

V303

Lock-In-Verstärker

Tahir Kamcili
tahir.kamcili@udo.edu

Marina Andreß
marina.andress@udo.edu

Durchführung: 15.06.2021

Abgabe: 22.06.2021

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
2	Durchführung	5
2.1	Prinzipielle Funktionsweise	5
2.2	LED - Photodiode	6
3	Auswertung	7
3.1	Untersuchung des Lock-In-Verstärkers	7
3.2	Untersuchung der Photodiode	10
4	Diskussion	12
	Literatur	12

Zielsetzung

In diesem Versuch ist das Ziel die Funktionsweise eines Lock-In Verstärkers zu untersuchen und verstehen.

1 Theorie

Im Allgemeinen ist ein Lock-In Verstärker aus einem Bandpassfilter, einem Phasenverschieber, einem Mischer und einem Tiefpassfilter. Der schematische Aufbau ist in der Abbildung 4 dargestellt.

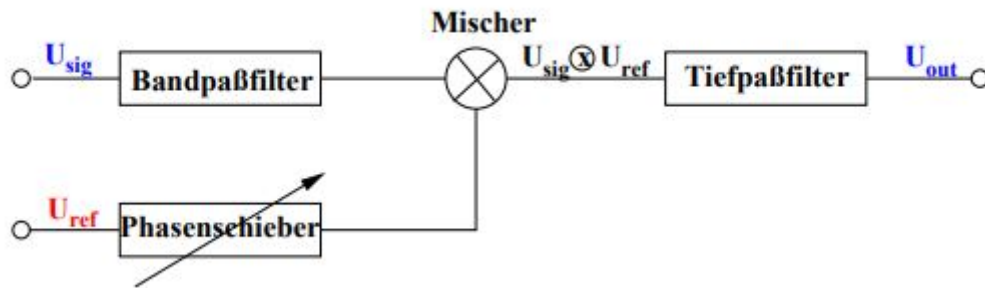


Abbildung 1: Aufbau eines Lock-In-Verstärkers [5]

Der Bandpassfilter filtert stark hoch- und niederfrequente Frequenzen des Nutzsignals U_{sig} raus. Mithilfe des Phasenverschiebers ist es möglich, wie es der Name schon suggeriert, die Phase des Referenzsignals U_{ref} zum Nutzsignals U_{sig} zu verschieben. Im Mischer werden die beiden Signale miteinander multipliziert. Hinter dem Mischer ist ein Tiefpass ($\tau = RC \gg 1/\omega_0$) verschaltet, der das Mischsignal $U_{\text{sig}} \times U_{\text{ref}}$ integriert. Durch solch einen Aufbau sind Güten in der Größenordnung $Q = 10^6$ erreichbar, während eine reine Bandpass-Schaltung nur Güten in einem Bereich von $Q = 10^3$ erreicht.

Das Referenzsignal U_{ref} ist im Allgemeinen eine Rechteckspannung und kann durch eine Fourier-Reihe Form

$$U_{\text{ref}} = \frac{4}{\pi} (\sin(\omega \cdot t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega \cdot t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega \cdot t) + \dots) \quad (1)$$

und das Nutzsignal kann als Sinusspannung der Form

$$U_{\text{sig}} = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2)$$

genähert werden. Daraus ergibt sich die Multiplikation zu der Form

$$U_{\text{sig}} \times U_{\text{ref}} = \frac{2}{\pi} \cdot U_0 (1 - \frac{2}{3} \cos(2\omega \cdot t) - \frac{2}{15} \cos(4\omega \cdot t) - \frac{2}{35} \cos(6\omega \cdot t) \dots) \quad (3)$$

Durch den Tiefpassfilter werden die Oberwellen des Signals, welches durch die Vermischung entstanden ist, rausgefiltert. Somit ist das Ausgangssignal proportional zur Nutzspannung.

Dies wird beschrieben durch

$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \cdot \cos(\phi), \quad (4)$$

wobei ϕ die Phasendifferenz zwischen den beiden Signalen beschreibt. Die Ausgangsspannung wird also für eine Phase von $\phi = 0$ maximal.

2 Durchführung

In diesem Teil wird die Durchführung des Versuchs beschrieben.

2.1 Prinzipielle Funktionsweise

Zunächst wird der prinzipielle Aufbau eines Lock-In Verstärkers auf zwei Arten untersucht. Zum einen durch ein Nutzsignal welches von einem Sinusgenerator kommt und einmal ein Nutzsignal welches Störungen besitzt. Der schematische Aufbau der Apperatur ist in der Abbildung 2 dargestellt. Bei beiden Signalen ist das Vorgehen der Untersuchung identisch.

