

V303

Der Lock-In Verstärker

Yanick Sebastian Kind
yanick.kind@udo.edu

Till Willershausen
till.willershausen@udo.edu

Durchführung: 15.06.2021

Abgabe: 21.06.2021

Inhaltsverzeichnis

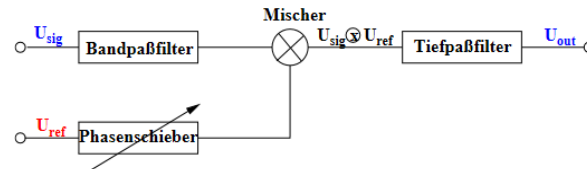
1	Theorie	3
2	Durchführung	3
3	Auswertung	4
3.1	Verifizierung der Funktion eines phasenempfindlichen Gleichrichters	4
3.2	Überprüfung der Rauschunterdrückung des Lock-In-Verstärkers mit einer Photodetektorschaltung	8
4	Diskussion	10
	Literatur	11

1 Theorie

Ziel des Versuches ist die Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers kennen zu lernen. Ein Lock-In-Verstärker entrauscht und verstärkt ein verrauschtes Eingangssignal.

Das eingehende Meßsignal wird mit einer Referenzfrequenz ω_0 moduliert. In Abbildung 1 wird der grundsätzliche Aufbau des Verstärkers dargestellt. Das verrauschte Signal

Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Lock-In-Verstärkers.[1]



wird durch einen Bandpass von Rauschanteilen höherer und tieferer Frequenzen befreit. In einem Mischer wird mit einem Referenzsignal der Frequenz ω_0 das Signal multipliziert. Mit Hilfe eines Phasenverschiebers kann die Phasenlage ϕ des Referenzsignals variiert werden und so mit dem Signal synchronisiert werden. Hinter dem Mischer ist ein Tiefpass eingeschaltet, der das Mischsignal $U_{\text{sig}} \times U_{\text{ref}}$ über mehrere Perioden der Modulationsfrequenz integriert. Das Ausgangssignal U_{out} ist eine Gleichspannung mit

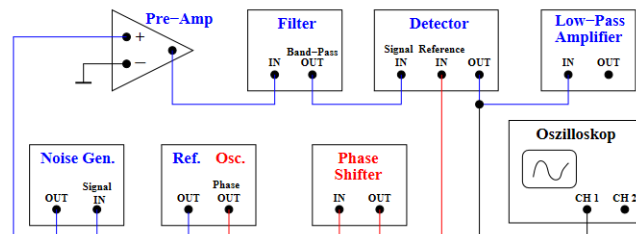
$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \cos \phi , \quad (1)$$

welche proportional zur Eingangsspannung ist.

2 Durchführung

Der Versuch besteht im wesentlichen aus einem Lock-In-Verstärker und einem Oszilloskop. Außerdem wird für den zweiten Versuchsteil eine Leuchtdiode und ein Photodetektor benötigt. Für den ersten Versuchsteil wird die Schaltung, wie in Abbildung 2 zu sehen ist, aufgebaut. Dabei wird zunächst der Rausch Generator überbrückt. Es werden sechs

Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines Lock-In-Verstärkers mit Rausch Generator.[1]

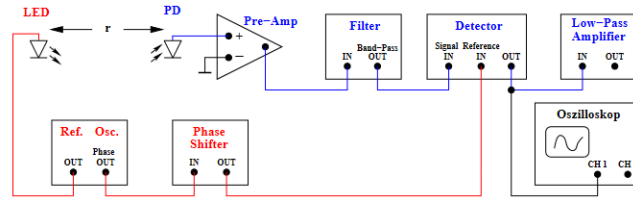


verschiedene Phasen am Phasenverschieber eingestellt und die entstehenden Bilder werden

am Oszilloskop gespeichert. Das Verfahren wird noch einmal mit dem angeschlossenen Rausch Generator durchgeführt.

