



# Grundpraktikum II

## E5 Gleichrichterschaltungen

Santiago Rodriguez

21. Dezember 2019

**Student:** Santiago Rodriguez  
santiago.rodriguez@physik.hu-berlin.de

**Betreuer:** Dr. Naim Bora Atlay

**Raum:** N.313

**Messplatz:** N.4

## Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Versuchsaufbau und Durchführung	2
3	Messung der zeitlichen Mittelwerte der Spannung $\bar{U}$ als Funktion des Laststromes $I$	3
4	Darstellung der charakteristischen Spannungsverläufe für die Ein- und Zweiweggleichrichtung	4
5	Messung der Gleichspannung für die Ein- und Zweiweggleichrichtung im Leerlauf $R \rightarrow \infty$	6
6	Berechnung der Scheitelspannung $U_m$ aus den Messwerten von [5]	6
7	Diskussion	7
8	Literaturverzeichnis	7
9	Messwerte	8

## 1 Abstract

Gleichrichterschaltungen sind elektrische Schaltungen die zur Umwandlung von elektrischen Wechselströmen in Gleichströme dienen. Mithilfe von Dioden, die in der Lage sind einen Stromfluss nur in einer einzigen Richtung hindurchfließen zu lassen, kann eine Sinusförmige Wechselspannung in eine pulsierende Gleichspannung gefiltert werden, die mit dem positiven Spannungswerten der ursprünglich angelegten Spannung übereinstimmt. Dies ist eine sogenannte Einweggleichrichtung; Durch anlegen einer weiteren Diode kann aber auch eine Zweiweggleichrichtung eingestellt werden, die eine Betragsfunktion dieses Sinusförmigen Verlaufes am Messgerät entstehen lässt. Welche Eigenschaften gewöhnlicher, elektrischer Gleichströme sowie welche Vor- und Nachteile bei solchen gleichgerichteten Stromflüssen vorliegen soll in diesem Versuch untersucht werden.

## 2 Versuchsaufbau und Durchführung

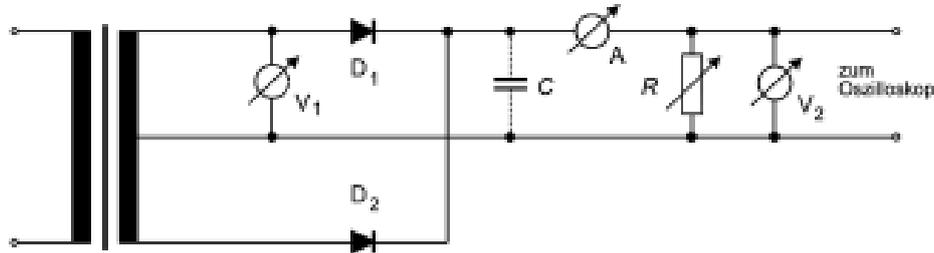


Abbildung 1: a) Spannungsmesser b) Strommesser [3]

Der Aufbau des Versuches besteht aus einer elektrischen Schaltung mit jeweils zwei Halbleiterdioden  $D_1$  und  $D_2$ , einem Kondensator  $C$ , einen Multimeter für die Messung einer Stromstärke  $A$ , zwei Spannungsmesser  $V_1$  und  $V_2$  sowie einen variablen Widerstand  $R$ . Sowohl die zweite Diode  $D_2$ , der Kondensator  $C$  und der Widerstand  $R$  können nach Bedarf entfernt oder hinzugefügt werden, um eine Ein- oder Zweiweggleichrichtung aufzubauen, die mit oder ohne Kondensator bzw. Widerstand versehen werden kann. Nachdem ein elektrischer Strom alle Bauteile der Schaltung durchflossen hat, kommt diese letztendes noch am Oszilloskop zur Messung an.

Am ersten Spannungsmesser  $V_1$  wird zunächst die Eingangsspannung  $U_E$  abgelesen, die in unseren Fall  $U_E = (7 \pm 0,175)V$  für alle Versuchsreihen beträgt. Der zweite Spannungsmesser  $V_2$  sowie der Multimeter  $A$  zur Strommessung, dienen somit zur Messung und Ermittlung der experimentellen Messwerte, wobei diese jeweils eine Unsicherheit von  $u_A = 1,5\%$  und  $u_V = 2,5\%$  aufgrund der Messklassen der verwendeten Geräte erhalten.

