

# Protokoll: Grundpraktikum II E5 - Gleichrichterschaltungen

Sebastian Pfitzner

20. Dezember 2013

**Durchführung:** Anna Andrle (550727), Sebastian Pfitzner (553983)

**Arbeitsplatz:** Platz 2

**Betreuer:** Stephan Kirsten

**Versuchsdatum:** 10.12.2013

## Abstract

Ziel dieses Versuchs ist die Charakterisierung zweier Gleichrichterschaltungen, die mithilfe einer Spulenordnung und einer bzw. zwei Dioden aus einer sinusoiden Wechselspannung eine pulsierende Wechselspannung erzeugen. Weiterhin lässt sich durch das Zuschalten eines Kondensators eine Glättung erreichen, die sowohl die Form des Signals als auch den Effektivwert der Spannung beeinflusst.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Messwerte und Auswertung</b>	<b>2</b>
1.1 zeitliche Mittelwerte der Gleichspannung . . . . .	2
1.2 zeitlicher Verlauf der Spannung . . . . .	3
1.3 Gleichspannungsmessung im Leerlauf . . . . .	4
<b>2 Ergebnisdiskussion</b>	<b>5</b>

# 1 Messwerte und Auswertung

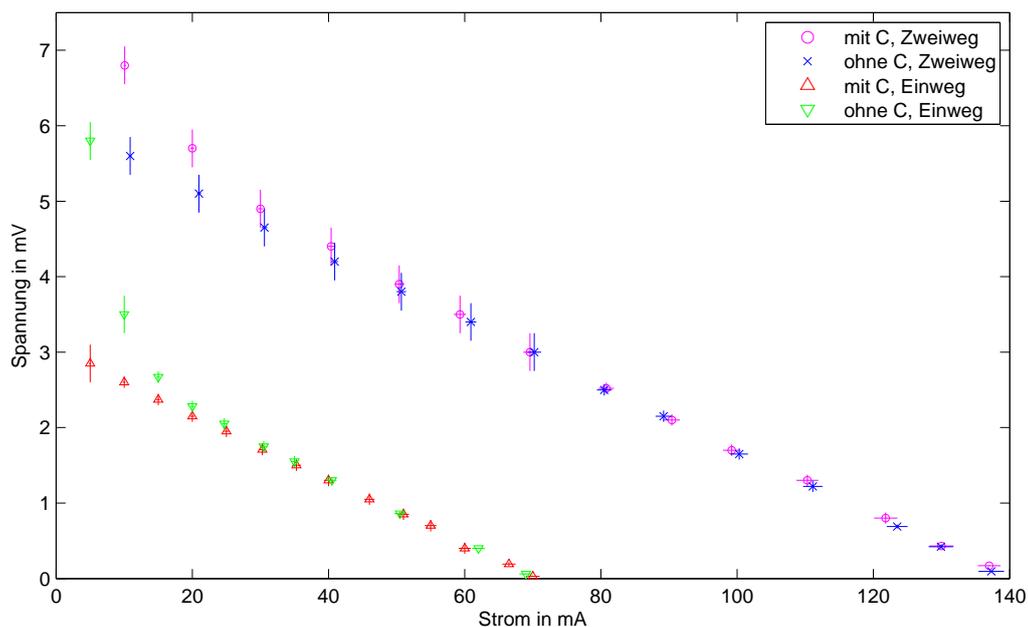
## 1.1 zeitliche Mittelwerte der Gleichspannung

Für diese Messungen wurden die zeitlichen Mittelwerte von Strom und Spannung der pulsierenden Gleichspannung in Abhängigkeit vom variierten Lastwiderstand in vier Fällen aufgenommen: Einwegegleichrichter mit und ohne Glättungskondensator sowie Zweiwegegleichrichter mit/ohne Glättungskondensator. In beiden Schaltungen wurde ein Kondensator mit  $C = 10 \mu\text{F}$  verwendet.

Die Messunsicherheit für die Stromstärkemessung mit dem digitalen Amperemeter wurde mit einer Anzeigegenauigkeit von  $\Delta I_A = \pm(1 \text{ Digit} + 1\% \cdot I)$  sowie einer zufälligen Schwankung von  $\Delta I_S = \pm 0,1 \text{ mA} \dots 0,5 \text{ mA}$  (abhängig von der Größe des Messwerts) abgeschätzt. Daraus ergibt sich durch pythagoräische Addition die Gesamtunsicherheit.

Die über dem Lastwiderstand abfallende Spannung wird mit einem Analogvoltmeter bestimmt, welches auf Gleichspannung geeicht ist. Dessen Unsicherheit wird mit einem Anzeigefehler von  $\pm 2,5\% \cdot M_U$  sowie einer Ableseungenauigkeit von einem viertel Skalenteil abgeschätzt, wobei  $M_U$  der eingestellte Messbereich ist.