Für den zweiten Aufgabenteil wird, wie in Abbildung 3 zu sehen ist, an der Stelle des Rausch Generators eine LED und ein Photodetektor im Abstand r von einander angeschlossen. Dabei ist der Abstand variierbar. Es werden 15 bis 20 mal die Wertepaare

Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines Lock-In-Verstärkers mit Leuchtdiode und Photodetektor.[1]

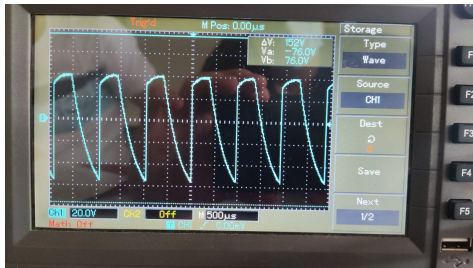


des Abstands und der davon abhängigen Spannungsamplitude bestimmt.

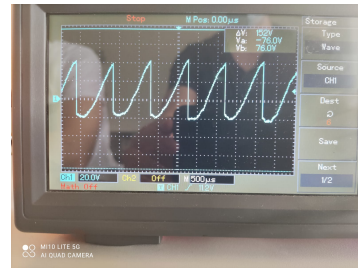
3 Auswertung

Allgemeine Rechnungen wurden mit der python-Bibliothek numpy [3] automatisiert. Die graphischen Unterstützungen wurden mit Hilfe der python-Bibliothek matplotlib [2] erstellt.

3.1 Verifizierung der Funktion eines phasenempfindlichen Gleichrichters



(a) Ohne Rauschen

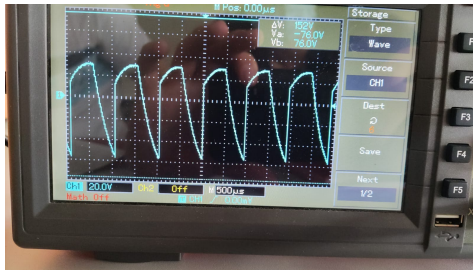


(b) Mit Rauschen

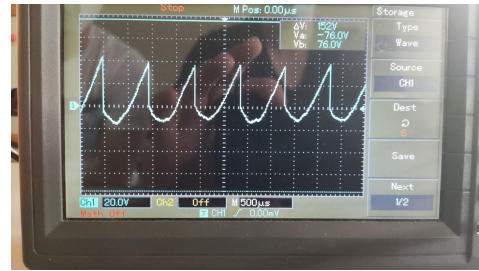
Abbildung 4: Ausgangsspannung bei $\phi = 0^\circ$

In der Tabelle 1 sind die gemessenen Ausgangsspannungen in Abhängigkeit von der Phase ϕ aufgezeichnet. Dabei ist U_{out} die unverrauschte Spannung und $U_{\text{out, noise}}$ die verrauschte Spannung. Aus der Tabelle 1 ergibt sich einerseits die Abbildung 11 mit den unverrauschten Spannungen, andererseits die Tabelle 12 mit den verrauschten Spannungen. Dort sind die gemessenen Spannungen gegen die Phase aufgetragen. Zusätzlich ist dort eine Ausgleichskurve gemäß der Beziehung (1) eingezeichnet, welche sich mittels

