

2 | Diodenkennlinien

Angelo Brade^{*1} and Jonas Wortmann^{†1}

¹Rheinische Friedrich–Wilhelms–Universität Bonn

August 31, 2024

^{*}s72abrad@uni-bonn.de

[†]s02jwort@uni-bonn.de

Contents

1	Einleitung	1
2	Theorie	2
2.1	Halbleiter, Dotierung	2
2.2	Dioden	2
2.3	Gleichrichter und Glättung	3
3	Voraufgaben	4
3.1	A	4
3.2	B	4
3.3	C	4
3.4	D	5
3.5	E	5
3.6	F	5
3.7	G	5
3.8	H	5
3.9	I	6
3.10	J	6
3.11	K	6
4	Auswertung	8
4.1	Versuchsaufgabe 1: Statistische Messung der Diodenkennlinie	8
4.2	Versuchsaufgabe 2: Oszillogramm der Diodenkennlinie . .	11
4.3	Versuchsaufgabe 3: Oszillogramm des Einweggleichrichters	13
4.4	Versuchsaufgabe 4: Oszillogramm des Zweiweggleichrichters	16
4.5	Versuchsaufgabe 5: Stabilisierung mit Zenerdiode	18
5	Fazit	19
6	Anhang	22

1 Einleitung

In diesem Versuch werden verschiedene Arten von Dioden und die mit ihnen zu bauenden Schaltungen untersucht. Zudem werden Kennlinien von Dioden betrachtet und gemessen und Ein- und Zweiweggleichrichterschaltungen mit Glättung behandelt.

2 Theorie

2.1 Halbleiter, Dotierung

Halbleiter sind Materialien, zwischen deren Leitungs- und Valenzband eine gewissen Gap-Energie ist. Es ist Elektronen nicht möglich ohne die Aufnahme bzw. Abgabe von Energie, wie z.B. in Metallen, zwischen Valenz- und Leitungsband zu wechseln.

Es gibt zwei Arten von Halbleitern bzw. -übergängen

- Direkte Halbleiter: Wenn Energieminimum des Leitungsbands und Energiemaximum des Valenzbands direkt untereinander liegen, dann können Elektronen allein durch Aufnahme bzw. Abgabe eines Photons das Band wechseln.
- Indirekte Halbleiter: Wenn Energieminimum des Leitungsbands und Energiemaximum des Valenzbands nicht direkt untereinander liegen, sondern noch eine Verschiebung nach links oder rechts besitzen, dann müssen die Elektronen nicht nur ihre Energie mit Hilfe eines Photons ändern, sondern auch ihren Impuls durch Aufnahme eines Phonons.

Es ist möglich Halbleiter zu dotieren. Der Prozess der Dotierung beschreibt das Hinzufügen von gewollten Unreinheiten in einen Kristall, um die Leitungseigenschaften zu ändern. Die p-Dotierung beschreibt das Hinzufügen von Atomen in ein Gitter, die ein Valenzelektron weniger als die Atome des Kristalls besitzen. Das führt zu einem Ladungsüberschuss an „positiven Ladungen“, da nun eine freie Stelle im Gitter existiert, bei der Elektronen rekombinieren können. Die n-Dotierung beschreibt das Hinzufügen von Atomen in ein Gitter, die ein Valenzelektron mehr als die Atome des Kristalls besitzen. Das führt zu einem Ladungsüberschuss an negativen Ladungen, da diese Elektronen nicht mit anderen Atomen kombinieren.

2.2 Dioden

Dioden bestehen aus einem n- und einem p-dotierten Material, welche eine Grenzschicht bilden und sind die einfachsten nichtlinearen Zweipole mit Kennlinie

Es ist zu erkennen, dass die Diode Strom nur in eine Richtung fließen lässt. In die Durchlassrichtung muss eine Mindestspannung von ca. 6 V bis 7 V anliegen, um das Gegenfeld der Diode zu überwinden. Ist dieses Gegenfeld einmal überwunden, so kann ein großer Strom bei kleiner Spannung fließen. In die Sperrichtung kommen meist nur wenige μA bei einer sehr hohen Spannung durch.

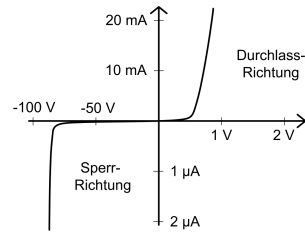


Figure 1: Kennlinie einer Diode; Abbildung 2.2 [1]

2.3 Gleichrichter und Glättung

Mit dieser Diode lassen sich Ein- und Zweiweggleichrichter bauen, die Wechselspannung in direkte Spannung umwandeln. Mit Hilfe eines

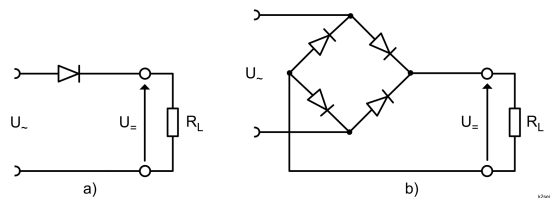


Figure 2: Ein- und Zweiweggleichrichter; Abbildung 2.4 [1]

Kondensators kann das noch vorhandene Brummen der Gleichspannung weitgehend unterdrückt werden. Dieses existiert weiterhin, da Gleichrichter nur die Polarität der Spannung kompensieren und nicht interpolieren.