In den folgenden Diagrammen sind beide Messreihen des Ein- bzw Zweiwegegleichrichters samt ihrer Unsicherheiten eingezeichnet:



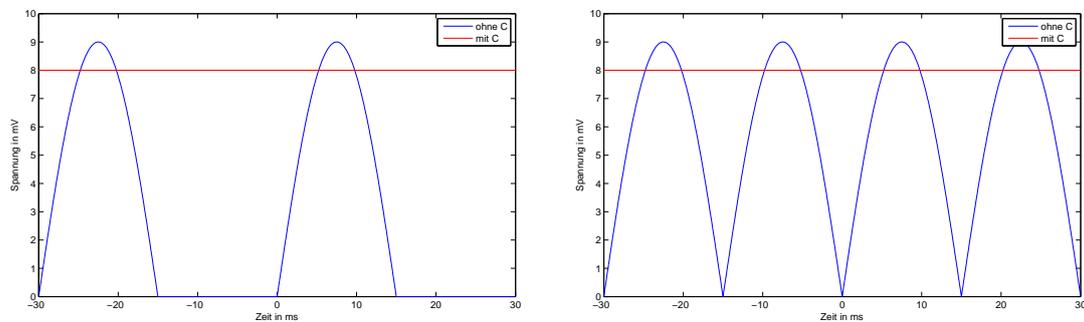
**Abb. 1:** Spannungsverlauf des Einwegegleichrichters (unten) und Zweiwegegleichrichters in Abhängigkeit von der Zeit ohne Last

Für die beiden Messreihen ohne Kondensator ergibt sich der erwartete lineare Zusammenhang, während sich mit Kondensator bei geringen Stromstärken ein vermutlich exponentielles Verhalten ergibt, das dann asymptotisch gegen die bereits aus der Messung ohne Kondensator erhaltene Gerade geht.

## 1.2 zeitlicher Verlauf der Spannung

Mithilfe eines Oszillographen lässt sich der zeitliche Verlauf der geglätteten Spannung beobachten.

In Abbildung 2 sind die zeitlichen Verläufe der Spannung qualitativ ohne Last (also bei unendlich großem Widerstand) einmal mit und einmal ohne Glättungskondensator aufgetragen. Wenig überraschend wird beim Einwegegleichrichter die untere Halbwelle abgeschnitten, während sie beim Zweivegegleichrichter "umgeklappt" wird. Aus dem vom Oszillographen angezeigten Bild kann die Perioden-



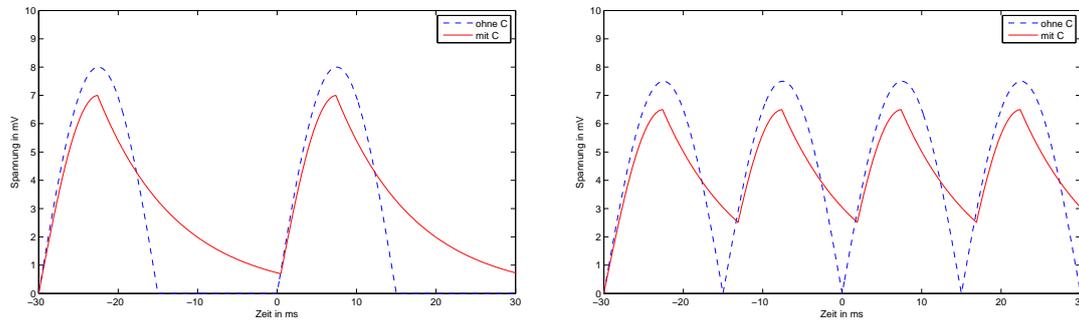
**Abb. 2:** Spannungsverlauf des Einwegegleichrichters (links) und Zweivegegleichrichters (rechts) in Abhängigkeit von der Zeit ohne Last

dauer sowie die Amplitude bestimmt werden. Dabei wird die Ablesungenauigkeit aufgrund der Strichdicke sowie dem schlecht einstellbaren und damit wandernden Bild mit  $\Delta l = 0,2 \text{ cm}$  abgeschätzt. Es ergibt sich beim Einwegegleichrichter eine Periodendauer von  $T_1 = (30 \pm 2) \text{ ms}$ , soweit überhaupt eine Periode zu beobachten ist. Beim Zweivegegleichrichter halbiert sich die Periodendauer zu  $T_2 = (15 \pm 2) \text{ ms}$ . Die Amplitude ergibt sich ohne Last und ohne Kondensator zu  $\hat{U}_o = (9 \pm 1) \text{ V}$  und mit Kondensator zu  $\hat{U}_C = (8 \pm 1) \text{ V}$

Die Amplitude ist bei beiden Gleichrichtervarianten gleich, da beim vorliegenden Versuchsaufbau die Spannung jeweils an der Hälfte der Spule abgegriffen wird. Wenn beim Einwegegleichrichter die ganze Spule genützt würde, wäre die Amplitude im Idealfall doppelt so hoch. Dieses Vorgehen ist beim Zweivegegleichrichter natürlich nicht möglich, was die Amplitude wie gezeigt begrenzt.

