

V303

Der Lock-In-Verstärker

Christopher Krause
christopher2.krause@tu-dortmund.de

Lucas Witthaus
lucas.witthaus@tu-dortmund.de

Durchführung: 16.01.2018 Abgabe: 29.01.2018
Korrektur

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	3
4 Auswertung	5
4.1 Spannungskurven bei unterschiedlichen Phasen.	5
4.2 Messung von verrauschten Signalen in Abhängigkeit von der Phase	8
4.3 Messung eines verrauschten Lichtsignals	10
5 Diskussion	12
Literatur	13

1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers untersucht. Außerdem wird die Funktion eines phaseneempfindlichen Gleichrichters überprüft.

2 Theorie

Ein Lock-In-Verstärker kann aus einem verrauschten Signal das Rauschen herausfiltern und somit das eigentliche Signal deutlicher machen. Ein verrauschtes Signal U_{sig} läuft durch einen Bandpassfilter, wo es von höheren und niedrigeren Frequenzen befreit wird. Danach wird es mit einem Referenzsignal ω_0 multipliziert. Die Phasenlage ϕ des Referenzsignals kann mit einem Phasenschieber mit dem verrauschten Signal synchronisiert werden ($\Delta\phi = 0$). Ein darauffolgender Tiefpass integriert das Mischsignal über mehrere Perioden der Modulationsfrequenz, wobei sich nicht zur Modulationsfrequenz synchronisierte Rauschbeiträge herausmitteln. Die Ausgangsspannung ist dann proportional zur Eingangsspannung und ist maximal bei einer Phasenverschiebung von $\phi = 0$.

$$U_{out} \propto U_0 \cdot \cos \phi \quad (1)$$

Abbildung 1 zeigt den Aufbau eines Lock-In-Verstärkers.

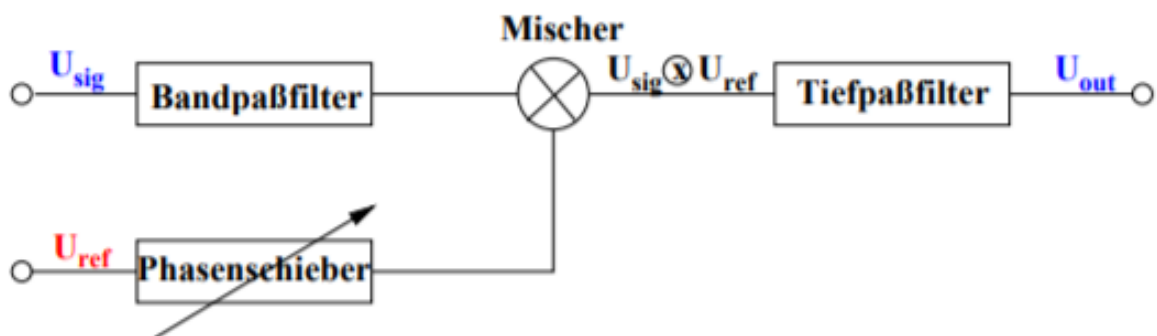


Abbildung 1: Allgemeiner Aufbau eines Lock-In-Verstärkers. [1]

3 Durchführung

Es wird eine Schaltung entsprechend Abbildung 2 aufgebaut. Es wird jedoch der Noise Generator vorerst ausgelassen. Zudem wurde auch der Pre-Amplifier nicht mit eingebunden, da dieser offensichtlich nicht einwandfrei funktioniert.