TYP 07132.00		Nr :	
BEREICHE RANGES	EINGANG INPUT	SCHUTZ PROTECTION	FEHLER ERROR (16 30 C) * (...% v. Messwert , Digit)
$V \sim$ 200mV... 1000V	10MΩ	1000Vmax	0.5% + 1d
200mV 2 V $V \sim$ 20 V 200 V 650V/750V/50Hz	10 MΩ II ≤100pF	250V ≈ 1000V ~ 1000Vmax 750V ~	30...1000Hz 1...2 kHz 2...4 kHz 1% + 2d 2% + 3d 5% + 5d nicht spezifiziert nicht spezifiziert
200μA 2mA 20mA 200mA 2 A $A \approx$	Rsh - Rfmax 1000 Ω 100.2 Ω 10.2 Ω 1.2 Ω 0.3 Ω	2A / 250V F 	A ~ 30... 1000Hz A ~ 1... 4kHz 2% + 2d 1% + 1d 1.5% + 2d 2% + 10d
200Ω 2000 kΩ 20MΩ Ω	0 ≤ Rx ≤ ∞ 0 ≤ Urx ≤ 1.3V	250V ≈	0.3% + 3d 2% + 2d
Notes ⊘ not specified			

Abbildung 2: Herstellerangabe für die Messunsicherheiten

### 3 Messung der zeitlichen Mittelwerte der Spannung $\bar{U}$ als Funktion des Laststromes $I$

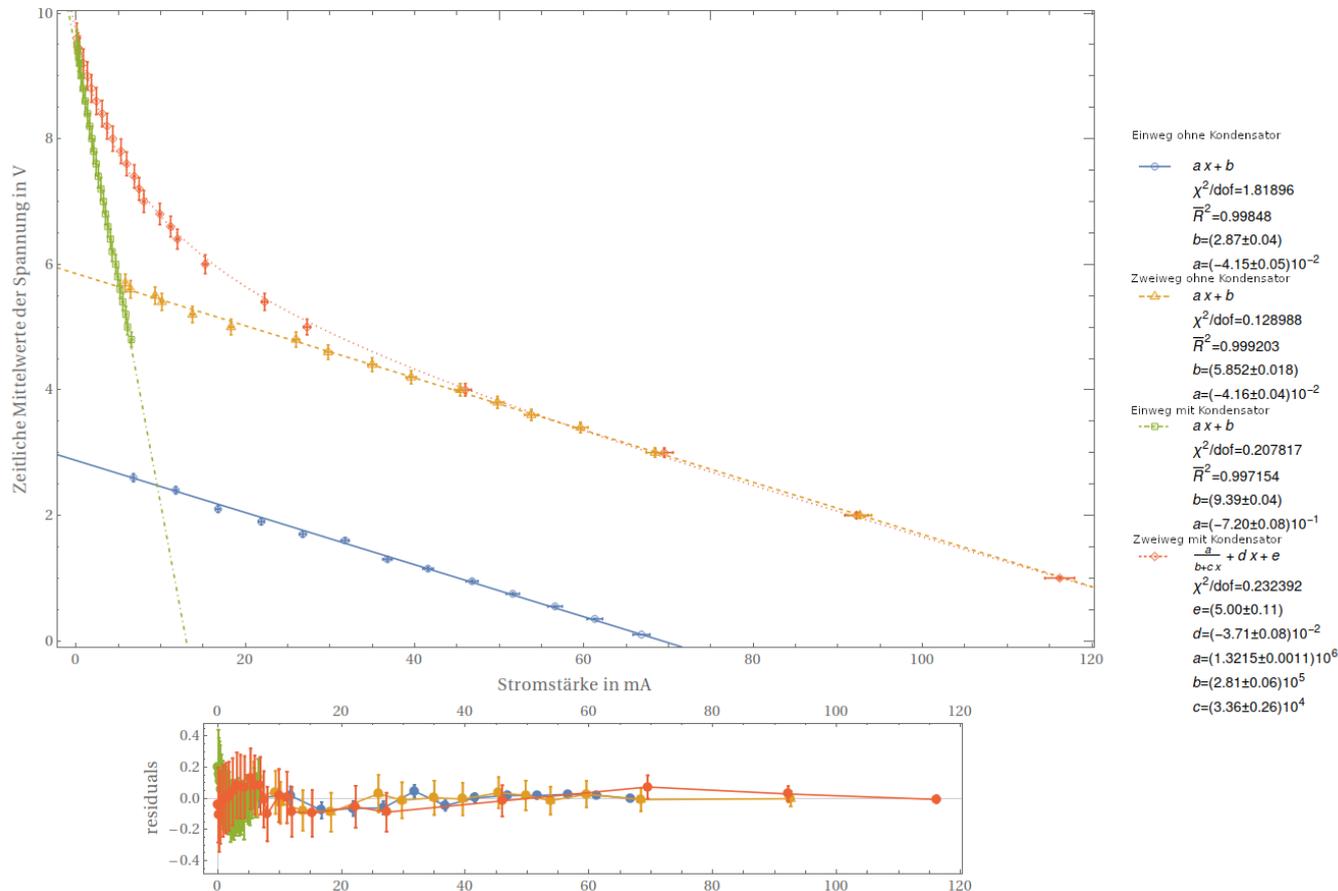


Abbildung 3: Grafische Darstellung von  $\bar{U}(I)$

Für die erste Versuchsreihe werden nun zunächst die zeitlichen Mittelwerte  $\bar{U}$  der Spannung in Abhängigkeit des Laststromes  $I$  aufgenommen und mithilfe von Regression eine Funktion  $\bar{U}(I)$  der zeitlich gemittelten Spannung in Abhängigkeit davon gebildet sowie grafisch dargestellt. Es wurden die Fälle untersucht, an denen eine Einweggleichrichtung mit Kondensator und ohne Kondensator sowie die Zweiweggleichrichtung auch jeweils mit und ohne Kondensator in der Schaltung aufgestellt wurde. Man sieht an der Abb.2, dass sich alle Versuchsreihen bis auf diejenige der Zweiweggleichrichtung und Kondensator mit einer linearen