

Versuch 2: Diodenkennlinien

Leonie Dessau & Carla Vermöhlen

22. August 2025

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Theorie | 3 |
| 3 | Voraufgaben | 5 |
| 3.1 | A | 5 |
| 3.2 | B | 5 |
| 3.3 | C | 5 |
| 3.4 | D | 7 |
| 3.5 | E | 7 |
| 3.6 | F | 8 |
| 3.7 | G | 8 |
| 3.8 | H | 8 |
| 3.9 | I | 8 |
| 3.10 | J | 9 |
| 3.11 | K | 10 |
| 4 | Versuchsaufgabe 1: Statische Messung der Diodenkennlinie | 11 |
| 4.1 | Durchführung | 11 |
| 4.2 | Auswertung | 11 |
| 5 | Versuchsaufgabe 2: Oszillogramm der Diodenkennlinie | 11 |
| 5.1 | Durchführung | 11 |
| 5.2 | Auswertung | 11 |
| 6 | Versuchsaufgabe 3: Oszillogramm des Einweggleichrichters | 11 |
| 6.1 | Durchführung | 12 |
| 6.2 | Auswertung | 12 |
| 7 | Versuchsaufgabe 4: Oszillogramm des Zweiweggleichrichters | 12 |
| 7.1 | Durchführung | 12 |
| 7.2 | Auswertung | 12 |
| 8 | Versuchsaufgabe 5: Stabilisierung mit Zenerdiode | 12 |
| 8.1 | Durchführung | 13 |
| 8.2 | Auswertung | 13 |
| 9 | Fazit | 13 |
| 10 | Anhang | 13 |
| 10.1 | Quellen | 13 |

Vorbemerkungen

Dieses Protokoll wurde gemeinsam von Carla Vermöhlen und Leonie Dessau erstellt und (außer uns sind Fehler bei der Versionierung unterlaufen) zwei mal gleich abgegeben. Quellcode (auch L^AT_EX) verfügbar auf <https://github.com/byteOfWisdom/the-ep-cant-hurt-you>. Schaltbilder ohne explizite Quelle sind mit Tikz erzeugt, Diagramme ohne explizite Quelle mit Python (Oder gnuplot. Oder Julia.). Die Signaldiagramme wurden mit den csv Dateien aus dem Oszilloskop geplottet.

1 Einleitung

Dieser Versuch beschäftigt sich mit verschiedenen Dioden und ihren Eigenschaften. Es werden sowohl statisch als auch mit dem Oszilloskop Kennlinien aufgenommen. Danach werden Ein- und Zweiweggleichrichter untersucht. Zuletzt wird eine Zenerdiode zur Spannungsstabilisierung verwendet.

2 Theorie

Bändermodell In der Gitterstruktur eines Festkörpers beobachtet man nicht mehr die diskreten Energieniveaus der einzelnen Atome oder Moleküle, sondern kontinuierliche Energiebänder. Im Band kann ein Elektron einen beliebigen Energiewert annehmen. Die Werte außerhalb der Bänder sind verboten. Die Bänder entstehen durch Überlagerung der elektromagnetischen Potenziale der benachbarten Atome. Durch den Zeemann-Effekt werden die diskreten Niveaus aufgespalten und fügen sich zu den zuvor beschriebenen Bändern zusammen. Die Außenelektronen werden stärker durch die benachbarten Atome beeinflusst, als die kernnahen, da für sie die Kernanziehung geringer ist. Das äußerste vollständig besetzte Band nennt man Valenzband und das Band darüber Leitband. Die Lücke zwischen den Bändern bestimmt das Leitverhalten des Stoffes. In diesem Versuch sind insbesondere Halbleiter interessant, die im folgenden genauer erklärt werden.

Halbleiter Ein Halbleiter zeichnet sich dadurch aus, dass seine Leitfähigkeit temperaturabhängig ist. Diese Eigenschaft lässt sich an Hand des Bändermodells erklären. In einem Halbleiter ist die Bandlücke, also der energetische Abstand zwischen Valenz- und Leitband, gering genug, dass Elektronen durch thermische Energie vom Valenzband ins Leitband angeregt werden können. Das Elektron kann dann im Leitband fließen, da es dort unbesetzte Energiezustände gibt. Im Valenzband selbst bleibt dann eine Lücke zurück, die auch zur Leitung beiträgt, weil die Valenzelektronen sich jetzt auch in ihrem Band bewegen können.

Dotierung Unter Dotierung versteht man das Einbringen von Fremdatomen in eine homogene Gitterstruktur. Die Anzahl der Außenelektronen der Fremdatome unterscheidet sich von der, der Gitteratome. Bei n-Dotierung hat das Dotierungsatom ein Außenelektron mehr, welches nicht in der Gitterstruktur gebunden ist, sondern frei ist. Bei p-Dotierung hat das Dotierungsatom ein Außenelektron weniger. Es gibt also ein Loch in der Gitterstruktur, was als freier positiver Ladungsträger verstanden werden kann.