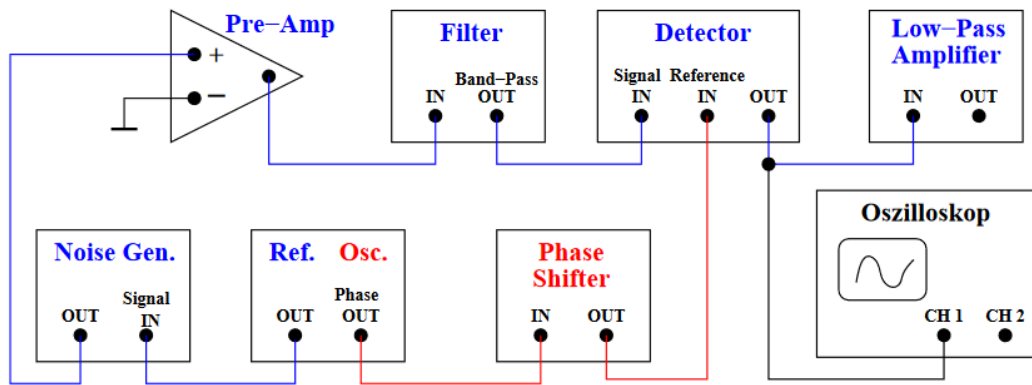


Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines Lock-In-Verstärkers. [1]

Zu Beginn wird überprüft welche der beiden Ausgänge (Ref./Osc.) eine konstante bzw. variable Spannung liefert. Da letztere nur vom Ref. Ausgang geliefert wird, wird dieser als Eingangssignal genutzt. Entsprechend dient die Spannung des Osc. Ausganges dann als Referenzsignal. Nun werden mithilfe des Oszilloskops Bilder der am Detektor abgegriffenen Spannung bei unterschiedlichen Phasendifferenzen von Signal- und Referenzspannung gemacht. Anschließend wird der Tiefpass in die Schaltung integriert. Nun wird mit dem Oszilloskop auch an diesem die Spannung abgegriffen. Die gemessene Ausgangsspannung wird in Abhängigkeit der Phasendifferenz bei 30 unterschiedlichen Konfigurationen gemessen und notiert.

Anschließend wird mithilfe des Noise Generators ein zusätzliches Störsignal auf die Signalspannung gegeben. Dieses hat in etwa die gleiche Größenordnung wie die Signalspannung selbst. Es wird dann eine analoge Messung durchgeführt.

Zuletzt wird eine Schaltung entsprechend Abbildung 3 aufgebaut.

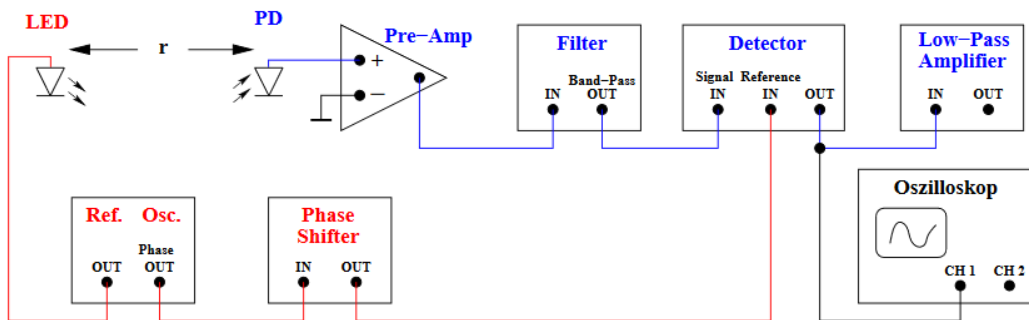


Abbildung 3: Aufbau einer Photodetektorschaltung. [1]

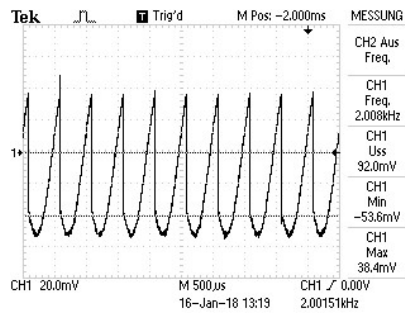
Hier dient die an der Photodiode gemessene Spannung als verrauschte Signalspannung. Die LED selbst wird durch die Spannung am Ref. Ausgang betrieben und blinkt daher mit der

dort angelegten Frequenz. Es wird die Ausgangsspannung am Detektor in Abhängigkeit des Abstandes von LED zu Photodiode gemessen. Dazu wird sie an diesem mit dem Oszilloskop abgegriffen und unter Variation des Abstands abgelesen.

