

# **V303 - Der Lock-In-Verstärker**

Jan Herdieckerhoff  
jan.herdieckerhoff@tu-dortmund.de

Karina Overhoff  
karina.overhoff@tu-dortmund.de

Durchführung: 11.12.2018, Abgabe: 18.12.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

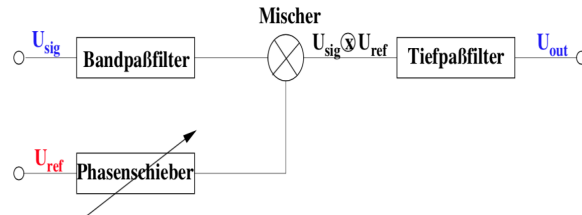
<b>1</b>	<b>Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>4</b>
3.1	Phasenempfindlicher Gleichrichter . . . . .	4
3.2	Lock-In-Verstärker . . . . .	4
3.3	Rauschunterdrückung mit Photodektorschaltung . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1	Überprüfung der Funktion eines phasenempfindlichen Gleichrichters . . .	5
4.2	Überprüfung der Funktion eines Lock-In-Verstärkers . . . . .	7
4.3	Überprüfung der Rauschunterdrückung des Lock-In-Verstärkers . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>11</b>

# 1 Ziel

Die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers soll kennengelernt und verstanden werden.

# 2 Theorie

Der Lock-In-Verstärker wird genutzt, um bestimmte Eigenschaften einer Signalspannung  $U_{Sig}$  zu bestimmen. Lock-In-Verstärker werden hauptsächlich zur Messung stark verrauschter Signale verwendet.



**Abbildung 1:** Aufbau eines Lock-In-Verstärkers.

Hierzu wird das das Signal mit einer Referenzfrequenz  $\omega_0$  moduliert. Dieses unter Umständen verrauschte Signal wird durch einen Bandpass von Rauschanteilen deutlich höherer oder niedrigerer Frequenzen als der Referenzfrequenz befreit. In einem sogenannten Mischer wird die Signalspannung  $U_{Sig}$  mit einem Referenzsignal  $U_{Ref}$ , das die Referenzfrequenz  $\omega_0$  hat, multipliziert.

Dieses neue Signal wird in einen Tiefpass eingespeist. Dieser hat die Eigenschaft, dass er das entstandene Mischsignal über mehrere Perioden der Modulationsfrequenz integriert. Die nicht zur Frequenz synchronisierten Rauschbeiträge werden sich dadurch herausmitteln, sodass eine zur Eingangsspannung  $U_{Sig}$  proportionale Gleichspannung  $U_{out}$  gemessen werden kann.

Der Tiefpass entscheidet dabei über die Bandbreite des Restrauschens. Je größer die Zeitkonstante des Passes gewählt wird, desto kleiner wird die Bandbreite des Rauschens sein. Mit einem Lock-In-Verstärker kann man somit Güten, die weit über der Güte eines normalen Bandpasses liegen, erreichen.

Sind die Signal- und Referenzspannungen nicht in Phase, sondern haben eine Phasendifferenz  $\varphi$ , erhält man die folgende Ausgangsspannung:

$$U_{out} = \frac{2}{\pi} U_0 \cos(\varphi). \quad (1)$$

Diese erreicht somit ihr Maximum bei einer Phase von  $\varphi = 0$ . Aus der Ausgangsspannung  $U_{out}$  lässt sich die Spannung  $U_0$  mittels

$$U_0 = \frac{U_{out} \pi}{2 \cos(\varphi)} \quad (2)$$

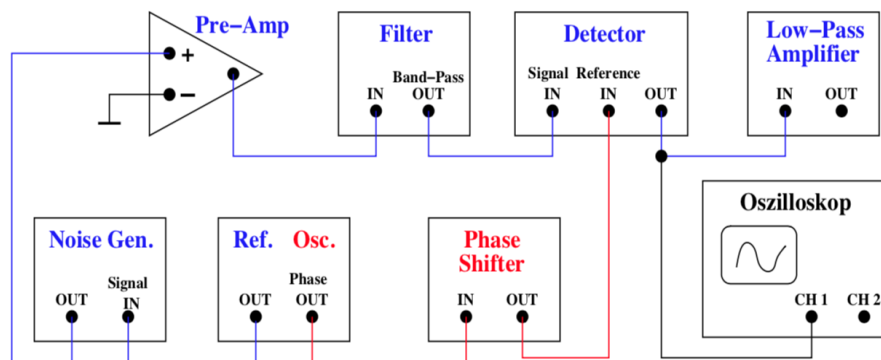
bestimmen.