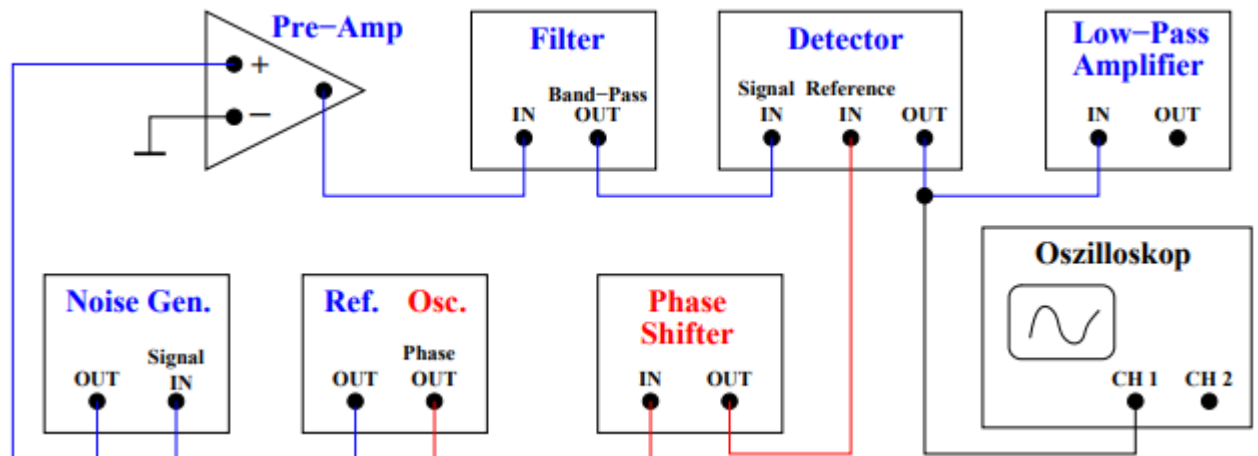


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Versuches [5]

Zur Untersuchung wird ein Oszilloskop an den Mischer angeschlossen und das Mischsignal wird betrachtet. Dazu wird das Mischsignal bei mindestens 10 verschiedenen Phasendifferenzen aufgenommen und auf einem Stick gespeichert.

2.2 LED - Photodiode

Zusätzlich zur normalen Untersuchung des Mischsignals wird über eine Photodetektorschaltung das Signal der Photodiode in Abhängigkeit des Abstands zwischen LED und Photodiode untersucht. Der neue Aufbau ist in der Abbildung 3 abgebildet.

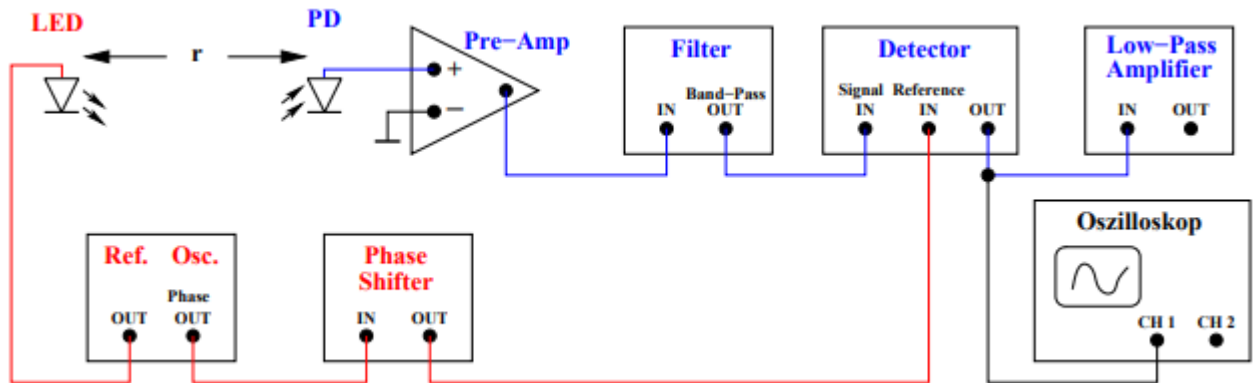


Abbildung 3: Aufbau der Photodetektorschaltung [5]

3 Auswertung

3.1 Untersuchung des Lock-In-Verstärkers

In Abbildung (4) befinden sich die Screenshots des Oszilloskops zur Untersuchung des Lock-In-Verstärkers bei Phasenverschiebung ohne Rauschen.