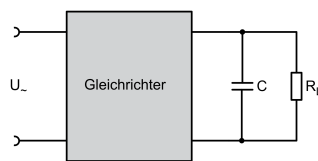


Figure 3: Glättungskondensator; Abbildung 2.5 [1]

Die Kapazität des Kondensators sollte möglichst so gewählt sein, dass die Restspannung ausreicht, um die Zeit zwischen den Wellen zu überbrücken, aber auch nicht zu groß, dass der Kondensator länger als ein Wellenberg auflädt. Ist die Kapazität zu klein, so wird das Brummen weniger stark ausgeglichen und die Spannung fällt schneller ab.

3 Voraufgaben

3.1 A

Die Dicke der Grenzschicht eines p-n-Halbleiters ist bestimmt durch die Dichte der Dotierung. Je höher die Dotierung auf der einen Seite der Grenzschicht ist, desto kleiner ist die Verarmungszone auf der anderen Seite.

3.2 B

Wird eine Spannung in Sperrrichtung einer Diode angelegt, so vergrößert sich die Grenzschicht, was dazu führt, dass sich die Kapazität der Diode verringert.

3.3 C

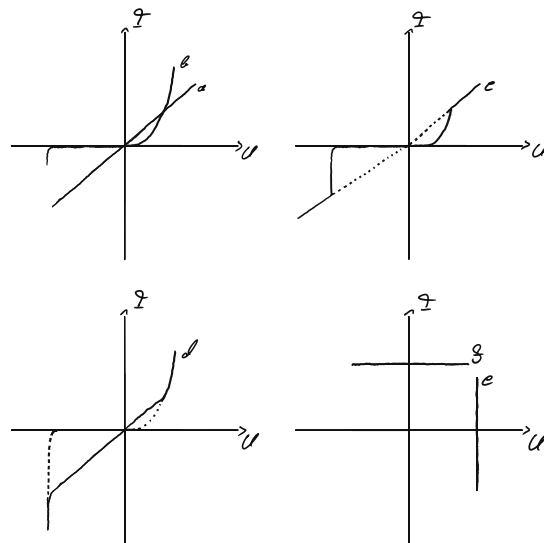


Figure 4: Kennlinienverlauf verschiedener Bauelemente; *a* OHM'scher Widerstand, *b* Diode, *c* Diode und OHM'scher Widerstand in Reihenschaltung, *d* Diode und OHM'scher Widerstand in Parallelschaltung, *e* ideale Spannungsquelle, *f* ideale Stromquelle

Die Widerstände in *c* und *d* sind jeweils verantwortlich für die Rück- und Hinrichtung des Stroms, wenn sie in reihe oder parallel geschaltet sind.

3.4 D

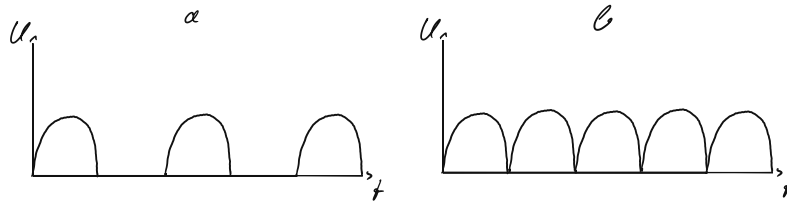


Figure 5: Ein- und Zweiweggleichrichter mit einer Eingangsspannung weit über der Durchlassspannung.

3.5 E

Die Kapazität eines nach einem Gleichrichter geschalteten Kondensators muss so groß sein, dass sie über die Dauer, die die Spannung abfällt, ausreichend Energie gespeichert hat, um weiterhin eine konstante Spannung zu liefern. Insofern sind größere Kapazitäten besser zum Ausgleich der Welligkeit.

3.6 F

Das Strommessgerät muss zur Messung der Kennlinie einer Diode in Durchlassrichtung *hinter* der Diode und für die Kennlinie in Sperrrichtung *vor* der Diode angeschlossen werden. Das Spannungsmessgerät bleibt immer parallel zur Diode geschaltet.

3.7 G

Eine zum Strom proportionale Spannung lässt sich über einen OHM'schen Widerstand herstellen, da die Relation

$$U = RI \quad (3.1)$$

gilt.

3.8 H

Die größte Kapazität eines Kondensators in einer Glättung mit einer Si-Diode ($I_{\max} = 1 \text{ A}$, $U_{\max} = 400 \text{ V}$) mit einer anliegenden Wechselspannung (Steigung von $0.01 \text{ V } \mu\text{s}^{-1}$) liegt bei

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot \Delta t}{U} = \frac{1 \text{ A} \cdot 100 \mu\text{s}}{1 \text{ V}} = 100 \mu\text{F}. \quad (3.2)$$

3.9 I

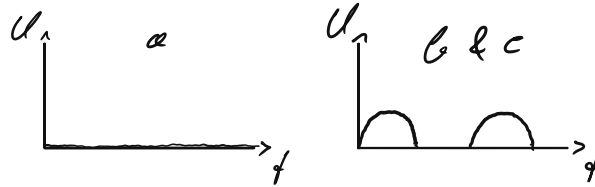


Figure 6: Ein- und Zweigleichrichter (Variationen)

3.10 J

Die Spannung über das Potentiometer ergibt sich aus

$$U' = U_0 \frac{R_L}{R_L + R}. \quad (3.3)$$

Der Extremwert für U' liegt bei U_0 .