Regression der Form  $\bar{U}(I) = R \cdot I + U_0$  beschreiben lassen. Die letzte Messreihe ließ sich aber durch eine nicht-lineare Regression der Form  $\bar{U}(I_l) = \frac{(R_0 \cdot I_0)^2}{I_1 + R_b \cdot I_l} + R \cdot I_l + U_0$  effektiv beschreiben, obwohl der Verlauf eher ähnlich zu einem exponentiellen Abfall auf den ersten Blick erscheint. Der Grund, warum dieser Verlauf nicht an den Einweggleichrichtung zu beobachten ist, liegt vermutlich an den fehlenden Messwerten für die Werteumgebung, an der diese mit der Regression für die Einweggleichrichtung konvergieren würde.

Es ist zu erkennen, dass die Verläufe der Regressionen der Ein- und Zweiweggleichrichtung ohne Kondensator fast identisch sind, mit nahezu den gleichen Werten für die Widerstände  $R_E = (-4,15 \pm 0,05) \cdot 10^{-2} \Omega$  und  $R_Z = (-4,16 \pm 0,04) \cdot 10^{-2} \Omega$ , sowie lediglich den doppelten Anfangswert  $U_Z = (5,85 \pm 0,018)V$  für die mittlere Spannung der Zweiweg-

gleichrichtung im Vergleich zur Einweggleichrichtung  $U_E = (2,87 \pm 0,04)V$ . Der Grund für diese Symmetrie liegt daran, dass in der Zweiweggleichrichtung im Vergleich zur Einweggleichrichtung die doppelte Anzahl an Pulsen innerhalb einer Periode stattfinden. Somit ist der zeitliche Mittelwert für die Spannung dementsprechend doppelt so groß wie bei der Einweggleichrichtung, nicht weil die Spannung doppelt so groß ist, sondern weil sie sich bei der Zweiweggleichrichtung im zeitlichen Mittel doppelt so viel wiederholt.