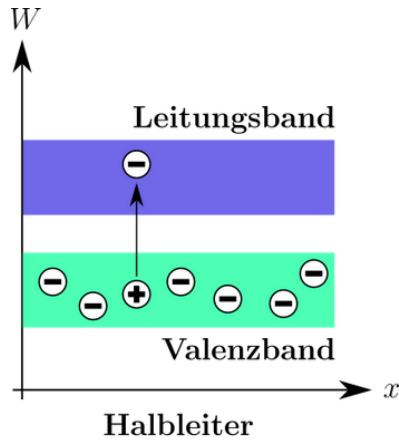


Abbildung 2.1: Halbleiter im Bändermodell

Diode Eine Diode besteht aus einer n und einer p dotierten Schicht, des gleichen Materials (z.B. Silizium mit 4 Außenelektronen). Die freien Ladungsträger aus beiden Schichten rekombinieren zu Ionen. Die Akzeptoratome im p-dotierten Material nehmen die freien Elektronen von den Donatoratomen aus dem n-dotierten Material auf. Es bildet sich eine Raumladungszone im Material aus und die freien Ladungsträger sind gebunden. Da die Ladung nun räumlich getrennt ist, hängt die Leitfähigkeit von der Polung des Stroms ab. Die entstehende Spannung heißt Diffusionsspannung und wird je nach Polung kompensiert oder verstärkt. Bei gleicher Polung der anliegenden Spannung wie die Diffusionsspannung fließt kein Strom; dies ist die Sperrrichtung. Bei entgegengesetzter Polung wird die Diffusionsspannung kompensiert und es fließt ein Strom; dies ist die Durchlassrichtung. Die sogenannte Kennlinie zeigt das Verhalten der Diode für eine gegebene anliegende Spannung.

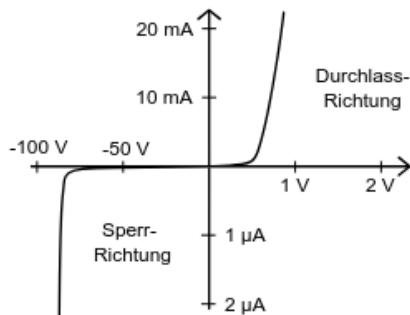


Abb. 2.2: Strom-Spannungs-Kennlinie einer typischen Silizium-Kleinsignaldiode (schematisch)

Abbildung 2.2: Kennline einer Diode

Gleichrichter Ein Gleichrichter wandelt Wechselstrom in Gleichstrom. Dies funktioniert mit der Sperrrichtung der Dioden. Da Wechselstrom periodisch seine Polarität ändert, kommt nur der Teil der in Durchlassrichtung gepolt ist durch. Allerdings hat der resultierende Strom immernoch periodische Schwankungen um einen Mittelwert. Die Polarität des Stroms bleibt gleich. Zur Beseitigung dieser Schwankungen wird ein Kondensator parallel hinter den Gleichrichterausgang geschaltet.

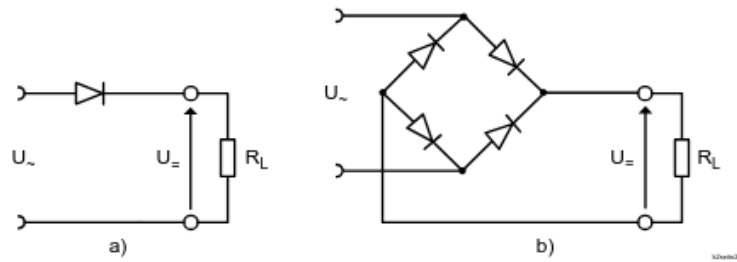


Abb. 2.4: Ein- und Zweiweggleichrichter

Abbildung 2.3: Aufbau eines Ein- und eines Zweiweggleichrichters

Zenerdiode Eine Zenerdiode besteht aus einer sehr stark n-dotierten und einer sehr stark p-dotierten Schicht. Die Grenzschicht bzw. Raumladungszone ist also klein, da starke Rekombination auftritt. Die Zenerdiode funktioniert in Durchlassrichtung genau wie eine normale Diode. Betreibt man sie in Sperrrichtung steigt ab einer gewissen Durchbruchspannung der Strom schlagartig um mehrere Größenordnungen an. Im Gegensatz zu einer normalen Diode geht die Zenerdiode davon nicht kaputt und kann bei einer geringeren Spannung wieder normal in Sperrrichtung betrieben werden. Bei geringen Durchbruchspannungen ist der Zener-Effekt für den Durchbruch verantwortlich. Hierbei tunneln die Elektronen durch die dünne Sperrschicht. Bei höheren Durchbruchspannungen ist der Lawinendurchbruch dominierend. Die Elektronen lösen durch Stöße die Valenzelektronen aus dem Gitter in der Raumladungszone hinaus, wenn ihre Energie durch die äußere Feldstärke groß genug ist. Sie rekombinieren nicht und können so noch mehr Elektronen lösen. Der Strom steigt schlagartig an.