Figure 7: Spannungsabhängigkeit einer Spannungsteilerschaltung

3.11 K

Für die Schaltung mit Zenerdiode gilt die Knotenregel

$$I = I_{ZD} + I' \quad (3.4)$$

$$\Leftrightarrow \frac{U}{R} = I_{ZD} + \frac{U'}{R_L} \quad (3.5)$$

$$\Leftrightarrow \frac{U_0 - U_{ZD}}{R} = I_{ZD} + \frac{U'}{R_L} \quad (3.6)$$

$$\Leftrightarrow \frac{U_0 - U_{ZD}}{I_{ZD} + \frac{U'}{R_L}} = R \quad (3.7)$$

Mit $U_0 \in [16\text{ V}, 22\text{ V}]$, $R_L \in [200\,\Omega, \infty\,\Omega]$, $I_{\text{ZD}} \in [2\text{ mA}, 100\text{ mA}]$ und $U' = 8.2\text{ V}$ liegt der Wertebereich für den Widerstand bei

$$R \in [138\,\Omega, 182\,\Omega]. \quad (3.8)$$

4 Auswertung

4.1 Versuchsaufgabe 1: Statistische Messung der Diodenkennlinie

Für die Siliziumdiode MRA4004 und die SCHOTTKYdiode 10BQ015 wird mit einer statistischen Messung mit Hilfe von Strom- und Spannungsmessgerät die Kennlinie geplottet. Dazu werden die Dioden des [Diodenschaltbretts](#) verwendet.

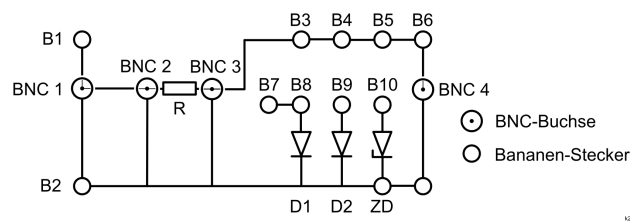


Figure 8: Diodenschaltbrett; D1: MRA4004, D2: SCHOTTKY, ZD: ZENERdiode

Ein Netzgerät wird über Buchse B1 und B2 angeschlossen; Strom- und Spannungsmessgerät jeweils in Reihe und parallel. Mit den Messungen ergeben sich die Plots ([Silizium Kennlinie](#), [Silizium Kennlinie \(durchlass\)](#), [SCHOTTKYdiode Kennlinie](#), [SCHOTTKYdiode Kennlinie \(durchlass\)](#)) (die Tabellen sind im Anhang zu finden). Zu erkennen sind die typischen Kennlinienverläufe von Dioden. Es wird keine bis sehr wenig Strom in die Sperrichtung durchgelassen und in Durchlassrichtung steigt der Strom ab einer gewissen Spannung exponentiell an. Hier liegt diese Spannung bei ca. 0.7 V bzw. 0.2 V, was ein typischer Wert für eine Siliziumdiode bzw. SCHOTTKYdiode ist.

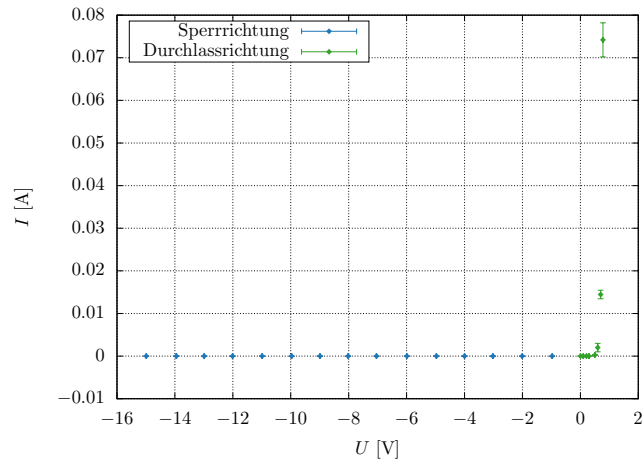


Figure 9: Siliziumdiode MRA4004 D1 Kennlinie

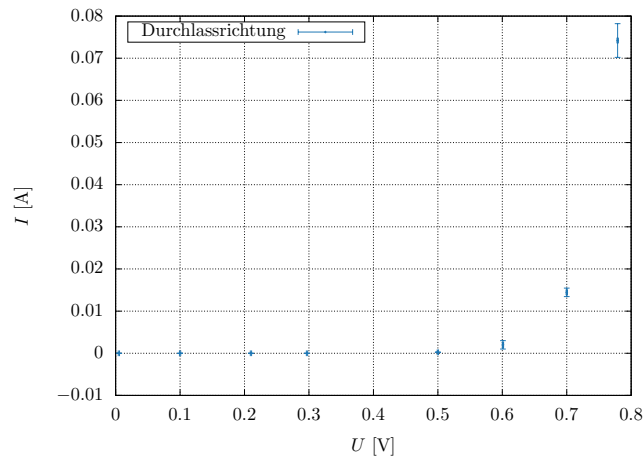


Figure 10: Siliziumdiode MRA4004 D1 Kennlinie (Durchlassrichtung)