Für die Ein- und Zweiweggleichrichtung mit Kondensator weisen die entstehenden Graphen am Anfang einen besonders starken Abstieg auf, wobei aber nur die Einwegrichtung die scharfe negative Steigung von dessen Widerstand  $R_E = (-7,20 \pm 0,08) \cdot 10^{-1}\Omega$  anscheinend beibehaltet, während die Zweiwegrichtung bei höheren Lastströmen  $I$  mit der Regression für den Verlauf der Zweiweggleichrichtung ohne Kondensator konvergiert. Ob dies jedoch bei weiteren Messungen im Bereich, an dem die Regression mit der für die Einwegrichtung ohne Kondensator konvergiert hätte, weiterhin der Fall gewesen wäre, ist fragwürdig und hätte in einer weiterreichenden Versuchsreihe tiefgründiger untersucht werden sollen.

## 4 Darstellung der charakteristischen Spannungsverläufe für die Ein- und Zweiweggleichrichtung

Während der zweiten Versuchsreihe wird mithilfe eines Oszilloskops die pulsierenden Spannungsverläufe für jeweils Ein- und Zweiweggleichrichtung mit/ohne Kondensator sowie Entlastung grafisch am Messgerät dargestellt und mit einer digitalen Mobilkamera aufgenommen. Für diesen Versuch sind keine genauen Werte aufgenommen worden, denn der wesentliche Schwereit des Versuches lag daran, rein anschaulich die sehr charakteristischen, periodischen Verläufe von den pulsierenden Spannungen der Gleichströme darzustellen.

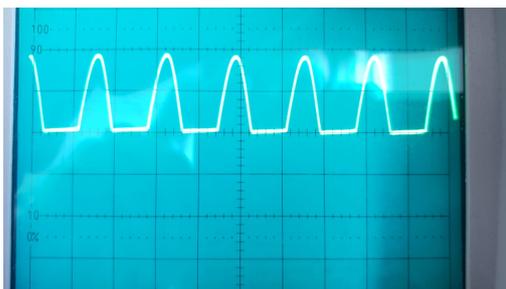


Abbildung 4: Einweggleichrichtung ohne Kondensator/Belastung

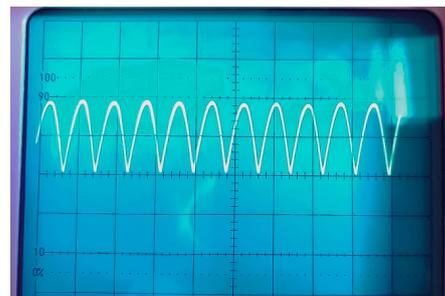


Abbildung 5: Zweiweggleichrichtung ohne Kondensator/Belastung

Die ersten beiden Abbildungen 4 u. 5 dieser Versuchsreihe zeigen den Spannungsverlauf der Ein- und Zweiweggleichrichtung in Abhängigkeit des Laststromes  $I(t)$  ohne Kondensator oder Belastung. Man beobachtet dieselbe Amplitude und Periodenlänge des Pulses für die beiden periodischen Funktionen mit dem einzigen Unterschied, dass in der Zweiweggleichrichtung nicht nur eine, sondern stets zwei Halbwellen nacheinander pulsieren sodass die Frequenz für die harmonische Schwingung trotzdem im Fall der Zweiweggleichrichtung verdoppelt wird. Eine mathematische Beschreibung erfolgt mit;