3 Voraufgaben

3.1 A

Aufgabenstellung: Was bestimmt die Dicke der Grenzschicht in einem p-n-Halbleiter?

Die Dicke der Grenzschicht hängt vom Grad der Dotierung ab, da bei höherem Dotierungsgrad mehr freie Ladungsträger zur Verfügung stehen und somit starke Rekombination auftritt, die Raumladungszone also klein wird.

3.2 B

Aufgabenstellung: Wie ändert sich die Kapazität einer Diode im Sperrfall mit der angelegten Spannung?

Die Kapazität nimmt bei steigender Spannung ab, da sich die Raumladungszone (Grenzschicht) verbreitert. Dabei verhält sich die Grenzschicht analog dem Dielektrikum eines Plattenkondensators. Die Kapazität des Plattenkondensators ist antiproportional zum Abstand.

3.3 C

Aufgabenstellung: Skizzieren Sie den Kennlinienverlauf, $I = f(U)$, der Zweipole aus Abb. 2.3 ($R = 100 \Omega$; $D = \text{Diode}$). Erläutern Sie bei c) und d) den Einfluss der Widerstände.

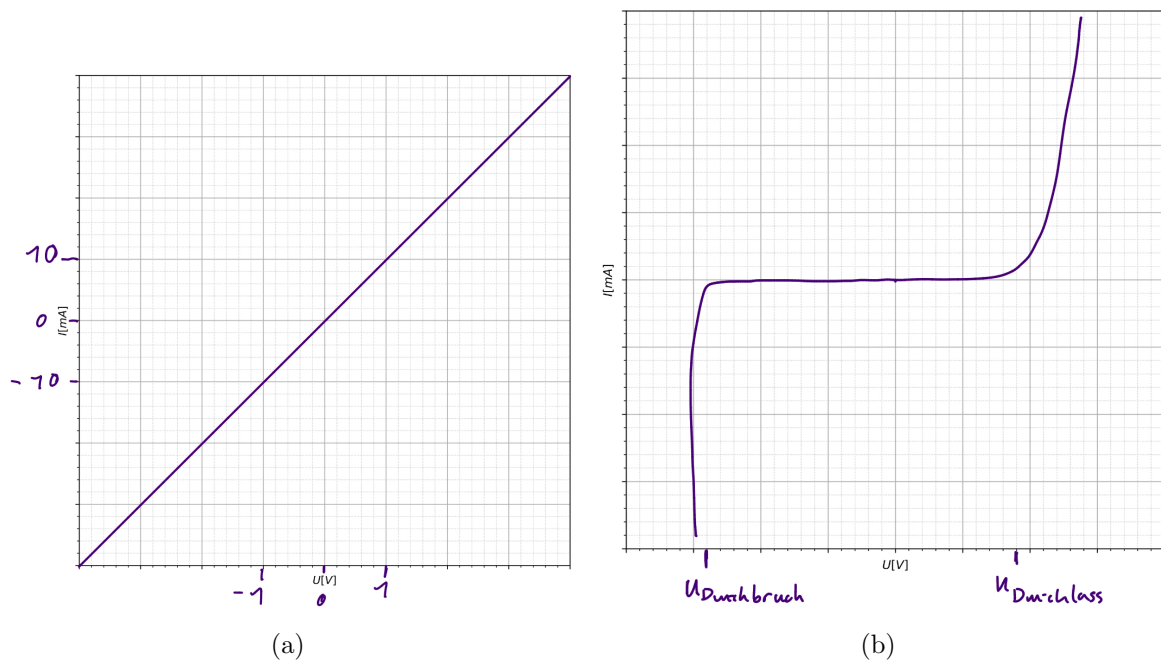