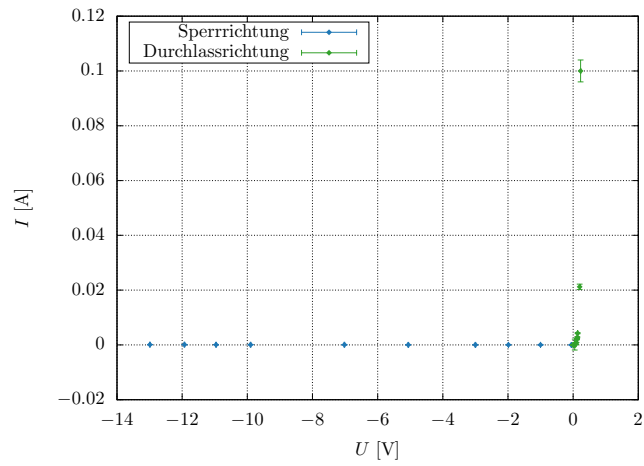


Figure 11: SCHOTTKYdiode 10BQ015 Kennlinie

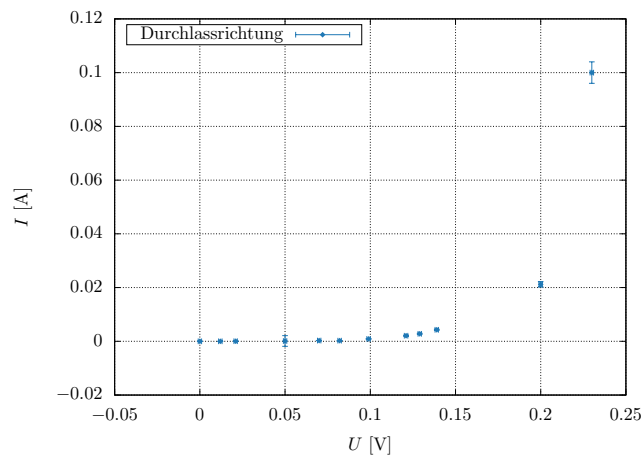


Figure 12: SCHOTTKYdiode 10B015 Kennlinie (Durchlassrichtung)

4.2 Versuchsaufgabe 2: Oszillogramm der Diodenkennlinie

Wir zeichnen die Kennlinie als Oszillogramm von der Silizium-, Schottky- und Zener-Diode auf. Dies wird mithilfe einer Schaltung, die im Abschnitt "Versuchsaufgabe 2: Oszillogramm der Diodenkennlinie" [1] beschrieben wird, aufgebaut. An dieser Stelle sei angemerkt, dass es starke Probleme bezüglich des Aufbaus gab und uns von Assistenten geholfen wurde. Das Hauptproblem hat sich als eine Defekte "Black Box" [1] herausgestellt, welche eigentlich den Strom wiedergeben sollte. Die Kennlinien sind für die Siliziumdiode in Abb. 13, für die Schottkydiode in Abb. 14 und für die Zenerdiode Abb. 15 und 16 zu sehen. Wir erkennen, dass die Schottkydiode eine deutlich früher anfangende Durchlassspannung von ca. 60(12) mV hat, wobei die Siliziumdiode und Zenerdiode eine Durchlassspannung von ca. 560(12) mV haben. Dies ist ein deutliches Merkmal jeder Schottkydiode, da diese aus einem Halbleiter und einem Metall besteht, anstelle von zwei verschieden dotierten Halbleitern. Den zweiten Unterschied erkennen wir, wenn wir die Abb. 16 betrachten. Dort können wir einen Durchbruch bei der Zenerspannung von -800(12) mV erkennen. Ein praktisch wertvolles Merkmal ist hierbei, dass die Diode nicht zerstört wird. Ein verkleinertes Bild der Siliziumdiode, sowie Schottkydiode ist an dieser Stelle sinfrei, da wir die Sperrspannung von -400 V und -15 V mit einer Maximalausgangsspannung von 15 V nicht erreichen.

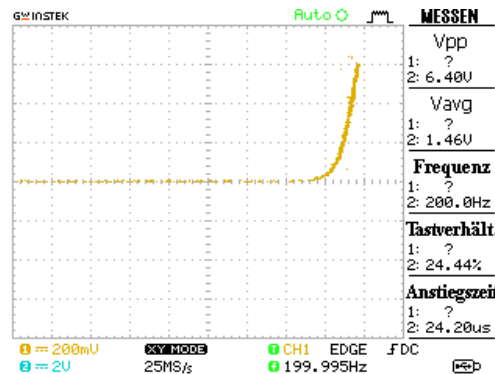


Figure 13: Kennlinie der Siliziumdiode MRA4004; max. Sperrspannung 400 V; max. Durchlassstrom 1000 mA

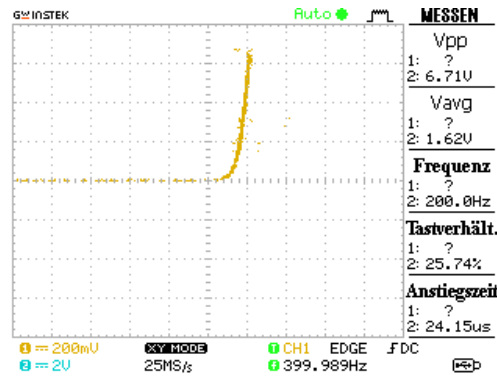


Figure 14: Kennlinie der SCHOTTKYdiode 10BQ015; max. Sperrspannung 15 V; max. Durchlassstrom 1000 mA

