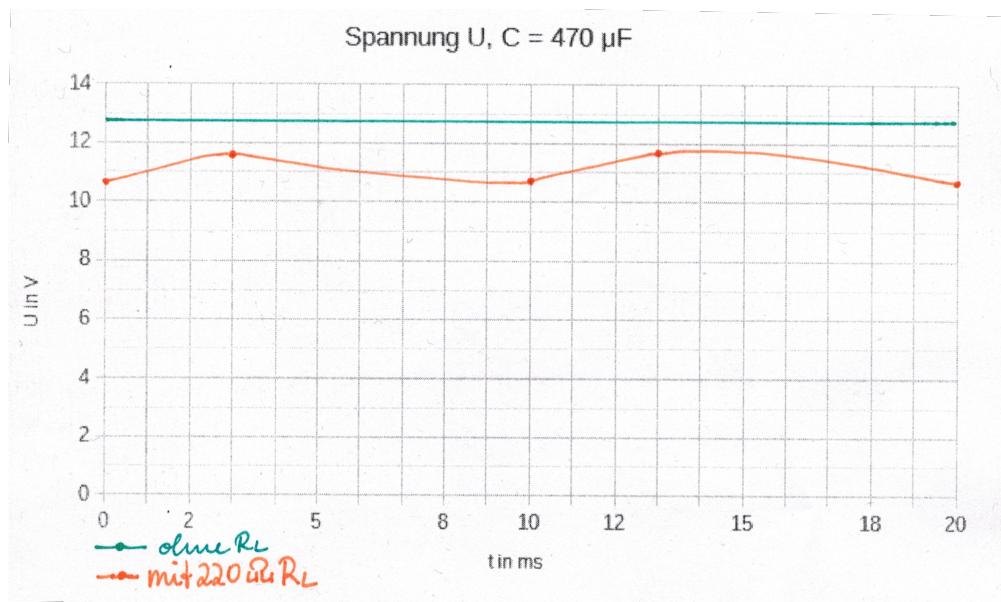
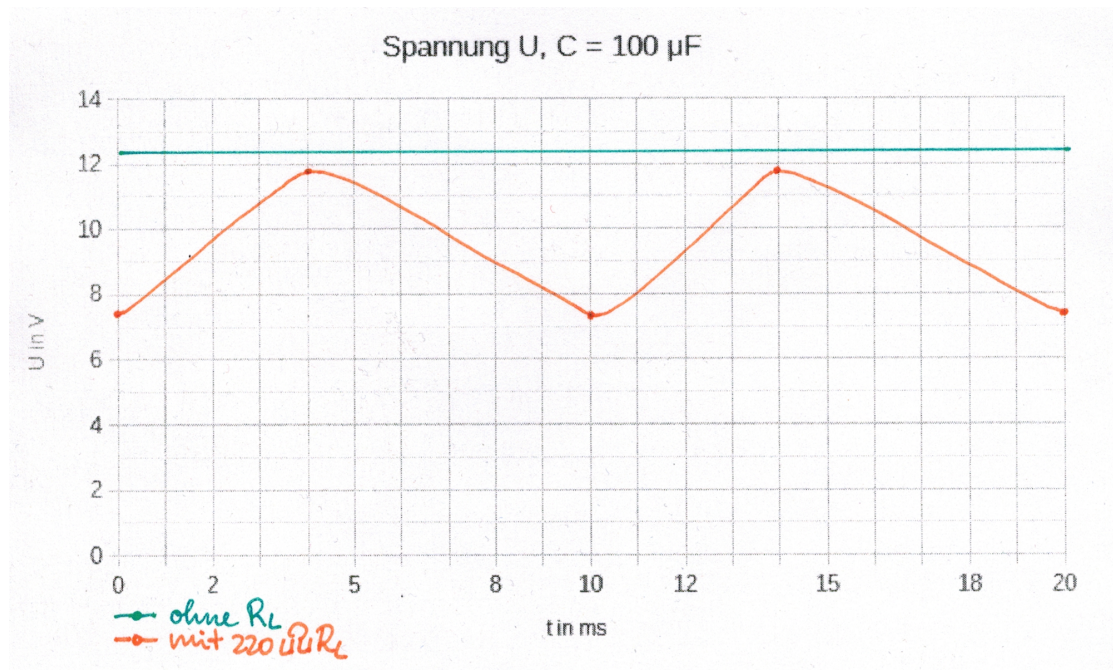
Tabelle 1: Dokumentation der Messwerte für die Skizze