Abbildung 3.1: a) Kennlinie zu Zweipol a und b) Kennlinie zu zweipol b

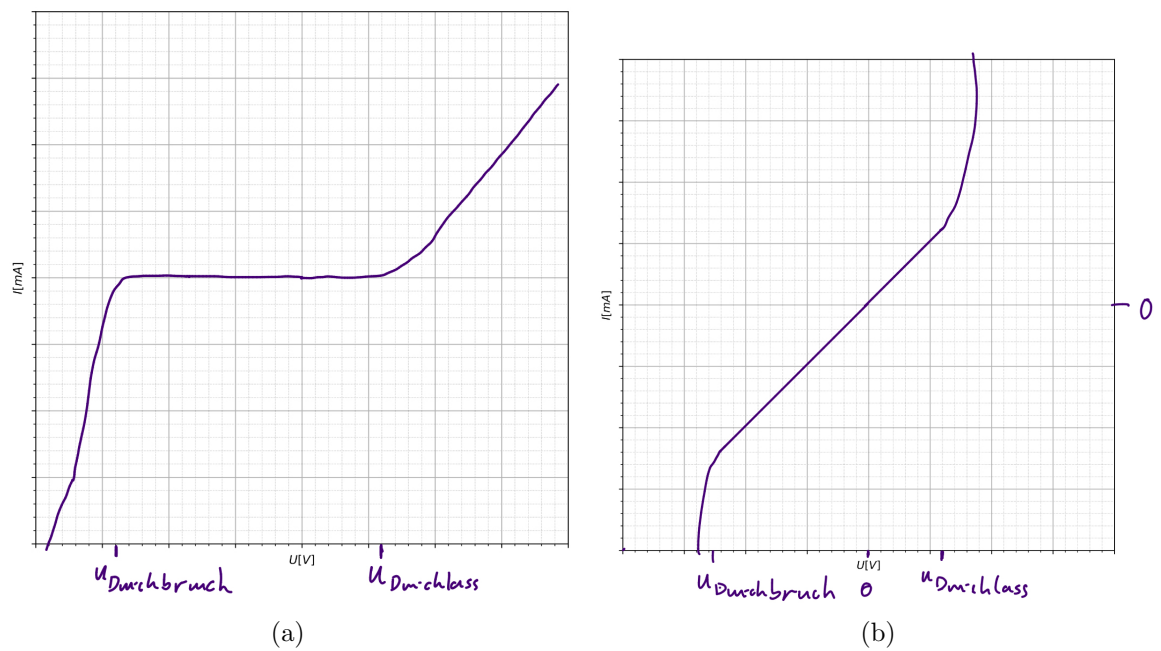


Abbildung 3.2: a) Kennlinie zu Zweipol c und b) Kennlinie zu Zweipol d

Der Widerstand sorgt bei Zweipol c dafür, dass unterhalb der Durchbruchspannung und überhalb der Durchflussspannung die Steigung flacher ist (ähnlich wie bei nur einem Widerstand). Bei Zweipol d ist zwischen der Durchflussspannung und der Durchbruchspannung das Verhalten exakt das des Widerstandes. Außerhalb dieses Intervalls wird die Kurve Steiler, da zusätzlicher Strom durch den Widerstand fließt.

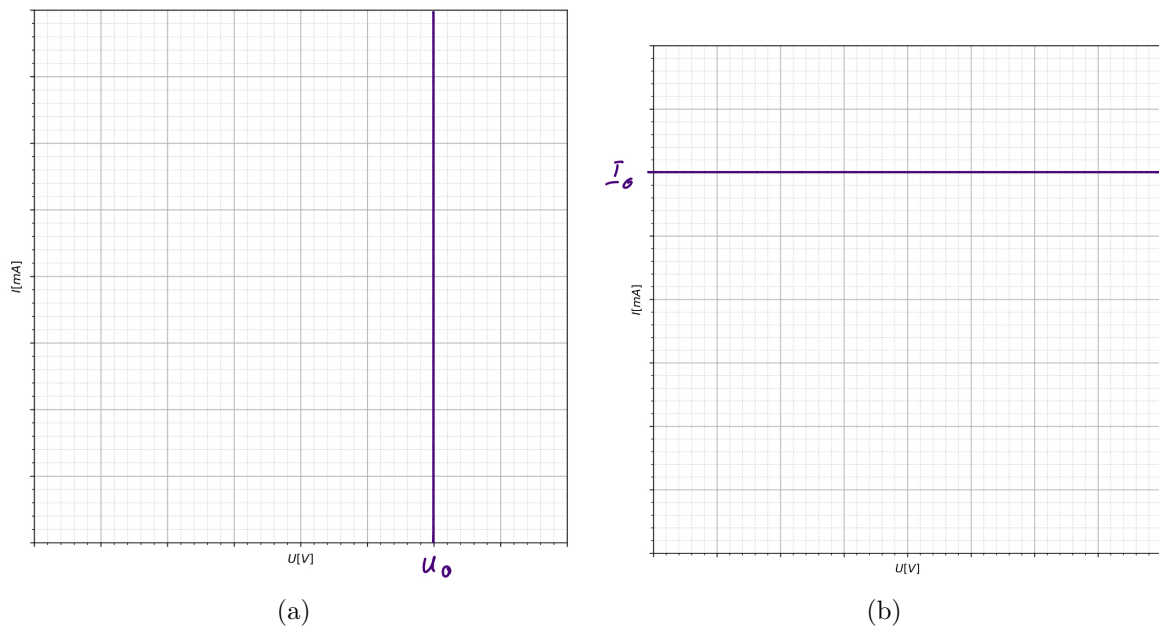


Abbildung 3.3: a) Kennlinie zu Zweipol e und b) Kennlinie zu Zweipol f

3.4 D

Aufgabenstellung: Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannungen der Schaltungen in Abb. 2.4 (a) und (b), wenn die Eingangsspannung eine weit über der Durchlassspannung der Dioden liegende Sinusspannung ist.