$$U_A(t) = \frac{U_m \cdot R}{R + R_D} |\sin(\omega t)| \quad (1)$$

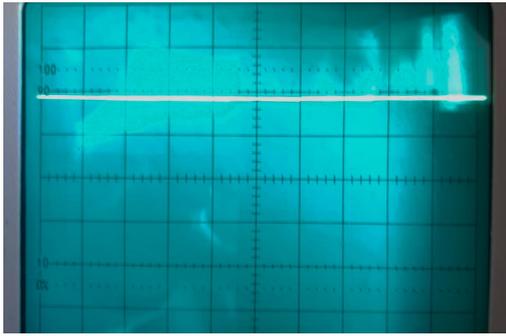


Abbildung 6: Einweggleichrichtung mit Kondensator - ohne Belastung

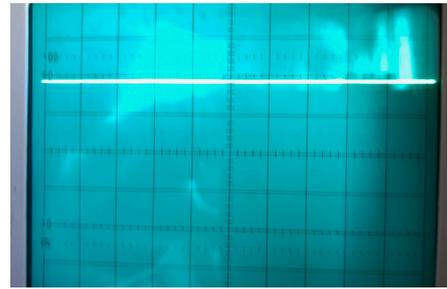


Abbildung 7: Zweiweggleichrichtung mit Kondensator - ohne Belastung

Für die Ermittlung der beiden obigen Abbildungen 6 und 7 wurde nun in die Schaltung ein Kondensator eingebaut der zum Ziel hatte, die unter Abb. 4 und 5 angezeigten, pulsierenden Signale zu glätten. Insbesondere bei technischen Anwendungen elektrischer Ströme in Haushaltsgeräten bspw. ist es meistens notwendig, den aus der Steckdose abgegebenen Wechselstrom zuerst in einen Gleichstrom umzuwandeln und diesen dann in ein konstantes, ebenes Signal für die gleichmäßige Energieversorgung solcher Geräte weiter zu verarbeiten.

An den praktisch identischen Abbildungen 6 und 7 sieht man nun hier, dass sowohl bei der Einweg- als auch bei der Zweiweggleichrichtung durch das Einsetzen des Kondensators ein szsg. glattes Signal entstanden ist, an dem der Spannungsverlauf bei dem ursprünglichen Wert der Amplitude des Signals zeitlich konstant bleibt.

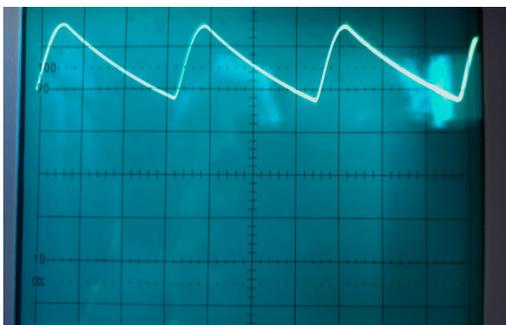


Abbildung 8: Einweggleichrichtung mit Kondensator u. Belastung

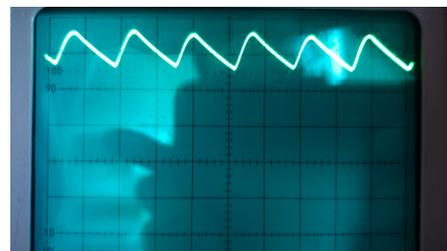


Abbildung 9: Zweiweggleichrichtung mit Kondensator u. Belastung

Nach hinzufügen eines Belastungswiderstandes zur Schaltung mit dem Kondensator geht die in Abb. 6 und 7 beobachtete Glättung teilweise verloren und es entsteht erneut ein periodisches Signal für die Spannungsverläufe der Ein- und Zweiweggleichrichtung. Der Hauptunterschied liegt nach wie vor in der Anzahl an Pulsen in einem bestimmten Zeitintervall; bei der Einweggleichrichtung beträgt die Frequenz des Signals in etwa die Hälfte von der des Signals der Zweiweggleichrichtung. Dies liegt auch wieder daran, dass so wie bei Abb. 4 und 5 beide Halbwellen des Wechselstromes an der Zweiweggleichrichtung pulsieren und bei der Einweg- nur eine.

## 5 Messung der Gleichspannung für die Ein- und Zweiweggleichrichtung im Leerlauf $R \rightarrow \infty$

Messwerte		
Spannungsart	Einweggleichrichtung	Zweiweggleichrichtung
Gleichspannung	$U_{ein} = 6,5V$	$U_{ein} = 6,5V$
	$U_{aus} = 3V$	$U_{aus} = 6,2V$
Wechselspannung	$U_{ein} = 6,5V$	$U_{ein} = 6,5V$
	$U_{aus} = 3,2V$	$U_{aus} = 6,6V$

In der letzten Versuch dieser Versuchsreihe wird nun an der Schaltung der Widerstand  $R$  entfernt und somit im sogenannten Leerlauf eingestellt mit  $R \rightarrow \infty$ , da der Stromkreis nun nicht mehr geschlossen ist und somit quasi ein unendlich großer Widerstand den Stromfluss verhindert sodass auch gilt  $I(t) \rightarrow 0$ .