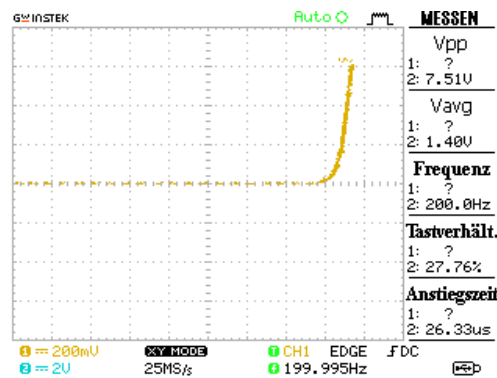


Figure 15: Kennlinie der Zenerdiode

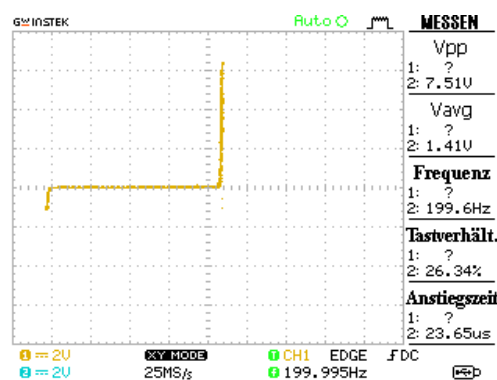


Figure 16: Kennlinie der Zenerdiode mit 10-facher Verkleinerung der x-Achse

4.3 Versuchsaufgabe 3: Oszillogramm des Einweggleichrichters

Es wird nun der [untere Teil des Diodenschaltbretts](#) verwendet.

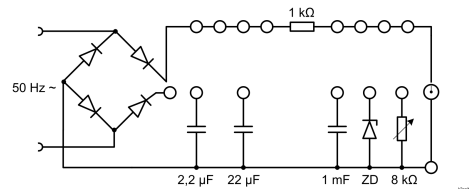


Figure 17: Der untere Teil des Diodenschaltbretts

Der Einweggleichrichter wird eingeschaltet und das Potentiometer vollständig erhöht (8 kΩ). Die sich daraus ergebende Spannung sieht [wie folgt](#) aus

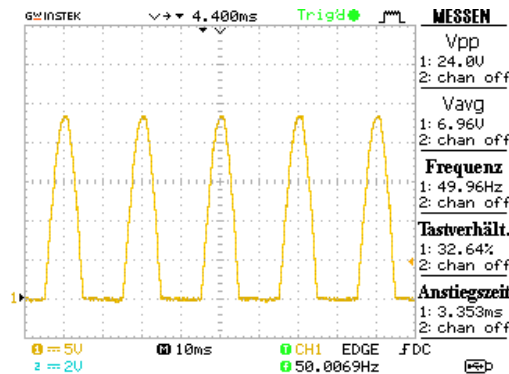


Figure 18: Oszillogramm des Einweggleichrichters; 15 V Wechselspannung

Nun wird diese Brummspannung mit verschiedenen Kondensatoren geglättet. Es ist zu erkennen, dass die Kondensatoren in Abhängigkeit ihrer Kapazität verschieden stark Glätten.

- 2.2 μF: $U_{\text{eff}} = 13.6 \text{ V}$ und $U_{\text{pp}} = 18.0 \text{ V}$
- 22 μF: $U_{\text{eff}} = 20.6 \text{ V}$ und $U_{\text{pp}} = 3.59 \text{ V}$
- 1000 μF: $U_{\text{eff}} = 22.0 \text{ V}$ und $U_{\text{pp}} = 0.8 \text{ V}$

Dies ist auch an der peak-peak Spannung zu erkennen, da diese die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert einer Spannung angibt. Man erkennt auch, dass mit steigender Kapazität die Effektivspannung zunimmt, da die Spannung zwischen den peaks weniger stark abfällt. Die Kapazität des Kondensators spielt also

weiter die Ausgangsspannung, obwohl die Spannung auf Grund des Wechselspannungsanteils eigentlich abfällt.