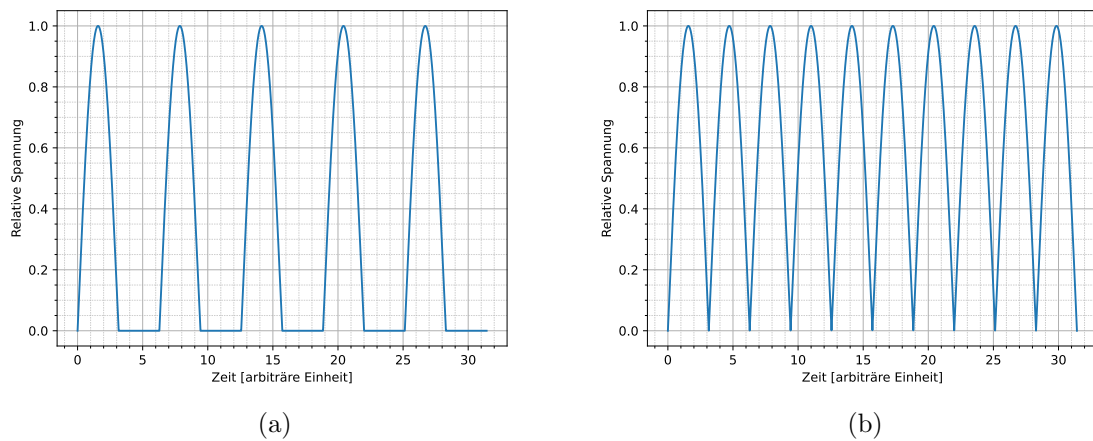


Abbildung 3.4: a) Skizze des Spannungsverlaufs relativ zur Spitzenspannung der Eingangsspannung beim einwege- und b) zweiwege-Wechselrichter

3.5 E

Aufgabenstellung: Wie muss C dimensioniert sein, um die Welligkeit der Spannung über R möglichst klein zu halten?

Die Spannung an einem Kondensator kann geschrieben werden als $Q = CU = \int dt I$. Leitet man beide seiten nach der Zeit ab, so erhält man: $C \frac{dU}{dt} = I \implies \frac{dU}{dt} = \frac{I}{C}$.

Für einen kleinen, diskreten Zeitbereich Δt wird dies zu:

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{I}{C} \quad (3.1)$$

Man erkennt sofort, dass die ΔU dann minimal wird, wenn C möglichst groß ist.

Die Welligkeit wird also kleiner mit einer größeren Kapazität. Folglich muss C möglichst groß dimensioniert sein um die Spannung über R möglichst konstant zu halten.

3.6 F

Aufgabenstellung: *Wie würden Sie Strom- und Spannungsmessgerät zur Messung der Kennlinie in Durchlassrichtung und in Sperrrichtung anordnen? Berücksichtigen Sie die Innenwiderstände der beiden Geräte.*

Das Strommessgerät muss in Reihe mit der Diode, das Spannungsmessgerät parallel geschaltet werden. Das Strommessgerät hat einen sehr kleinen Innenwiderstand, eine parallelschaltung würde also dafür sorgen, dass ein großer Strom durch das Gerät fließt. Analog würde ein in Reihe geschaltetes Spannungsmessgerät mit hohem Innenwiderstand dafür sorgen, dass nahezu kein Strom mehr fließen könnte.

3.7 G

Aufgabenstellung: *Wie kann man sich eine zu einem Strom proportionale Spannung herstellen?*

Eine zum Strom proportionale Spannung lässt sich sicher herstellen, in dem man den Strom durch einen bekannten Widerstand fließen lässt und die über diesen abfallenden Spannung abgreift. Diese folgt dann $U = RI$.