$$U_{\text{out}} = a \cos(b\phi + c) + d \quad (2)$$

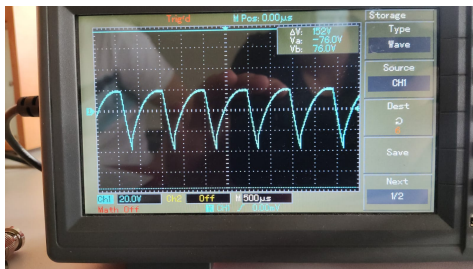


(a) Ohne Rauschen

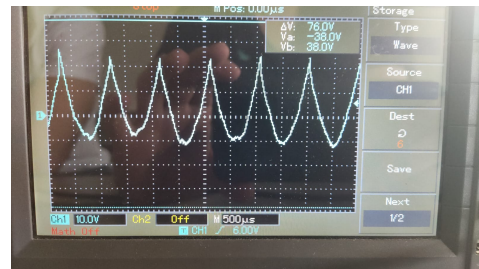


(b) Mit Rauschen

Abbildung 5: Ausgangsspannung bei $\phi = 30^\circ$

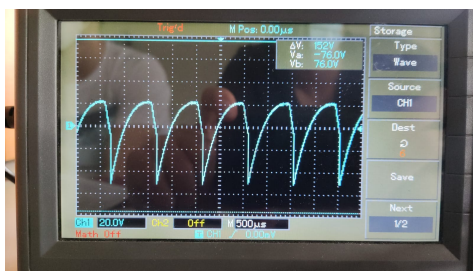


(a) Ohne Rauschen



(b) Mit Rauschen

Abbildung 6: Ausgangsspannung bei $\phi = 60^\circ$

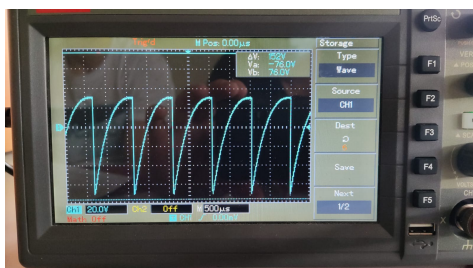


(a) Ohne Rauschen

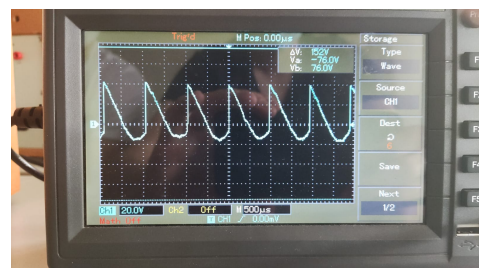


(b) Mit Rauschen

Abbildung 7: Ausgangsspannung bei $\phi = 90^\circ$

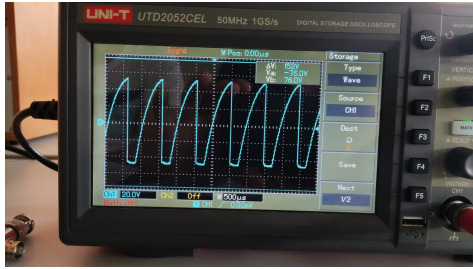


(a) Ohne Rauschen

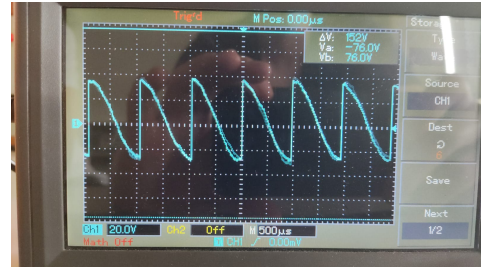


(b) Mit Rauschen

Abbildung 8: Ausgangsspannung bei $\phi = 120^\circ$



(a) Ohne Rauschen

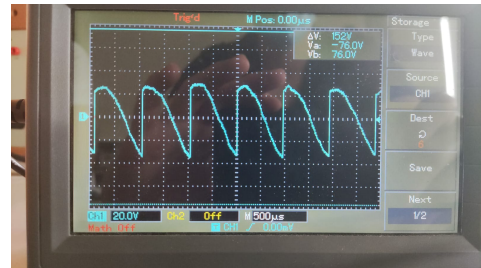


(b) Mit Rauschen

Abbildung 9: Ausgangsspannung bei $\phi = 150^\circ$



(a) Ohne Rauschen



(b) Mit Rauschen

Abbildung 10: Ausgangsspannung bei $\phi = 180^\circ$

Tabelle 1: Gemessen Ausgangsspannungen U_{out} und $U_{\text{out, noise}}$.