Dieser Versuch wurde zweimal mit jeweils einem für Gleichspannungen sowie einem für Wechselspannungen geeichten Drehspulmessinstrument durchgeführt. Es wurde keine weitere Belastung eingestellt, sowie auch kein Kondensator  $C$

## 6 Berechnung der Scheitelspannung $U_m$ aus den Messwerten von [5]

Es soll mit dem aus [5] ausgemessenen Werten für die Gleich- und Wechselspannung im Leerlauf sowohl in der Ein- und Zweiweggleichrichtung die Scheitelspannung  $U_m$  berechnet werden. Hierbei gilt für jeweils die Zwei- und Einweggleichrichtungen;

$$\bar{U}_{ALeer} = \frac{2U_m}{\pi} \quad \bar{U}_{ALeer} = \frac{U_m}{\pi} \quad (2)$$

$$U_{AeffLeer} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad U_{AeffLeer} = \frac{U_m}{2} \quad (3)$$

Also kann die Scheitelspannung in beiden Fällen mithilfe von

$$U_m = \frac{\bar{U}_{ALeer} \cdot \pi}{2} \quad U_m = \pi \cdot \bar{U}_{ALeer} \quad (4)$$

für den auf Gleichspannung geeichten Messinstrumenten und

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U_{AeffLeer} \quad U_m = 2 \cdot \bar{U}_{AeffLeer} \quad (5)$$

für den auf Wechselspannung geeichten ausgerechnet werden. Hieraus ergibt sich für die Scheitelspannung mit den obigen Formeln und mit gaußscher Fehlerfortpflanzung für die Unsicherheiten;

$$U_{mGZ} = (9,7 \pm 0,2)V \quad U_{mGE} = (9,4 \pm 0,1)V \quad (6)$$

$$U_{mWZ} = (9,3 \pm 0,2)V \quad U_{mWE} = (6,4 \pm 0,2)V \quad (7)$$

## 7 Diskussion

In dem Versuch wurde beobachtet, wie Wechselströme in Gleichströme auf unterschiedlichen Weisen mithilfe von Halbleiterdioden umgewandelt werden können und welche Unterschiede zwischen den jeweiligen Aufbaustrukturen entstehen können. So wurde u.A. beobachtet, dass im ersten Versuch der Aufbau mit einer Halbleiterdiode (Einweggleichrichtung) stets die Hälfte der Spannung aufwies, als der Aufbau mit zwei Dioden (Zweiweggleichrichtung). Je nachdem ob bei einer technischen Anwendung eine größere oder kleinere Spannung notwendig wäre, könnte also die eine oder andere angewendet werden. Durch diesen Versuch wurde eine Aussage über die Glättung der elektrischen Spannung in solchen Schaltungen möglich gemacht- diese ist nämlich mithilfe eines Kondensators möglich, der das ursprünglich pulsierende Signal bis auf eine fast ebene Linie glättet. Zusätzliches anlegen einer Belastung verursacht jedoch erneut ein pulsierendes Signal, selbst mit angeschlossenen Kondensator, und ist schwieriger zu glätten wenn das Signal in kürzeren Zeitintervallen pulsiert, so wie bei der Zweiweggleichrichtung. Somit eignet sich die Einweggleichrichtung für glattere Signale u.U. besser als die Zweiweggleichrichterschaltung.

Die für die Scheitelspannung  $U_m$  ermittelten Messwerte unter Abschnitt 6 entsprechen bis auf einen mit der Erwartung überein, dass dieselbe, eindeutige Scheitelspannung aus unterschiedlichen Werten des Signals ermittelt werden könnten. Bis auf diesen einen Messwert, der für die Einwegrichtung mit dem auf Wechselspannung geeichten Messinstrumenten mit  $U_{mWE} = (6,4 \pm 0,2)V$  bestimmt wurde, deuten alle auf eine Scheitelspannung im Bereich  $U_m = 9.5 \pm 0.3V$ . Auch die Messunsicherheit liegt innerhalb des erwarteten Bereiches aufgrund der Messklasse der Instrumente.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Elektrodynamik und Optik*, 2012
- [2] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik*, 2007
- [3] Dr. Uwe Müller: *E5 - Gleichrichterschaltungen*, 2019