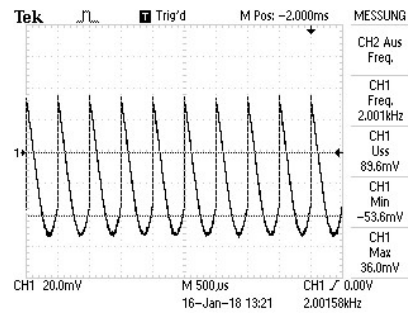
4 Auswertung

4.1 Spannungskurven bei unterschiedlichen Phasen.

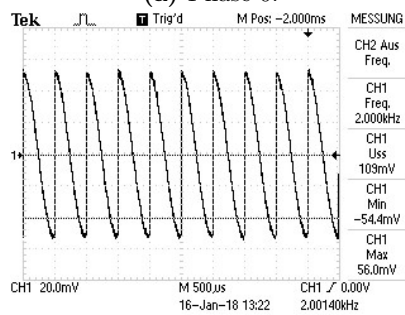
Es wird eine Signalspannung von 25,6 V mit einer Frequenz von 2 kHz angelegt. Als Referenzsignal dient eine Spannung gleicher Frequenz mit einer Amplitude von 2,32 V. Bei unterschiedlichen Phaseneinstellungen des Phase Shifters ergeben sich die in Abbildung 4 zu sehenden Spannungen am Detektor. Zu erkennen sind die erwarteten Halbwellen (negative bzw. positive Halbwellen sind umgeklappt), die anschließend bei der zeitlichen Mittelung im Tiefpass einen nicht verschwindenden Spannungsanteil liefern sollten. Bei Variation der Phase verschieben sich die Kurven jeweils, bis sie bei einer Phasendifferenz von 180° umklappen. Im Bereich von 0° - 180° erhält man also nur negative Halbwellen und im Bereich von 180° - 360° nur positive. In Abbildung 5 ist ein identisches Verhalten zu beobachten. Jedoch ist auch zusätzlich das Rauschen anhand des unstetigen Verlaufs der Kurven zu erkennen.



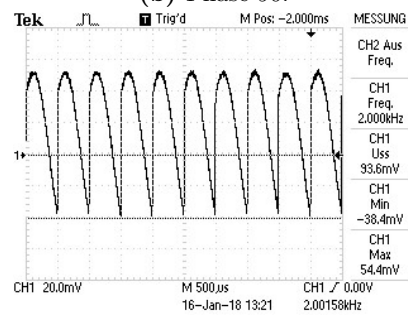
(a) Phase 0.



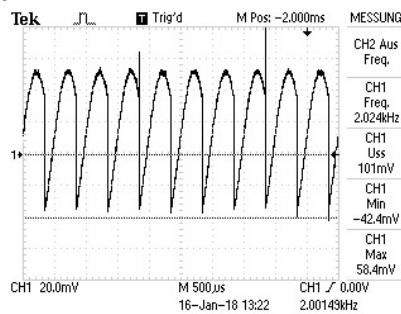
(b) Phase 90.



(c) Phase 135.

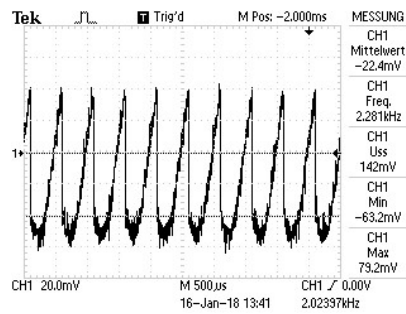


(d) Phase 180.

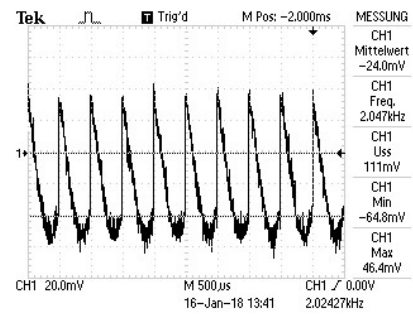


(e) Phase 270.