$\phi / ^\circ$	$U_{\text{out}} / \text{mV}$	$U_{\text{out, noise}} / \text{mV}$
0	96	96
30	86	86
60	58	33
90	74	44
120	110	110
150	100	100
180	96	96

beschreiben lässt. Für die unverrauschte Spannung ergeben sich die Parameter zu

$$a = 22,09 \pm 5,94$$

$$b = 2,17 \pm 0,22$$

$$c = 113,93 \pm 0,44$$

$$d = 86,58 \pm 4,13 .$$

Die Regressionsparameter der verrauschten Messwerte werden zu

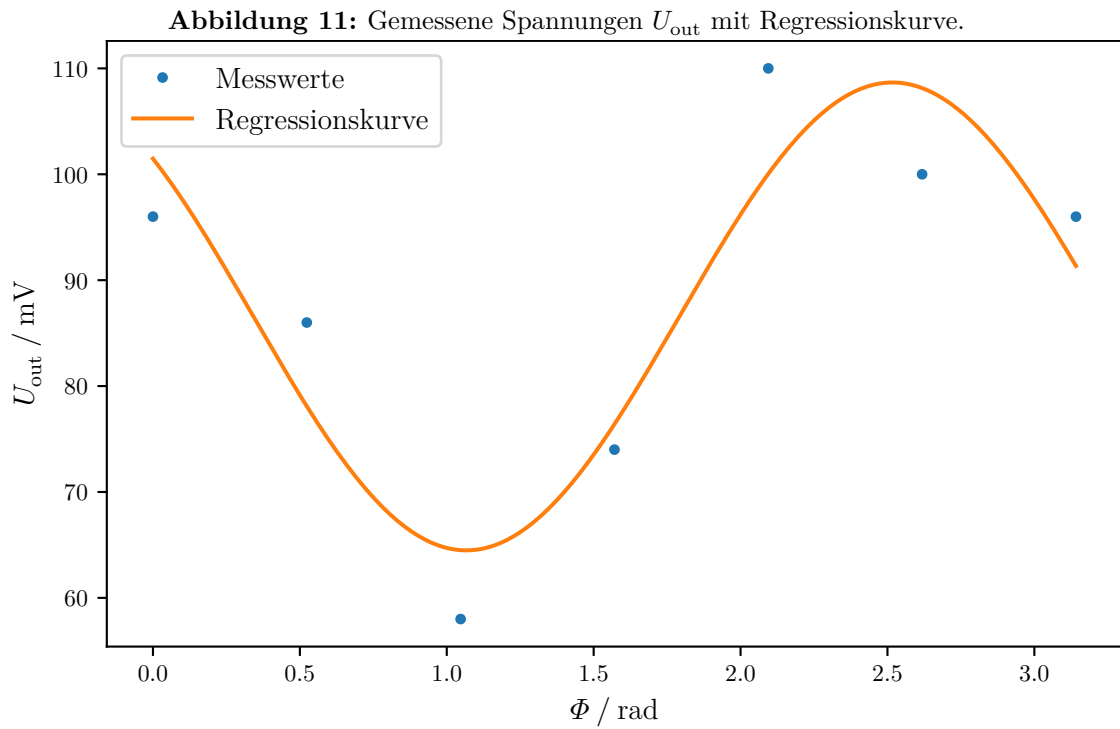
$$a_{\text{noise}} = 13,64 \pm 2,51$$

$$b_{\text{noise}} = 2,12 \pm 0,35$$

$$c_{\text{noise}} = 113,64 \pm 0,35$$

$$d_{\text{noise}} = 50,85 \pm 1,88$$

berechnet. Somit können die Spannungsamplituden U_0 gemäß