9 Messwerte

U<sub>ein</sub> = 7V

1) 20mA

Zweiweg mit Kondensator 10µF

	50kΩ	16kΩ	25kΩ	1kΩ	7kΩ	5kΩ	3,7kΩ	2,8kΩ	2,3kΩ
J	0,14mA	0,25	0,143	0,89	1,35	1,84	2,42	3,10	3,69
U	9,6V	9,45	9,40	9,2	9	8,8	8,6	8,4	8,2
	4,3kΩ	4,5	4,3	4kΩ	1kΩ	900	700	600	550
	4,36	5,35	6,00	6,90	7,47	8,03	8,92	11,20	11,39
	8	7,8	7,6	7,4	7,0	7	6,8	6,6	6,4

Einweg mit Kondensator U<sub>ein</sub> = 7V

	20mA	100kΩ	60kΩ	35kΩ	25kΩ	16kΩ	11kΩ	8,3kΩ	6,4	5,3
J	0,13mA	0,2	0,171	0,42	0,62	0,85	1,10	1,37	1,62	
U	9,5	9,4	9,3	9,2	9	8,8	8,6	8,4	8,2	
	4,4	3,9	3,3	2,9	2,5	2,2	2kΩ	1,7	1,6	1,5
	1,89	2,09	2,39	2,65	2,96	3,26	3,50	3,78	4,09	4,28
	8	7,8	7,6	7,4	7,2	7	6,8	6,6	6,4	6,2

Messw. 2mA

Zweiweg ohne Kondensator U<sub>ein</sub> = 7V M:30

	10kΩ	300kΩ	2000	1000Ω	900Ω	600	550	320
J	0,633	0,5	3,02	5,84	6,46	9,36	10,16	12,77
U	8V	5,9V	5,8V	5,7V	5,6V	5,5V	5,4	5,2
Messw. 200mA	290	180	160	140	110	90	80	69
	1,9,33	2,60	2,18	35	3,9,6	4,5,4	4,9,0	5,3,8
	5	4,8	4,6	4,4	4,2	4	3,8	3,6

Klasse 2,5

Einweg ohne Kondensator U<sub>ein</sub> = 7V M:30V

	100V	24V	135	94	68	51	38
J	6,8mA	11,8mA	16,8mA	21,8mA	26,8mA	31,8mA	36,8
U	2,5V	2,4V	2,2V	1,9V	1,7V	1,6V	1,3V
	29	21	15	10,2	6,2	2,2	
	41,6mA	46,8mA	51,6mA	56,6mA	61,3	66,8	
	1,75V	1,95V	2,75	0,55V	0,35V	0,1V	

Abbildung 10: Messwerte aus dem 10.12.2019

V<sub>Klasse 2,5</sub> Einweg ohne Kondensator U<sub>angang</sub> = 2,8 11,30 V

Widerstand	600	210	135	94	68	51	38
200 mA	6,8 mA	11,8 mA	16,8 mA	21,8 mA	26,8 mA	31,8 mA	36,8
10 V	2,5 V	2,4 V	2,1 V	1,9 V	1,7 V	1,6 V	1,3 V
3 V	41,6 mA	46,8 mA	51,6 mA	56,6 mA	61,3	66,8	
	1,15 V	0,95 V	0,75	0,55 V	0,35 V	0,1 V	

Fortsetzung Zweiweg mit Kondensator

Widerstand	280	190	90	44	22	9
200 mA	52,3	27,3	46,0	69,5	92,9	116,2
U	5,4	5	4	3	2	1

Fortsetzung Einweg mit Kondensator

Widerstand	120	90	85	750	500	280
J	5,55	3,91	6,10	6,56	8,18	11,12
U	5,4	5,2	5	4,8	4	3

3)

Einweg	Zweiweg
<u>Gleichspannung</u>	<u>Gleichspannung</u>
U <sub>ein</sub> : 6,5 V	U <sub>ein</sub> : 6,5 V
U = 3 V	U <sub>aus</sub> : 6,2 V
Widerstand	Widerstand
U <sub>aus</sub> : 3,2 V	U <sub>aus</sub> : 6,6 V
10 V	10 V
<u>Wechselspannung</u>	<u>Wechselspannung</u>