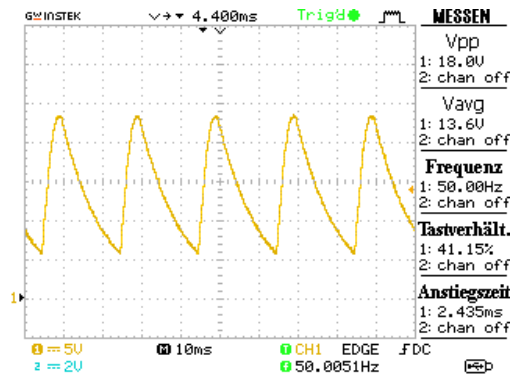


Figure 19: 2.2 μF Kondensator zur Glättung einer 15 V Brummspannung

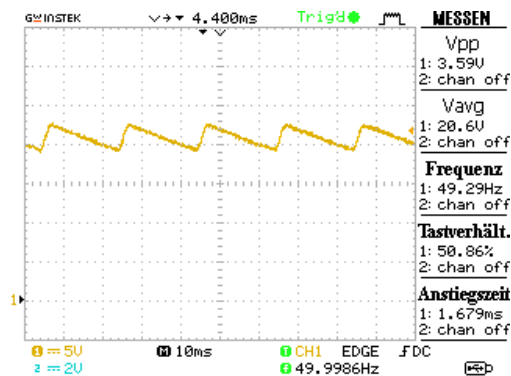


Figure 20: 22 μF Kondensator zur Glättung einer 15 V Brummspannung

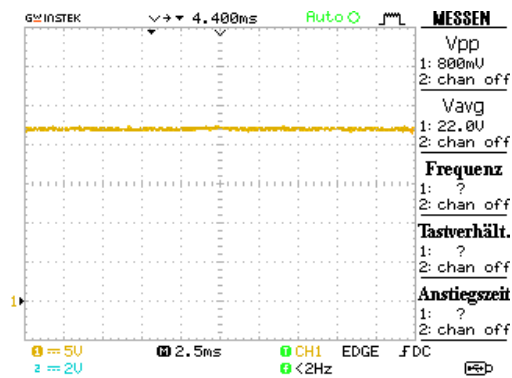


Figure 21: 1000 μF Kondensator zur Glättung einer 15 V Brummspannung

4.4 Versuchsaufgabe 4: Oszillogramm des Zweiweggleichrichters

Wir verbauen im Vergleich zu Versuchsaufgabe 3 nun aber anstatt des Einweggleichrichters den Zweiweggleichrichter. Wir erhalten die in Abb. 22 gezeigte Spannung ohne den Kondensator, Abb. 23 mit $2.2\mu\text{F}$, Abb. 24 mit $22\mu\text{F}$ und Abb. 25 mit $1000\mu\text{F}$.

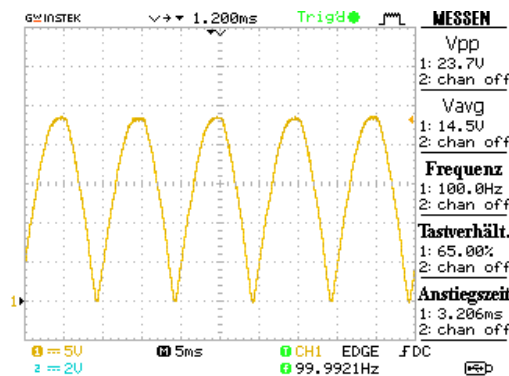


Figure 22: Oszillogramm eines Zweiweggleichrichters ohne Kondensator

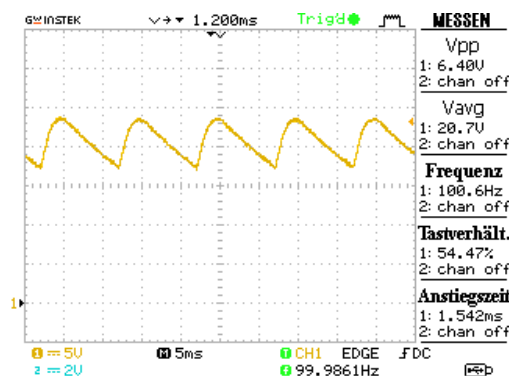


Figure 23: Oszillogramm eines Zweiweggleichrichters mit $2.2\mu\text{F}$ Kondensator

Hier sei darauf hingewiesen, dass die Zeitskalierung halbiert wurde, sodass es den fälschlichen Anschein erweckt, dass die Schwingung breiter geworden sei. Eigentlich sind aber jetzt die vorher beim Einweggleichrichter gesperrten und ursprünglich negativen Spannungen umgepolt worden, sodass es zwischen jeder ursprünglichen positiven Spannungsschwankung nun einen weiteren Spannungsberg gibt. Es ist deutlich zu erkennen, wie mit steigender Kapazität die Brummspannung sich verringert. Ohne Kondensator gibt es keine Abflachung und mit dem

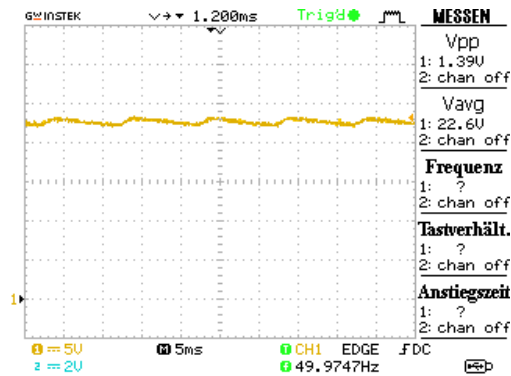


Figure 24: Oszillogramm eines Zweiweggleichrichters mit 22 µF Kondensator

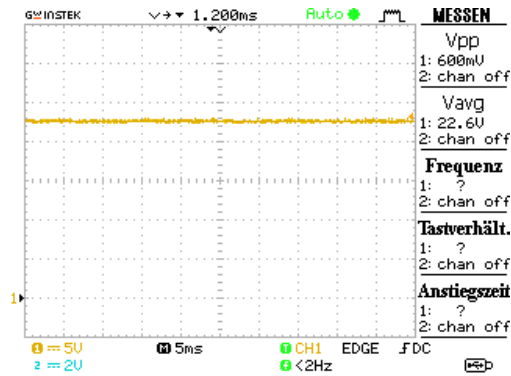


Figure 25: Oszillogramm eines Zweiweggleichrichters mit 1000 µF Kondensator

1000 µF Kondensator gibt es volle Abflachung, also es ist kein Brumm mehr zu erkennen.

C [µF]	U_{pp} [V]	U_{avg} [V]
0.0	23.7	14.5
2.2	6.4	20.7
22	1.39	22.6
1000	0.6	22.6

Table 1: Brummspannung und mittlere Höhe der Gleichspannung gegenüber der Kapazitäten der verschiedenen Kondensatoren

Vergleichsweise zum Einweggleichrichter, sind die weiteren Spannungsberge durch die Invertierung des Signals, dank des Zweiweggleichrichters zu erklären. Es sind nochmal alle Brummspannungen, sowie die mittleren Höhen der Gleichspannungen mit der entsprechenden Kapazität in Tabell 1 einzusehen.