Der Kondensator glättet die Spannung äußerst zuverlässig. Erstaunlicherweise ist - im Rahmen der Ablesungenauigkeit des Oszillographen - keinerlei periodische Unregelmäßigkeit in der Spannung zu erkennen. Die maximale Spannung ist mit

eingebautem Kondensator geringer, da über diesem eine Spannung abfällt, was die Spannung über dem Lastwiderstand natürlich verringert.



**Abb. 3:** Spannungsverlauf des Einwegegleichrichters (links) und Zweiwegegleichrichters (rechts) in Abhängigkeit von der Zeit bei mittlerer Last. Die blaue Graph ist eine Abschätzung und basiert nicht auf tatsächlichen Messwerten.

Bei mittlerer Last ergibt sich für die Amplitude (mit Kondensator) nun  $\hat{U}_{C,L,1} = (7 \pm 1) \text{ V}$  für den Einwegegleichrichter beziehungsweise  $\hat{U}_{C,L,2} = (6,5 \pm 1) \text{ V}$  für den Zweiwegegleichrichter.

Bei einer mittleren Last (und demzufolge einem endlichen, aber nicht zu kleinen Lastwiderstand) wird mit eingeschaltetem Glättungskondensator ein charakteristisches Verhalten sichtbar, qualitativ dargestellt in Abbildung 3. Der Kondensator wird bei positivem Anstieg der ursprünglichen Spannungskurve geladen (nicht trivial mathematisch zu formulieren, da der Kondensator mit variabler Stromstärke geladen wird - daher im Plot vereinfacht dargestellt) und entlädt sich, nachdem das Maximum erreicht wurde, was durch eine Exponentialfunktion beschrieben wird. Dieses Verhalten sorgt dann bei der Last entsprechend dimensionierten Kondensator für die oben gezeigte Glättung der pulsierenden Gleichspannung.

### 1.3 Gleichspannungsmessung im Leerlauf

Nun werden im Leerlauf, d.h. ohne Last bzw mit unendlich großem Lastwiderstand, für beide Schaltungen die Ausgangsspannung mit einem auf Gleich- bzw. Wechselspannungen geeichtem Messgerät gemessen. Es ergeben sich folgende Werte (Unsicherheit wie oben berechnet):

	DC-Eichung	AC-Eichung
Einwegegleichrichter	$(3,2 \pm 0,3) \text{ V}$	$(3,4 \pm 0,3) \text{ V}$
Zweiwegegleichrichter	$(6,2 \pm 0,3) \text{ V}$	$(6,7 \pm 0,3) \text{ V}$

**Tab. 1:** Messwerte für die beiden Gleichrichterschaltungen, jeweils mit auf Wechsel- und auf Gleichstrom geeichtem Messgerät

Aus den gemessenen Werten ergibt sich die Scheitelspannung und deren Unsicherheit aus

$$U_m = \xi \cdot U_{eff} \quad (1)$$

$$\Delta U_m = \xi \cdot \Delta U_{eff} \quad (2)$$

Der Parameter  $\xi$  ergibt sich (Begründung: siehe Versuchsbeschreibung) für das auf Gleichspannung geeichte Messgerät bei Einwegegleichrichtung zu  $\xi_{DC,1} = \pi$  und für die Zweiwegegleichrichtung zu  $\xi_{DC,2} = \frac{\pi}{2}$ , während sich für das AC-geeichte Messgerät respektive  $\xi_{AC,1} = 2\sqrt{2}$  und  $\xi_{AC,2} = \sqrt{2}$  ergibt.

Daraus ergeben sich nachfolgende Ergebnisse:

$$U_{m_{DC,1}} = (9,6 \pm 0,8) \text{ V}$$

$$U_{m_{AC,1}} = (10,0 \pm 0,9) \text{ V}$$

$$U_{m_{DC,2}} = (9,7 \pm 0,5) \text{ V}$$

$$U_{m_{AC,2}} = (9,5 \pm 0,4) \text{ V}$$

Aus den so gewonnen Ergebnissen lässt sich aufgrund der überlappenden Fehlerintervalle ein gewichteter Mittelwert berechnen:

$$\bar{U}_m = (9,6 \pm 0,3) \text{ V}$$

## 2 Ergebnisdiskussion

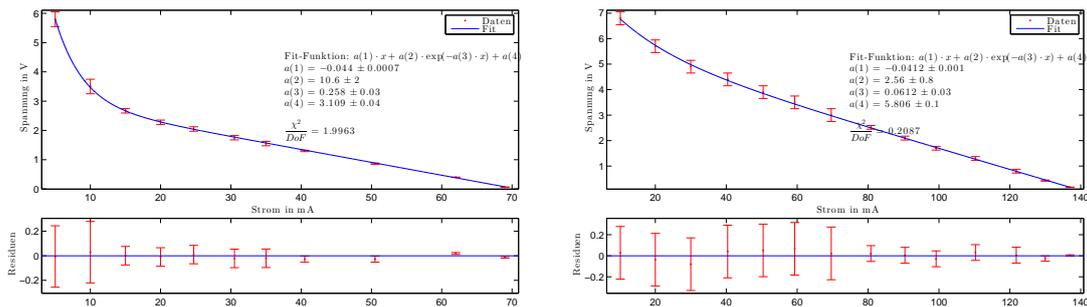
Die in 1.1 gewonnenen Kurven lassen sich wie folgt erklären: Bei kleinem Laststrom, also großem ohmschen Widerstand, fällt der Großteil der Spannung über dem Regelwiderstand ab, während der Widerstand der Spule und der restlichen Schaltung demgegenüber vernachlässigbar ist. Wenn nun der Regelwiderstand immer kleiner wird, fällt über der restlichen Schaltung eine immer größere Spannung ab, so dass die gemessene Spannung demgegenüber klein wird.

Wenn ein Kondensator zur Glättung der pulsierenden Gleichspannung verwendet wird, dann wird er bei ausreichend großem Lastwiderstand aufgeladen und entlädt sich, während die pulsierende Gleichspannung sinkt. Da das Voltmeter während der Messung implizit mittelt, mit Kondensator die Spannung aber während einer kürzeren Zeitspanne gering ist, steigt die gemessene Spannung. In Abbildung 3 zeigt sich eben dieses Verhalten ohne Last.

Das asymptotische Verhalten ist leicht zu erklären: Wenn der Lastwiderstand hinreichend klein ist, fließt der weitaus größere Teil des Stroms durch diesen - der Kondensator wird nicht geladen und deswegen verhält sich die Schaltung genauso wie ohne ihn.

Die im gemessenen zeitlichen Mittel doppelt so hohe Spannung bei dem Zweiwegegleichrichter folgt direkt aus der halbierten Periode der pulsierenden Wechselspannung.

Die mit Kondensator gewonnenen Spannungskurven lassen sich durch eine Überlagerung aus einer Exponentialfunktion und einem linearen Term sehr gut beschreiben (Abbildung 4), allerdings wurde keine physikalische Erklärung für diesen Sachverhalt gefunden. Aus dem Fit lässt sich die Spitzenspannung im Leerlauf  $I \equiv 0$  extrapolieren. Für den Zweivegegleichrichter ergibt sich dafür  $U_e \approx 8,3\text{ V}$ , was dem gemessenen Wert von  $\hat{U}_C = (8 \pm 1)\text{ V}$  erstaunlich gut entspricht. Im Fall des Einvegegleichrichters ergibt sich allerdings eine Spannung von  $U_e \approx 13,7\text{ V}$ , die erheblich zu hoch ist. Demzufolge scheint das verwendete Fitmodell zwar zu den Daten zu passen, aber nicht in jedem Fall eine korrekte Extrapolation der Messwerte zu erlauben.



**Abb. 4:** Fit der Spannungs-Stromstärke-Kennlinie der beiden Gleichrichterschaltungen. Einvegegleichrichter links, Zweivegegleichrichter rechts.

Die Graphen in **1.2** illustrieren den Vorteil des Zweivegegleichrichters gegenüber dem Einvegegleichrichter: Die Frequenz wird verdoppelt. Dadurch wird die Spannung bei gleicher Last und gleichem Kondensator erheblich stärker geglättet, was ein wünschenswertes Ergebnis ist. Andererseits ließe sich mit dem Einvegegleichrichter eine höhere Spitzenspannung erreichen, wenn der gesamte Transformator genutzt würde. Dies ist im vorliegenden Versuch nicht der Fall, was auch erklärt, woher die "zusätzliche" Energie kommt.

Der in **1.3** berechnete Wert für die Spitzenspannung  $\bar{U}_m = (9,6 \pm 0,3)\text{ V}$  stimmt im Rahmen der Messunsicherheit mit dem vom Oszillographen abgelesenen Wert von  $\hat{U}_o = (9 \pm 1)\text{ V}$  überein. Wie oben schon angedeutet, liegt die Spitzenspannung mit Glättungskondensator unter dieser berechneten Spannung ( $\hat{U}_C = (8 \pm 1)\text{ V}$ ), da über ihm ebenfalls eine Spannung abfällt, die dann vom Voltmeter nicht gemessen wird.