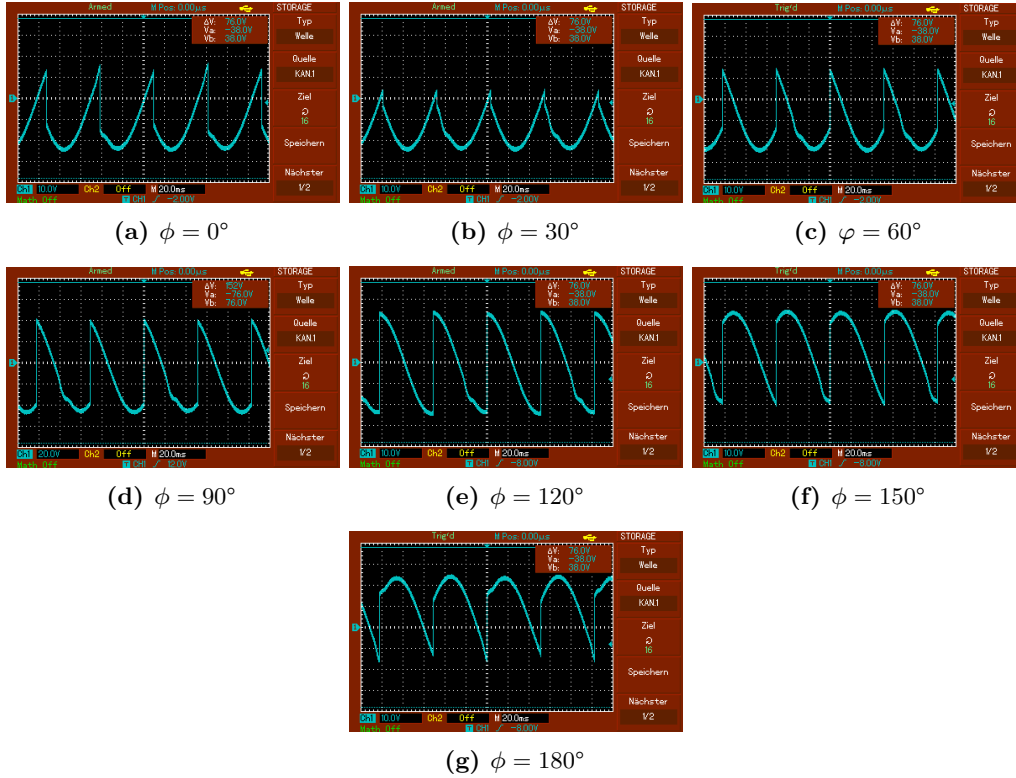


Abbildung 4: Screenshots der Spannung ohne zwischengeschaltetem Noise-Generator bei verschiedenen Phasenverschiebungen ϕ

Analog befinden sich in Abbildung (5) die Bilder mit Rauschen.

Aus diesen Bildern ergeben sich die in Tabelle (1) aufgeführten Werte, wobei U_o die Spannung ohne Rauschen und U_m die Spannung mit Rauschen darstellt.