4.5 Versuchsaufgabe 5: Stabilisierung mit Zenerdiode

Mit Hilfe einer ZENERdiode kann ein Strom auf einen bestimmten Wert stabilisiert werden. Da es die ZENERdiode erlaubt einen Strom in die Sperrrichtung zu leiten, steigt die Stromstärke ab einer gewissen Spannung nicht mehr an. Diese Spannung wird auch ZENER-Spannung genannt. Es wird nun der [Stromkreis](#) mittels einer ZENERdiode einmal unstabilisiert und einmal stabilisiert betrachtet.

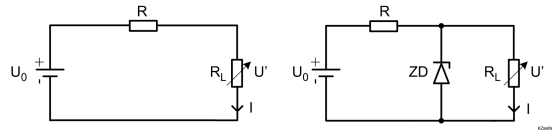


Figure 26: Spannungsstabilisierung mittels ZENERdiode

Die eingehende Spannung U_0 ist die Bummspannung erzeugt durch einen Zweiweggleichrichter. Zudem ist ein Kondensator verbaut, der die Spannung genau wie in Versuchsaufgabe 3 glättet.

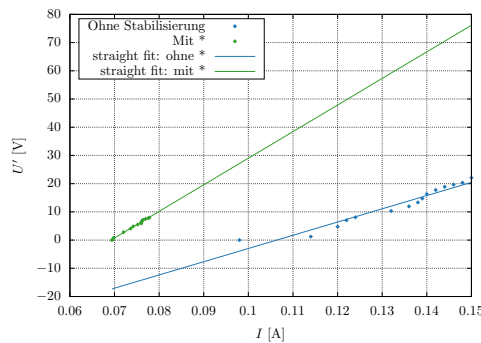


Figure 27: Lastabhängigkeit der Spannung U' mit und ohne Spannungsstabilisierung

Die Spannung ohne Stabilisierung fällt über einen Widerstand ab und variiert linear je nach Einstellung des Potentiometers. Die Spannung mit Stabilisierung zeigt dieses Verhalten auch, allerdings flacht hier der Strom ab, wenn die Sperrspannung der ZENERdiode erreicht ist. Zudem ist der Betrag der Stromstärke viel niedriger, als der Betrag der Stromstärke bei fehlender Spannungsstabilisierung. Dieses Verhalten war zu erwarten, da die ZENERdiode die Spannung auf den Wert ihrer Sperrspannung stabilisiert. Aus der Steigung der Ausgleichsgeraden ist zu entnehmen, dass der Lastwiderstand mit und ohne Stabilisierung in einem Bereich von $R_{\text{mit}} \approx 469 \Omega$ und $R_{\text{ohne}} \approx 942 \Omega$ liegt.

5 Fazit

Wir haben mit der ersten Versuchsaufgabe Kennlinien mittels Amperemeter und Voltmeter vermessen und konnten dort schon den späteren Anstieg der Durchlassspannung der Silizium- gegenüber der Schottky-Diode sehen. Dies konnten wir nochmal in der zweiten Versuchsaufgabe mittels Oszillogramms bestätigen, sowie bei der Zenerdiode eine Zenerspannung von $-800(12)$ mV messen, die deutlich unter der Sperrspannung von -400 V und -15 V der anderen Dioden liegt. Desweiteren haben wir den Einweggleichrichter untersucht, bei dem wir auch stärkere Glättungen durch höhere Kapazitäten erzeugen konnten. Dieses Verhalten wurde dann nochmal in der nächsten Versuchsaufgabe mit dem Zweiweggleichrichter bestätigt, wobei wir zudem noch die negativen Spannungen invertiert haben. Im letzten Versuchsteil haben wir dann mithilfe einer Zenerdiode ein Signal stabilisiert.

List of Figures

1	Kennlinie einer Diode; Abbildung 2.2 [1]	3
2	Ein- und Zweiweggleichrichter; Abbildung 2.4 [1]	3
3	Glättungskondensator; Abbildung 2.5 [1]	3
4	Kennlinienverlauf verschiedener Bauelemente	4
5	Ein- und Zweiweggleichrichter	5
6	Ein- und Zweigleichrichter (Variationen)	6
7	Spannungsabhängigkeit einer Spannungsteilerschaltung . .	6
8	Diodenschaltbrett; D1: MRA4004, D2: SCHOTTKY, ZD: ZENERdiode	8
9	Siliziumdiode MRA4004 D1 Kennlinie	9
10	Siliziumdiode MRA4004 D1 Kennlinie (Durchlassrichtung)	9
11	SCHOTTKYdiode 10BQ015 Kennlinie	10
12	SCHOTTKYdiode 10BQ015 Kennlinie (Durchlassrichtung) .	10
13	Kennlinie der Siliziumdiode MRA4004; max. Sperrspannung 400 V; max. Durchlassstrom 1000 mA . . .	11
14	Kennlinie der SCHOTTKYdiode 10BQ015; max. Sperrspannung 15 V; max. Durchlassstrom 1000 mA . . .	12
15	Kennlinie der Zenerdiode	12
16	Kennlinie der Zenerdiode mit 10-facher Verkleinerung der x-Achse	12
17	Der untere Teil des Diodenschaltbretts	13
18	Oszillogramm des Einweggleichrichters; 15 V Wechselspannung	13
19	2.2 μ F Kondensator zur Glättung einer 15 V Brummspannung	14
20	22 μ F Kondensator zur Glättung einer 15 V Brummspannung	14
21	1000 μ F Kondensator zur Glättung einer 15 V Brummspannung	15
22	Oszillogramm eines Zweiweggleichrichters ohne Kondensator	16
23	Oszillogramm eines Zweiweggleichrichters mit 2.2 μ F Kondensator	16
24	Oszillogramm eines Zweiweggleichrichters mit 22 μ F Kondensator	17
25	Oszillogramm eines Zweiweggleichrichters mit 1000 μ F Kondensator	17
26	Spannungsstabilisierung mittels ZENERdiode	18
27	Lastabhängigkeit der Spannung U' mit und ohne Spannungsstabilisierung	18