3.8 H

Aufgabenstellung: *Für Abb. 2.8: Berechnen Sie größenordnungsmäßig die größte Kapazität, die benutzt werden darf, ohne die Grenzwerte der Si-Diode zu überschreiten. Nehmen Sie dazu an, dass sich U beim Einschalten um 1 V in 100ps ändert und vernachlässigen Sie den Einfluss von RL .*

Stellt man (3.1) nach der Kapazität um und setzt die Werte aus der Aufgabe und den Grenzwert für Durchlassstrom der Si-Diode ein (laut Skript 1000mA), so erhält man:

$$C = I \frac{\Delta t}{\Delta U} \\ \Rightarrow C = 1A \frac{100ps}{1V} = 100\mu F$$

3.9 I

Aufgabenstellung: *Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung am Ausgang der Schaltungen in Abb. 2.9. (EP Anleitung) (hier 3.5)*

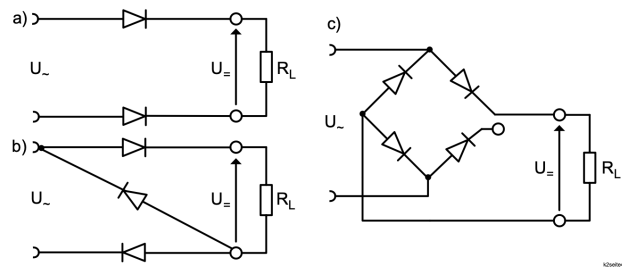
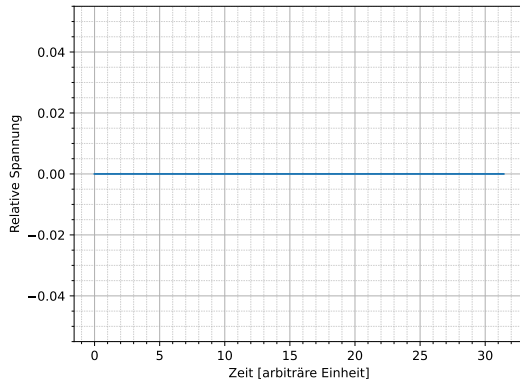
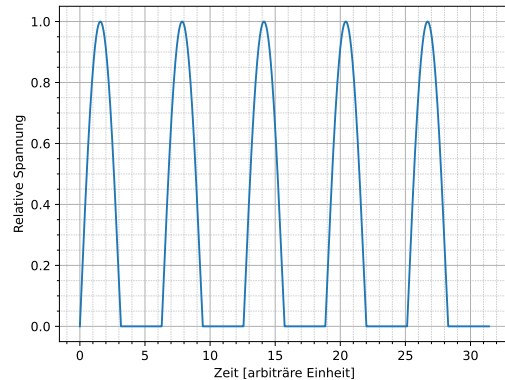


Abbildung 3.5: Abb 2.9. aus der EP Anleitung



(a)



(b)

Abbildung 3.6: a) Skizze ein Nulllinie und b) Skizze des Spannungsverlaufs über R_L für 3.5 a und b

Für Schaltung a ist der Spannungsverlauf in 3.6a skizziert.

Die zusätzliche Diode in Schaltplan b verändert an dem Verhalten des Einwege-Gleichrichters nichts, dieser wurde bereits in 3.4a skizziert (und hier 3.6b).

In Schaltplan c ist erneut ein Einweg-Gleichrichter (3.4a) dargestellt, diesmal allerdings mit noch mehr unnötigen Bauteilen.

3.10 J

Aufgabenstellung: Skizzieren Sie die Lastabhängigkeit der Spannung U' in Abb. 2.11 a). Geben Sie die Formel an, aus der sich U' in Abhängigkeit von U_0 , R und R_L berechnen lässt. Was sind die Extremwerte für U' und I ?

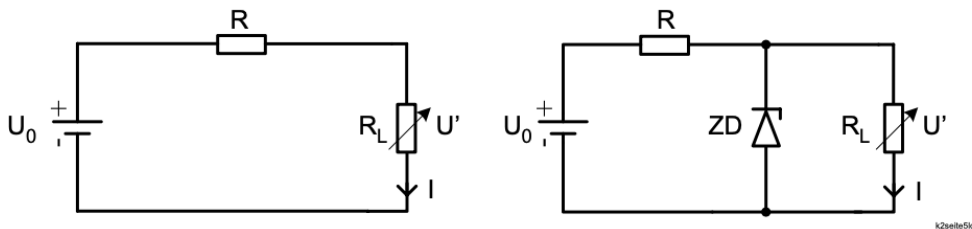


Abbildung 3.7: Abb 2.11. Aus der EP Anleitung

(Hinweis: In der EP Anleitung sind die subfigures nicht mit a und b beschriftet, obwohl die Aufgabenstellung das behauptet.)

Bei der linken Schaltung in 3.7 (die wohl mit “Abb 2.11. a“ der EP Anleitung gemeint ist) handelt es sich um einen Spannungsteiler. Die Spannung U' ist also $U' = U_0 \frac{R_L}{R+R_L}$. Die Extremwerte für U' sind gegeben bei $R_L = 0$, was zu der minimalen Spannung $U' = 0$ und dem Maximalen Strom $I = U_0/R$ führt sowie bei $R_L = \infty$, was zu $I = 0$ und $U' = U_0$ führt.