$$U_0 = \frac{\pi}{2}a$$

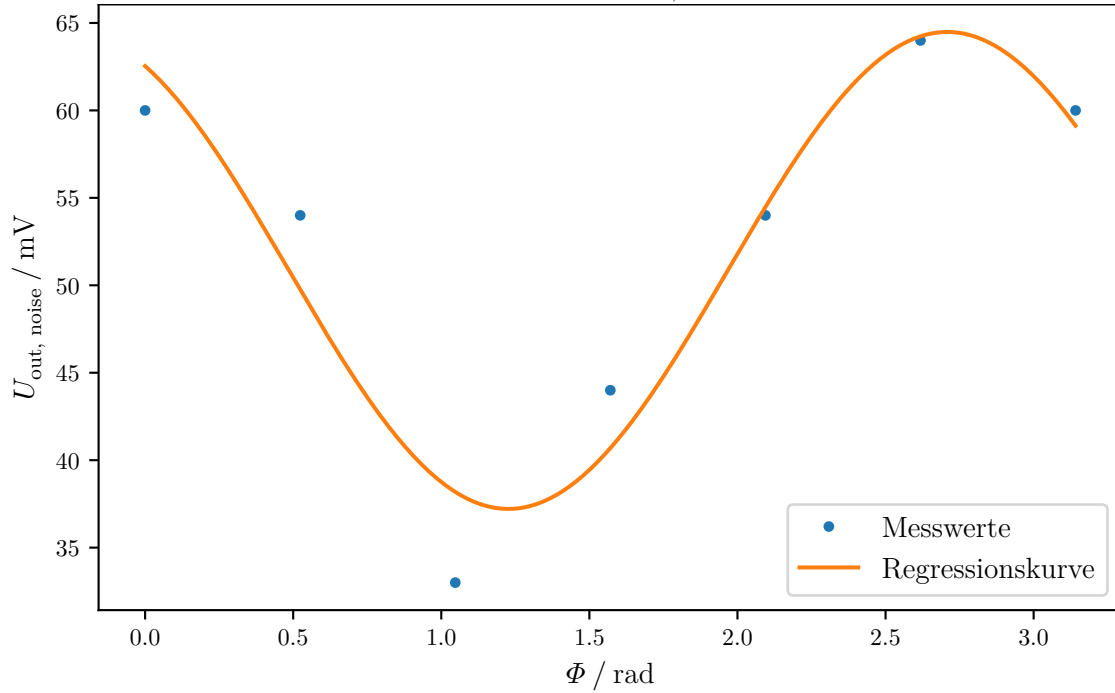
zu

$$U_0 = 33,7 \text{ mV}$$

$$U_{0, \text{ noise}} = 21,42 \text{ mV}$$

bestimmt werden.

Abbildung 12: Gemessene Spannungen $U_{\text{out, noise}}$ mit Regressionskurve.



3.2 Überprüfung der Rauschunterdrückung des Lock-In-Verstärkers mit einer Photodetektorschaltung

In der Tabelle 2 ist die gemessene Spannung U in Abhängigkeit des Abstands r zwischen der LED und der Photodiode aufgelistet. Dazu sind die Messwerte inklusive Regressionskurven mit einer $1/r$ - und $1/r^2$ -Abhängigkeit in der Abbildung 13 aufgetragen. Die Regressionskurven haben die Form