C in μF	Spannung U ohne R_L	Spannung U an $R_L = 220 \Omega$
0	max. 12,9 V, nach 5 ms min. 0 V, $T = 10$ ms	max. 12 V, nach 5 ms min. 0 V, $T = 10$ ms
10	12,8 V, $T = 10$ ms	max. 11,9 V, nach 5 ms min. 2 V, $T = 10$ ms
47	12,8 V, $T = 10$ ms	max. 11,9 V, nach 3 ms min. 5,9 V, $T = 10$ ms
100	12,4 V, $T = 10$ ms	max. 11,9 V, nach 4 ms min. 7,3 V, $T = 10$ ms
470	12,8 V, $T = 10$ ms	max. 11,6 V, nach 3 ms min. 10,8 V, $T = 10$ ms



Was man in unseren Skizzen der Messwerte sehr gut sieht ist die Glättung der Spannung, der das Pulsieren der Gleichspannung ausgleicht. Das Ergebnis deckt sich mit der Theorie unter dem Punkt 1.1.12 - Gleichrichterschaltung. Ohne den Verbrauchswiderstand R_V erzeugt diese Schaltung einen konstanten Gleichstrom, der sich in der durchgehenden Linie äußert, da der Kondensator durchgängig aufgeladen ist. Ohne den Glättungskondensator sieht man in der ersten Messung deutlich die pulsierende Gleichspannung in der Skizze der Messwerte.





- **Teilaufgabe c)** Man tut dies, wegen der parasitären Induktivität insbesondere größerer Elektrolytkondensatoren. Diese bildet mit der Kapazität des Elektrolytkondensators einen Schwingkreis, der ab einer bestimmten Frequenz dafür sorgt, dass der Elektrolytkondensator kaum noch Kapazität hat. Das wird durch den kleinen Keramikkondensator ausgeglichen, der die höheren Frequenzen und steilen Impulse gegen die Masse ableitet, die der Elektrolytkondensator nicht erwischt. Vom Aufbau her ähnelt ein Elektrolytkondensator ja einer Spule mit seiner Wicklung.

2 Fehlerbetrachtung

Wir haben diesen beiden Versuchen viel mit dem Oszilloskop gearbeitet, daher treffen die hier im ersten Abschnitt erwähnten Punkte besonders zu:

Messmittel: Jedes Messgerät hat eine Genauigkeitsklasse, die einbezogen werden muss. Auch haben Bauteile eine bestimmte Fertigungstoleranz, die die Messung beeinflussen kann. Minimiert werden solche Fehler durch sachgemäße Handhabung, Wartung der Geräte und Bauteile sowie Verwendung von hochwertigen Bauteilen. Insbesondere beim Oszilloskop sind Messungen mit sehr genauen Nachkommastellen manchmal aufgrund der Skala nicht möglich, zumal wir ein analoges Modell zur Verfügung hatten.

Besonderheiten des Elektrolytkondensators: Wie bereits in den theoretischen Grundlagen erwähnt haben Elektrolytkondensatoren verhältnismäßig große Toleranzwerte, die die Ergebnisse verfälschen können. Auch altern Kondensatoren, der Elektrolyt zersetzt sich mit der Zeit, was sich auf die Ergebnisse auswirkt. Das Dielektrikum, das im Inneren des Kondensators zur Trennung der leitenden Platten verwendet wird, ist zudem kein perfekter Isolator, was dazu führt, dass ein sehr kleiner Strom durch das Dielektrikum fließt, was als Leckstrom bezeichnet wird.

Experimentator: Die Person, die das Experiment durchführt kann Fehler begehen. Das beginnt bei Ablesefehlern am Messgerät oder der Umrechnung der Skala am Oszilloskop. Minimiert werden solche Fehler durch gute Vorbereitung, gute Verfassung der Experimentatoren und eine ordentliche Arbeitsumgebung.

Nicht-ideale Spannungsquelle: In einem realen Stromkreis kommt es zu Abweichungen von der idealen Spannungsquelle und dadurch zu ungenauen Messungen. Das Wechselspannungssteckernetzteil hat zum Beispiel keine exakte Sinusspannung abgegeben, wie man am Oszilloskop beobachten konnte.

3 Quellen

- Schnabel, Patrick: Elektronik-Fibel: Elektronik-Grundlagen, Messtechnik, Bauelemente, Schaltungstechnik, Digitaltechnik, 8. überarbeitete Auflage, April 2023, Books on Demand, 2002.