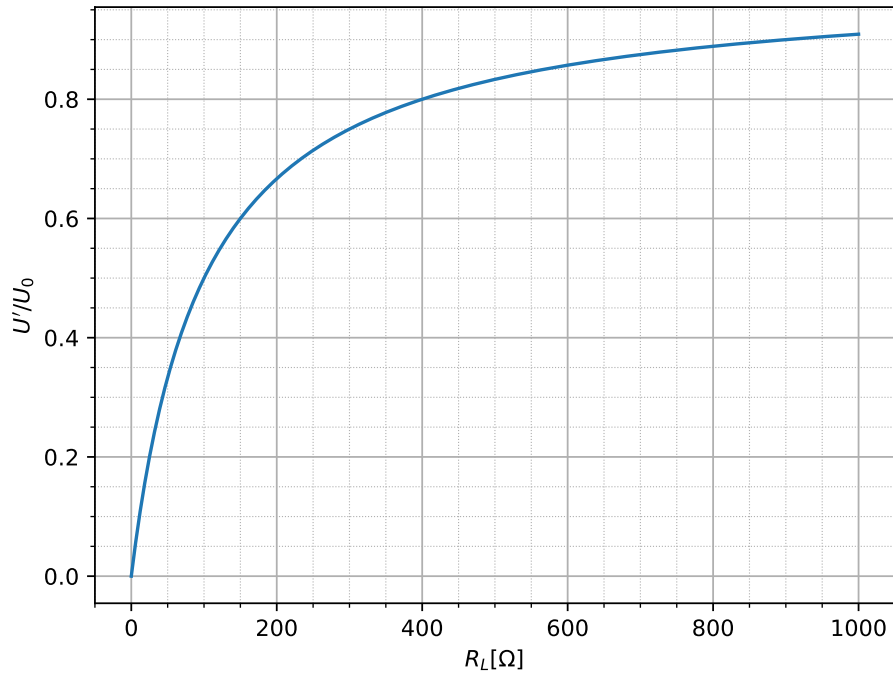


Abbildung 3.8: Skizze des Verlaufs von U' mit $R = 100\Omega$ und $R_L \in [0\Omega, 1k\Omega]$

3.11 K

Aufgabenstellung: Innerhalb welches Wertebereichs muss bei dieser Dimensionierung der Arbeitswiderstand R liegen, damit die Ausgangsspannung U' bei der Zenerspannung von $8,2\text{ V}$ stabilisiert wird?

Betrachtet man die Ströme die fließen, so kann man aus den Kirchhoffschen Gesetzen die folgenden Zusammenhänge aufstellen:

$$I_R = I_Z + I_L \quad (3.2)$$

$$I_Z = I_R - I_L \quad (3.3)$$

$$U_L = U_Z \quad (3.4)$$

$$U_R = U_0 - U_Z \quad (3.5)$$

$$(3.6)$$

Nun kann man diese Umformen, Einsetzen und das Ohmsche Gesetz anwenden:

$$I_Z = I_R - I_L = I_R - \frac{U_Z}{R_L} = \frac{U_R}{R} - \frac{U_Z}{R_L} = \frac{U_0 - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L} \quad (3.7)$$

$$\implies R(I_Z + \frac{U_Z}{R_L}) = U_0 - U_Z \quad (3.8)$$

$$\implies R = R(U_0, R_L, I_Z) = \frac{U_0 - U_Z}{I_Z + \frac{U_Z}{R_L}} \quad (3.9)$$

Nun sind ergeben sich 8 mögliche Widerstände (drei Parameter mit je zwei Extremen). Da der Strom durch die Diode am größten wird, wenn $R_L = \infty$ ist in diesem Fall relevant, $I_Z \leq 100\text{mA}$ zu halten, also $R(22\text{V}, \infty, 100\text{mA}) = 138.0\Omega$. Ist $R_L = 200\Omega$ muss darauf geachtet werden den mindest Strom nicht zu unterschreiten, also ist relevant $R(16\text{V}, 200\Omega, 2\text{mA}) = 181.3\Omega$. Nach dieser Überlegung sollte also $R \in [138.0\Omega, 181.4\Omega]$ liegen.

4 Versuchsaufgabe 1: Statische Messung der Diodenkennlinie

4.1 Durchführung

Die Diodenkennlinie wird statisch aufgenommen. Hierzu werden Strom und Spannung gemessen, während die Spannung variiert wird. Es wird für zwei verschiedene Dioden jeweils in Durchlass- und Sperrrichtung gemessen.