List of Tables

1	Brummspannung und mittlere Höhe der Gleichspannung gegenüber der Kapazitäten der verschiedenen Kondensatoren	17
2	Werte für die Kennlinie der Siliziumdiode MRA4004 D1 in Sperrrichtung	22
3	Werte für die Kennlinie der Siliziumdiode MRA4004 D1 in Durchlassrichtung	22
4	Werte für die Kennlinie der SCHOTTKYdiode 10BQ015 D2 in Sperrrichtung	23
5	Werte für die Kennlinie der SCHOTTKYdiode 10BQ015 D2 in Durchlassrichtung	23
6	Ohne Spannungsstabilisierung	24
7	Spannungsstabilisierung mit ZENERdiode	24

Source

- [1] Fabian Hügging. *Elektronik-Praktikum Versuchsanleitung*. Universität Bonn, kurs b edition, 2024.

6 Anhang

U [V]	I [A]	Fehler	
0.975	8.0e-08	0.001	4.0e-07
2.009	1.6e-07	0.001	4.0e-07
3.021	2.4e-07	0.001	4.0e-07
4.0	4.0e-07	0.01	4.0e-07
4.97	5.2e-07	0.01	4.0e-07
5.99	6.2e-07	0.01	4.0e-07
7.04	7.6e-07	0.01	4.0e-07
8.02	8.4e-07	0.01	4.0e-07
8.99	9.6e-07	0.01	4.0e-07
9.97	1.02e-06	0.01	4.0e-07
10.99	1.16e-06	0.01	4.0e-07
12.01	1.22e-06	0.01	4.0e-07
12.99	1.36e-06	0.01	4.0e-07
13.95	1.42e-06	0.01	4.0e-07
14.99	1.59e-06	0.01	4.0e-07

Table 2: Werte für die Kennlinie der Siliziumdiode MRA4004 D1 in Sperrrichtung

U [V]	I [A]	Fehler	
0.005	0.0	0.001	4.0e-07
0.1	0.0	0.001	4.0e-07
0.21	2.8e-07	0.001	4.0e-07
0.297	2.26e-06	0.001	4.0e-07
0.5	0.000237	0.001	1e-05
0.601	0.002	0.001	0.001
0.7	0.0145	0.001	0.001
0.779	0.0742	0.001	0.004

Table 3: Werte für die Kennlinie der Siliziumdiode MRA4004 D1 in Durchlassrichtung

U [V]	I [A]	Fehler	
12.99	1.03e-07	0.01	1e-08
11.93	9.449e-08	0.01	1e-08
10.96	8.75e-08	0.01	1e-08
9.9	8e-08	0.01	1e-08
7.02	6.2e-08	0.01	1e-08
5.06	5.05e-08	0.01	1e-08
3.0	0.0385	0.01	1e-08
1.985	0.033	0.001	0.002
1.001	0.0221	0.001	0.002
0.054	0.0175	0.001	0.002

Table 4: Werte für die Kennlinie der SCHOTTKYdiode 10BQ015 D2 in Sperrrichtung

U [V]	I [A]	Fehler	
0.0	0.0	0.001	0.0
0.012	1.21e-05	0.001	2e-06
0.021	2.5e-05	0.001	2e-06
0.05	0.000121	0.001	0.002
0.07	0.000278	0.001	4e-05
0.082	0.000243	0.001	4e-05
0.099	0.0009	0.001	4e-05
0.121	0.00209	0.001	0.0002
0.129	0.00278	0.001	0.0002
0.139	0.0043	0.001	0.0002
0.2	0.0212	0.001	0.001
0.23	0.1	0.001	0.04

Table 5: Werte für die Kennlinie der SCHOTTKYdiode 10BQ015 D2 in Durchlassrichtung

U [V]	I [A]
0.009	0.098
1.23	0.114
4.73	0.12
7.02	0.122
8.08	0.124
10.32	0.132
11.96	0.136
13.33	0.138
14.73	0.139
16.33	0.14
17.74	0.142
18.9	0.144
19.67	0.146
20.34	0.148
22.1	0.15

Table 6: Ohne Spannungsstabilisierung

U [V]	I [A]
0.003	0.0694
0.233	0.0696
0.8	0.0698
2.792	0.072
4.08	0.0736
4.86	0.0742
5.48	0.0752
5.88	0.076
6.32	0.076
6.92	0.0762
7.17	0.0764
7.55	0.077
7.8	0.0776
7.94	0.0778

Table 7: Spannungsstabilisierung mit ZENERdiode