$$U = \frac{a_1}{r} + b_1$$

und

$$U = \frac{a_2}{r^2} + b_2 .$$

Dabei ergeben sich die Parameter zu

$$a_1 = 10,23 \pm 0,18$$

$$b_1 = 0,44 \pm 0,05$$

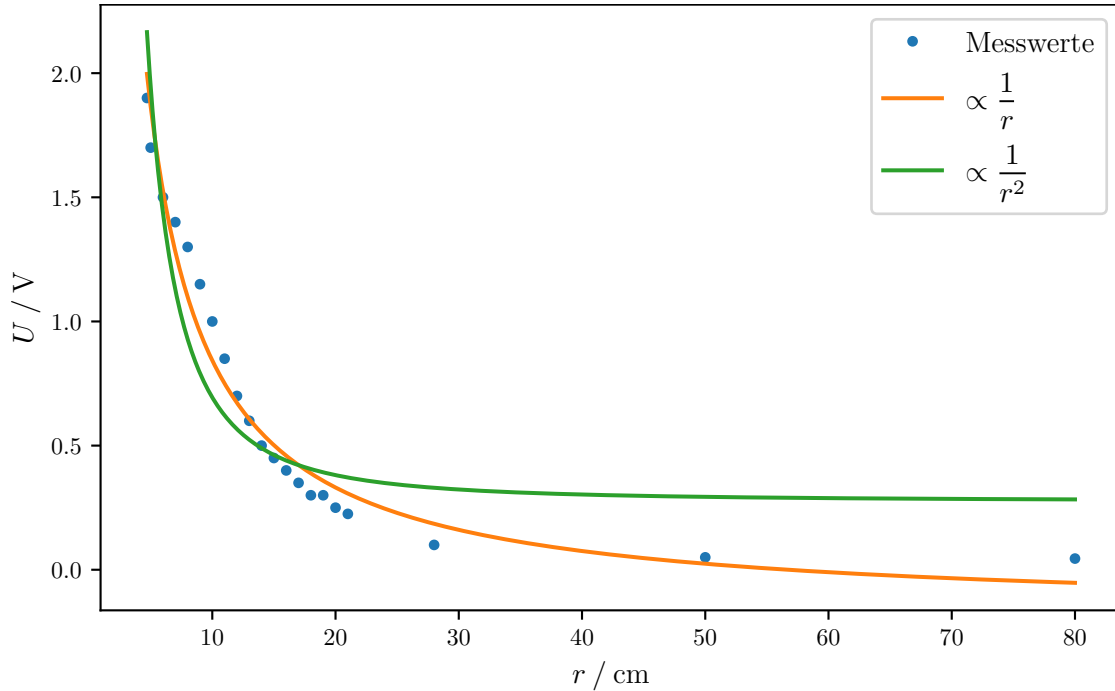
$$a_2 = 41,72 \pm 0,28$$

$$b_2 = 3,78 \pm 0,06 .$$

Tabelle 2: Gemessene Spannungen U in Abhängigkeit des Abstands.

r / cm	U / V
4,7	1,90
5,0	1,70
6,0	1,50
7,0	1,40
8,0	1,30
9,0	1,15
10,0	1,00
11,0	0,85
12,0	0,70
13,0	0,60
14,0	0,50
15,0	0,45
16,0	0,40
17,0	0,35
18,0	0,30
19,0	0,30
20,0	0,25
21,0	0,23
28,0	0,10
50,0	0,05
80,0	0,04

Abbildung 13: Gemessene Spannungen und Regressionskurven in Abhängigkeit des Abstands.



4 Diskussion

In Abschnitt 3.1 wird bereits bei den Instantanaufnahmen ersichtlich, dass die Spannungsverläufe mit dem verrauschten Signal verrauscht erscheinen. Ebenfalls wird auffällig, dass die Spannungsverläufe um die x-Achse gedreht werden und die Amplitude des verrauschten Signals merkbar kleiner ist. Bei Betrachtung der Abbildungen 11 und 12 fällt auf, dass die Regressionskurven sehr ähnlich verlaufen, während die Messwerte des unverrauschten Signals eine etwas höhere Abweichung aufweisen, was sich in den Unsicherheiten der Regressionsparameter widerspiegelt. Die Beziehung $U \propto U_0 \cos(\phi)$ konnte in diesem Versuchsteil gut überprüft werden.

In der Abbildung 13 erscheint es so, als ob die gemessene Intensität bzw. Spannung eine $1/r$ -Abhängigkeit aufweist, da die Regressionskurve mit dieser Abhängigkeit die Messwerte besser darstellt. Jedoch kann der Abbildung der Fakt, dass die Intensität niemals 0 sein wird, entnommen werden. Dies liegt daran, dass der Raum nicht komplett abgedunkelt wurde und somit immer eine Grundintensität vorhanden ist. Jedoch kann dort erkannt werden, dass die Intensität der LED ab einem Abstand von ca. $r_{\text{max}} = 40 \text{ cm}$ nicht mehr gemessen wurde.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *V303, Der Lock-In-Verstärker*.
- [2] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [3] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.