4.2 Auswertung

5 Versuchsaufgabe 2: Oszillogramm der Diodenkennlinie

5.1 Durchführung

Die Diodenkennlinie der Dioden aus Versuchsaufgabe 1 und zusätzlich einer Zener-Diode wird jetzt mit dem Oszilloskop aufgenommen. Die Durchbruchspannung der Zenerdiode soll aus ihrer Kennlinie bestimmt werden. Um die Kennlinie am Oszillographen zu bestimmen, wird mit einem Widerstand eine zum Strom proportionale Spannung erzeugt und mit den Y-Eingängen des Oszilloskops abgegriffen. Das Oszilloskop wird auf XY-Modus geschaltet. Bei Variation der Spannung lassen sich nun die Kennlinien aufnehmen.

5.2 Auswertung

6 Versuchsaufgabe 3: Oszillogramm des Einweggleichrichters

6.1 Durchführung

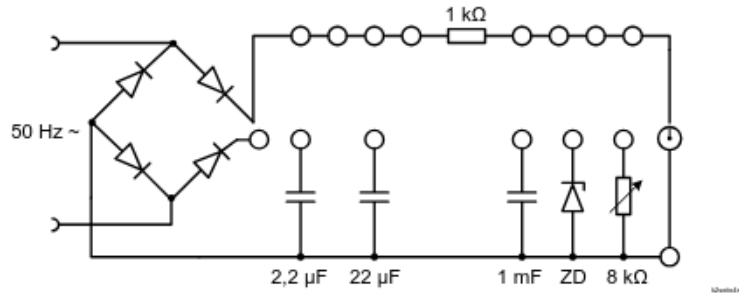


Abb. 2.10: Dioden-Schaltbrett

Abbildung 6.1: Steckschaltbrett

Auf dem Schaltbrett wird ein Einweggleichrichter (2.3) eingestellt. Es werden nacheinander die Oszillogramme für $C = 0\mu\text{F}$; $2.2\mu\text{F}$; $22\mu\text{F}$; $1000\mu\text{F}$ erstellt. Außerdem soll die mittlere Höhe der Gleichspannung und die Amplitude der Brummspannung gemessen werden.

6.2 Auswertung

7 Versuchsaufgabe 4: Oszillogramm des Zweiweggleichrichters

7.1 Durchführung

Jetzt soll der Zweiweggleichrichter eingestellt und für die gleichen Kapazitäten wie in Versuchsaufgabe 3 die Oszillogramme gezeichnet werden. Auch die Brummspannung sollen gemessen werden.

7.2 Auswertung

8 Versuchsaufgabe 5: Stabilisierung mit Zenerdiode

8.1 Durchführung

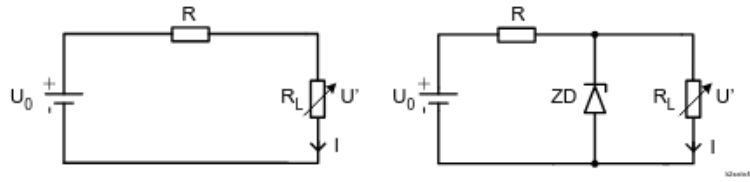


Abb. 2.11: Spannungsstabilisierung mittels Zenerdiode

Abbildung 8.1: Schaltung zur Spannungsstabilisierung

Die zu stabilisierende Spannung U_0 wird mit dem Einweggleichrichter auf dem Schaltbrett realisiert. Sie soll zuerst ungeglättet und dann mit $C = 22\mu\text{F}$ geglättet auf dem Oszilloskop dargestellt werden. In Teilaufgabe a) wird die Schaltung ohne Stabilisierung (links auf der Abbildung) verwendet, um die Lastabhängigkeit der Spannung U' zu messen. Es werden Wertepaare aus U und I aufgenommen, wobei der Lastwiderstand variiert wird. Der Restbrumm von U' wird auf dem Oszilloskop beobachtet. In Teilaufgabe b) wird die Messung aus a) mit der Stabilisierungsschaltung (rechts auf der Abbildung) wiederholt. Es wird untersucht in welchem Lastwiderstandsbereich die Stabilisierung wirkt.

8.2 Auswertung

9 Fazit

10 Anhang

10.1 Quellen

Abbildung 2.1: Von Johannes Schneider - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61188411>

Abbildung 2.2: Abbildung 2.2 aus dem EP Skript S.26

Abbildung 2.3: Abbildung 2.4 aus dem EP Skript S.26

Abbildung 3.5: Abbildung 2.9 aus dem EP Skript S. 29

Abbildung 3.7: Abbildung 2.11 aus dem EP Skript S. 30

Abbildung 6.1 : Abbildung 2.10 aus dem EP Skript S.29

Abbildung 8.1 : Abbildung 2.11 aus dem EP Skript S.30