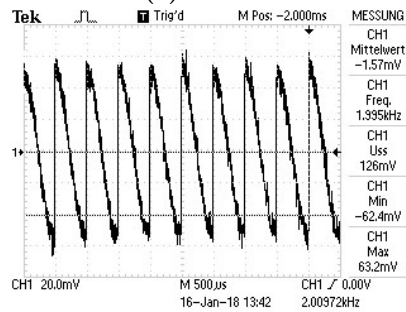
Abbildung 4: Spannung am Detektor bei unterschiedlichen Phaseneinstellungen.



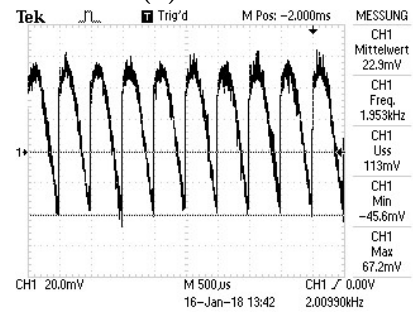
(a) Phase 0.



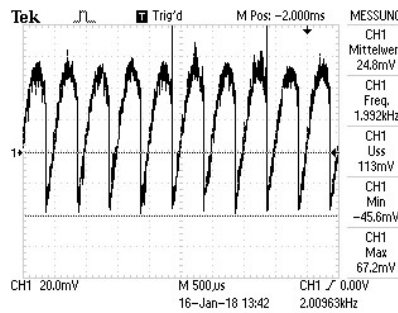
(b) Phase 90.



(c) Phase 135.



(d) Phase 180.



(e) Phase 270.

Abbildung 5: Spannung am Detektor bei unterschiedlichen Phaseneinstellungen und Störsignal.

4.2 Messung von verrauschten Signalen in Abhängigkeit von der Phase

Die gemessenen Spannungen mit und ohne Rauschen, in Abhängigkeit von der Phase ϕ , werden in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Spannungen in Abhängigkeit von der Phase

ϕ/grad	U_{out}/mV	U_v/mV
0	-21,8	-22,0
30	-29,7	-30,0
60	-30,2	-30,5
90	-23,4	-23,4
120	-11,9	-11,4
150	11,4	12,2
180	23,3	23,5
210	31,1	31,7
240	31,4	32,1
270	24,8	25,0
300	13,1	12,9

Die Messwerte der nicht verrauschten Spannungen werden gegen die Phase aufgetragen. Eine Ausgleichsfunktion mit der Form $A \cos \phi + B + C$ mit den Parametern A, B, C wird erstellt und ist in Abbildung 6 zu sehen.

(Alle Plots werden mit Python erstellt und alle Fehler mit Python berechnet.)