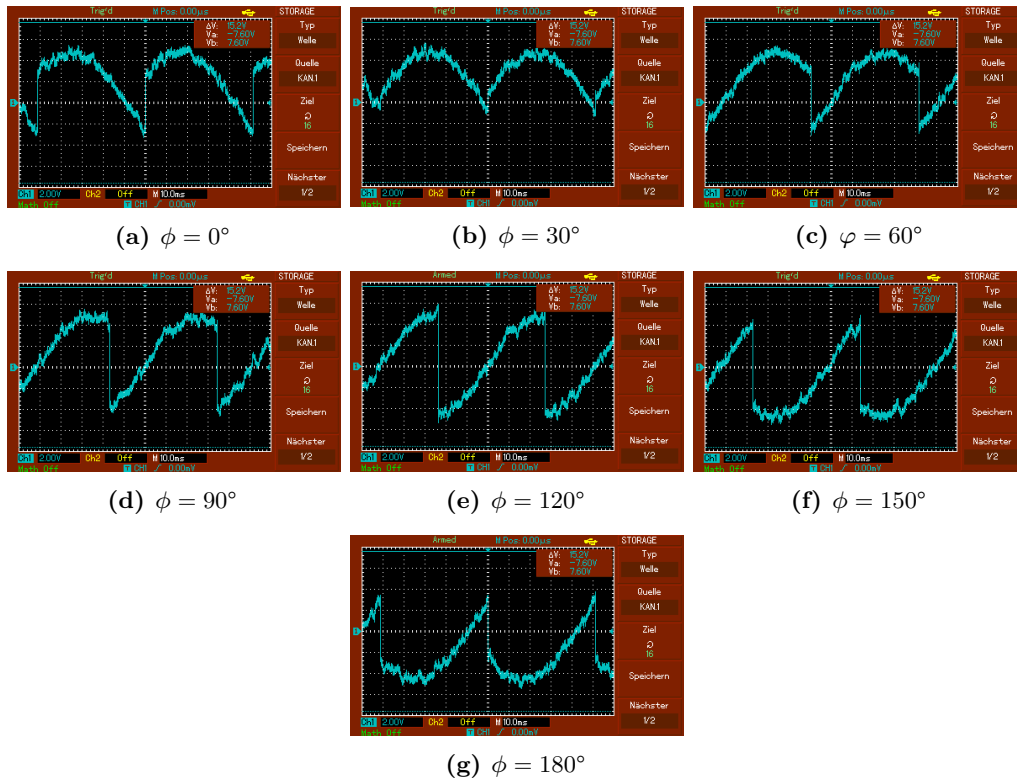


Abbildung 5: Screenshots der Spannung mit zwischengeschaltetem Noise-Generator bei verschiedenen Phasenverschiebungen ϕ

$\phi / ^\circ$	U_o / V	U_m / V
0	30	5
30	5	1.5
60	-29	-6
90	-80	-8
120	-45	-11
150	-40	-9
180	-30	-6

Tabelle 1: Spannungsamplituden ohne und mit Rauschen in Abhängigkeit von ϕ .

Werden die Spannungen in Abhängigkeit von der Phasenverschiebung aufgetragen, ergeben sich die Plots (6) und (7).

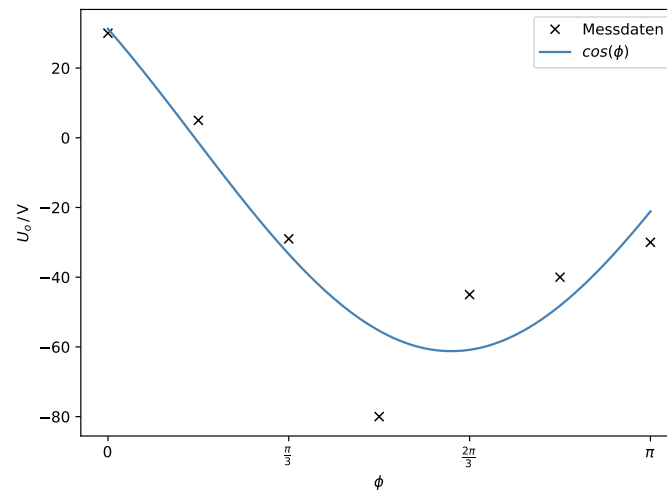


Abbildung 6: Spannungsamplituden in Abhängigkeit von ϕ ohne Rauschen.

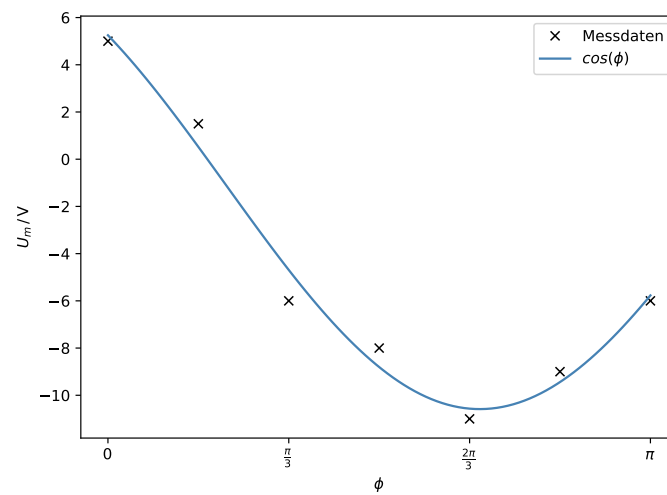


Abbildung 7: Spannungsamplituden in Abhängigkeit von ϕ mit Rauschen.