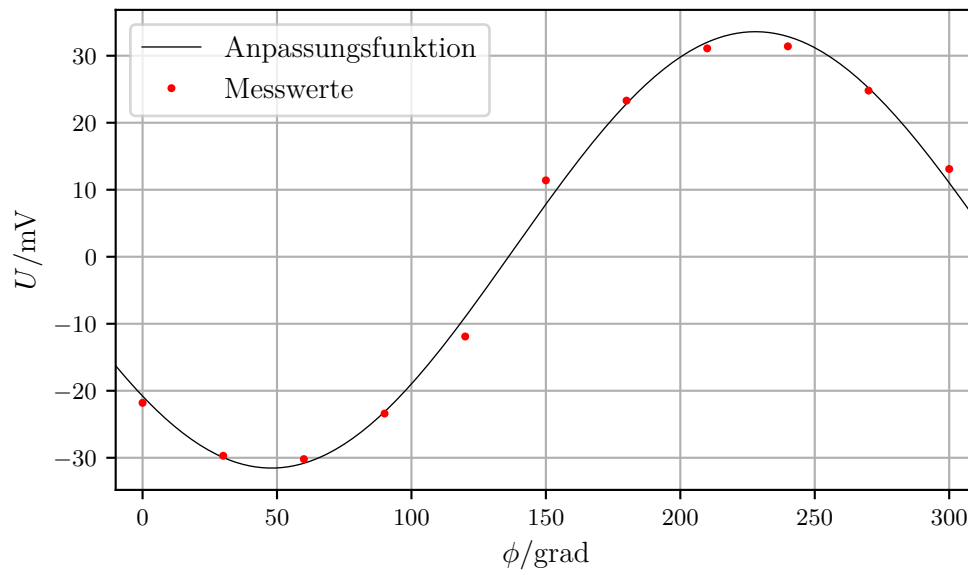


Abbildung 6: Nicht verrauschte Spannungen in Abhängigkeit von der Phase

Die Parameter betragen:

$$A = (-32,6 \pm 0,8) \text{ mV}$$

$$B = 33,72 \pm 0,02$$

$$C = (1,0 \pm 0,6) \text{ mV}$$

Mit dem verrauschtem Signal wird analog vorgegangen. Die Messwerte und die Ausgleichsfunktion ist sind in Abbildung 7 dargestellt.

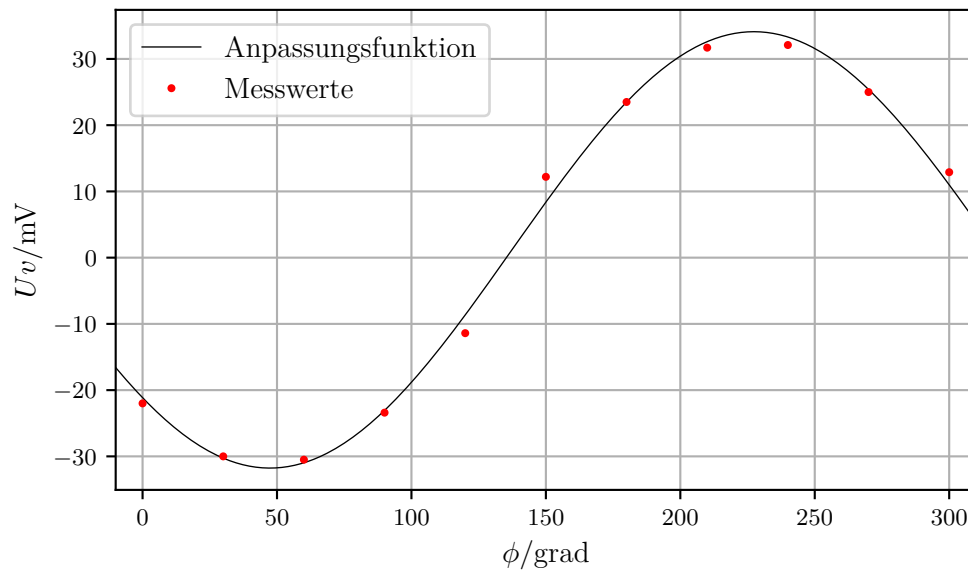


Abbildung 7: Nicht verrauschte Spannungen in Abhängigkeit von der Phase

Die Parameter der Funktion $D \cos \phi + E + F$ betragen:

$$D = (-32,9 \pm 0,8) \text{ mV}$$

$$E = 33,73 \pm 0,03$$

$$F = (1,2 \pm 0,6) \text{ mV}$$

4.3 Messung eines verrauschten Lichtsignals

Die gemessene Spannung U der Photodiode, in Abhängigkeit von dem Abstand r , wird in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Spannungen in Abhängigkeit von dem Abstand

r/cm	U/mV
2,5	336
3	320
4	280
5	232
6	178
7	118
8	52,8
9	40,0
10	30,4
15	18,8
20	12,2
25	8,8
30	6,4
40	4,6
50	2,8
60	2,6
70	2,5

Der Logarithmus der Spannung wird gegen den Logarithmus des Abstands aufgetragen. Eine Ausgleichsfunktion mit der Form $B \cdot x + C$ wird verwendet. Gemäß dem Abstandsgesetz für Kugelwellen, ist eine Steigung $B = 2$ zu erwarten.

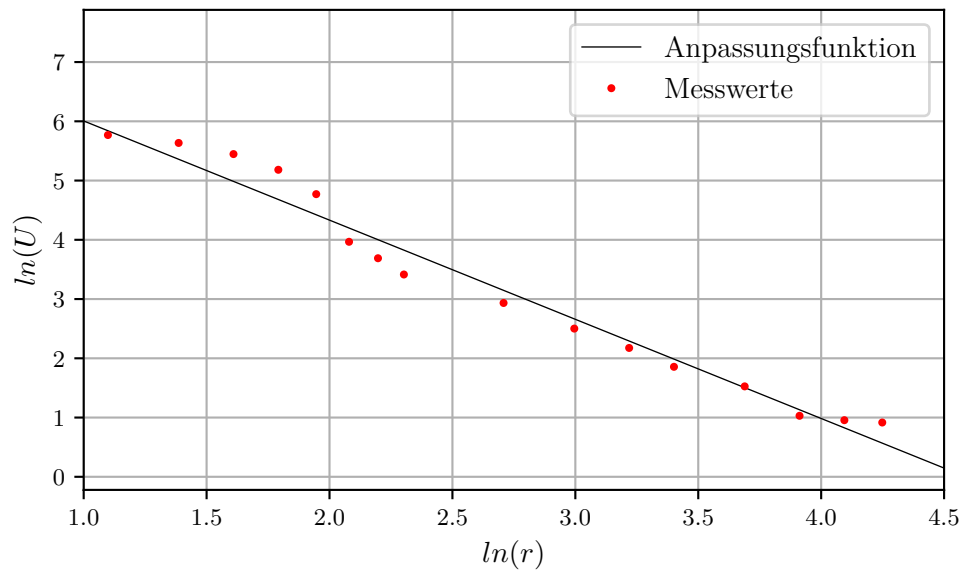


Abbildung 8: Spannungen in Abhängigkeit von dem Abstand

Der Parameter B beträgt $B = -1,67 \pm 0.07$.

5 Diskussion

In Tabelle 3 werden die wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 3: Wichtige Ergebnisse

Parameter	Werte
A	$(-32,6 \pm 0,8) \text{ mV}$
D	$(-32,9 \pm 0,8) \text{ mV}$
B	$-1,67 \pm 0.07$

Anhand der erstellten Bilder ist zu erkennen, dass die Modulation der Signalspannung mit der Referenzspannung gut funktioniert. Dies bestätigen die Werte A und D , welche innerhalb der Standardabweichung liegen. Die auf jeweils eine Seite umgeklappten Halbwellen sind problemlos erkennbar, weshalb sich diese mithilfe des Tiefpasses zu einer entsprechenden Ausgangsspannung mitteln lassen sollten. Diese Annahme wird auch durch die erstellten Graphen unterstützt. Die Graphen der Spannung mit und ohne

Rauschen zeigen nämlich einen nahezu unveränderten Verlauf. Daraus wird geschlossen, dass der Lock-In-Verstärker das Rauschsignal effektiv unterdrücken kann.

Bei der Messung der Lichtintensität weicht der berechnete Wert $B = -1,67$ von dem erwarteten Wert ab. Statistische Fehler sind als primäre Fehlerquelle auszuschließen, da dafür der Fehler zu groß ist. Das Oszilloskop zeigt eine schwankende Spannung, welche ein optimales Ablesen der Spannung nicht ermöglicht. Zudem wird bei Schaltung der Preamplifier überbrückt, da die Schaltung sonst nicht funktioniert. Da dieser das Signal verstärken und somit die Messung der Spannung verbessern soll, ist das Weglassen des Preamplifiers ein möglicher Grund für die Abweichung.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung des Versuchs V303-Lock-In-Verstärker*. 2017.