Um die cosinus-Abhängigkeit aus Formel (4) zu untersuchen, wird mittels Python ein fit der Funktion

$$f(\phi) = a \cdot \cos(b \cdot \phi + c) + d$$

durchgeführt. Dabei ergeben sich folgende Parameter für den fit ohne Rauschen (6) und mit Rauschen (7):

ohne Rauschen	mit Rauschen
$a = 61.86$	$a = 9.51$
$b = 1.05$	$b = 1.07$
$c = 1.05$	$c = 0.84$
$d = 0.64$	$d = -1.07$

3.2 Untersuchung der Photodiode

Aus der Messung ergeben sich folgende Werte:

d / cm	U / V
4.55	25
5	23
6	19
7	16
8	14
9	12
10	10
11	9
12	7.8
13	6.8
14	6
15	5.5
16	5
17	4.5
22	2.9
27	2
32	1.8
37	1.6

Tabelle 2: Spannung in Abhängigkeit des Abstands zum Detektor.

Die Messwerte werden aufgetragen und mit verschiedenen Funktionen gefittet. So ergeben sich folgende Parameter der Fitfunktionen:

$$f(d) = \frac{a}{r} + b$$

$$a = 1.28$$

$$b = -2.67$$

$$f(d) = \frac{a}{r^2} + b$$

$$a = 0.05$$

$$b = 3.39$$

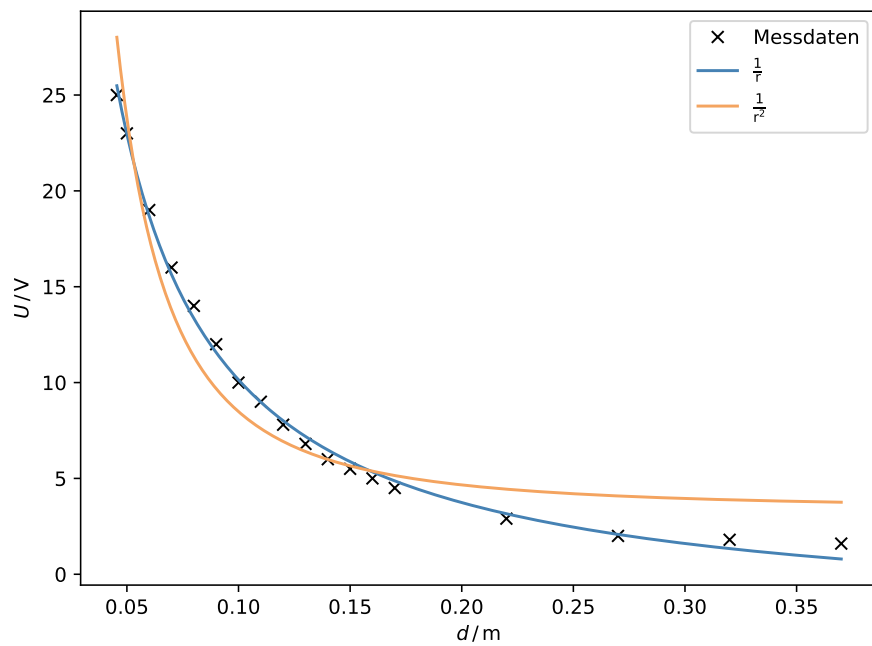


Abbildung 8: Spannung in Abhängigkeit des Abstands zum Detektor.

4 Diskussion

Während der Durchführung des Versuchs sind einige Fehlerquellen aufgefallen, die die Ergebnisse beeinflussen.

Bei der Untersuchung des Lock-In-Verstärkers treten Messunsicherheiten beim Ablesen vom Oszilloskop auf.

Des Weiteren sind Schwankungen der Spannungen durch Wackelkontakte an den Kabeln aufgetreten.

Diese Faktoren könnten Gründe für die große Abweichung einiger Messwerte von der Fitfunktion aus Abbildung (6) sein.

Allgemein wurden jedoch cosinus-Funktionen für die Messwerte gefunden, sodass der Zusammenhang aus Formel (4) verifiziert wurde.

Bei der Untersuchung der Photodiode gelten auch die Messunsicherheiten beim Ablesen vom Oszilloskop auf.

Außerdem sind kleine Ablesefehler von der Skala bei der Bestimmung des Abstands d sind denkbar.

Durch den Fit aus Abbildung (8) kann eine $1/r$ Abhängigkeit der Intensität der Photodiode erkannt werden.

Literatur

- [1] 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/>.
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] 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/>.
- [5] *Versuchsanleitung zu Versuch V303 Der Lock-In-Verstärker*. Fakultät Phyik, TU Dortmund. 2021.