### 3 Durchführung

#### 3.1 Phasempfindlicher Gleichrichter

Mit der Schaltung in Abb. 2 soll die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers getestet werden. Es wird ein sinusförmiges Signal  $U_{Sig}$  von 1 kHz und 10 mV auf den Verstärker gegeben. Der Ausgang wird mit einem Referenzsignal, welches ein Sinussignal gleicher Frequenz ist, gemischt. Es werden Aufnahmen der Ausgangssignale für fünf verschiedene eingestellte Phasen gemacht.

Im nächsten Schritt wird ein Tiefpass, der das Ausgangssignal integriert, in den Schaltkreis eingebaut. Die Ausgangsspannungen werden für verschiedene Phasenverschiebungen gemessen. Es werden 10 Messwerte aufgenommen.



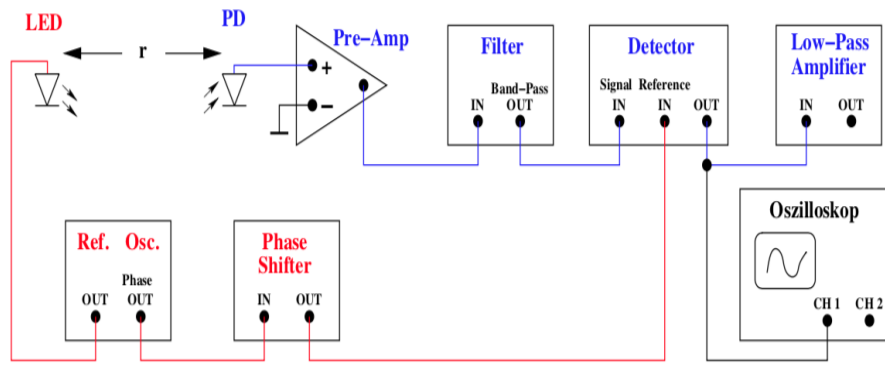
**Abbildung 2:** Aufbau eines Lock-In-Verstärkers mit Noise Generator. Für den Versuchsteil 3.1 wird der Noise Generator nicht in die Schaltung eingebaut. In Teil 3.2 wird der Noise Generator in die Schaltung integriert.

#### 3.2 Lock-In-Verstärker

Der Noise Generator wird in die Schaltung integriert (Abb. 2). Dieselben Messungen wie zuvor werden noch einmal mit einem Rauschsignal von der Größenordnung der Signalspannung durchgeführt.

#### 3.3 Rauschunterdrückung mit Photodektorschaltung

Im letzten Schritt wird eine Photodektorschaltung wie in Abb. 3 gebaut. Die Leuchtdiode wird mit einer Rechteckspannung gespeist und mit einer Frequenz von 100Hz zum Blinken gebracht. Mit einer Photodiode wird das ausgesendete Licht anschließend gemessen. Dabei wird die Lichtintensität als Funktion des Abstands  $r$  zwischen LED und Photodiode gemessen.



**Abbildung 3:** Aufbau einer Photodetektorschaltung zur Überprüfung der Rauschunterdrückung des Lock-In-Verstärkers.

## 4 Auswertung

Das sinusförmige Signal, das auf den Verstärker gegeben wird, hat eine Frequenz von 1 kHz und eine Spannung von 10 mV.

### 4.1 Überprüfung der Funktion eines phasenempfindlichen Gleichrichters

Die Aufnahmen der Ausgangssignale für fünf verschiedene Phasen sind im Folgenden abgebildet.

**Abbildung 4:** Ausgangsspannung bei einer Phase von  $\varphi = 0^\circ$ .

**Abbildung 5:** Ausgangsspannung bei einer Phase von  $\varphi = 15^\circ$ .

**Abbildung 6:** Ausgangsspannung bei einer Phase von  $\varphi = 30^\circ$ .

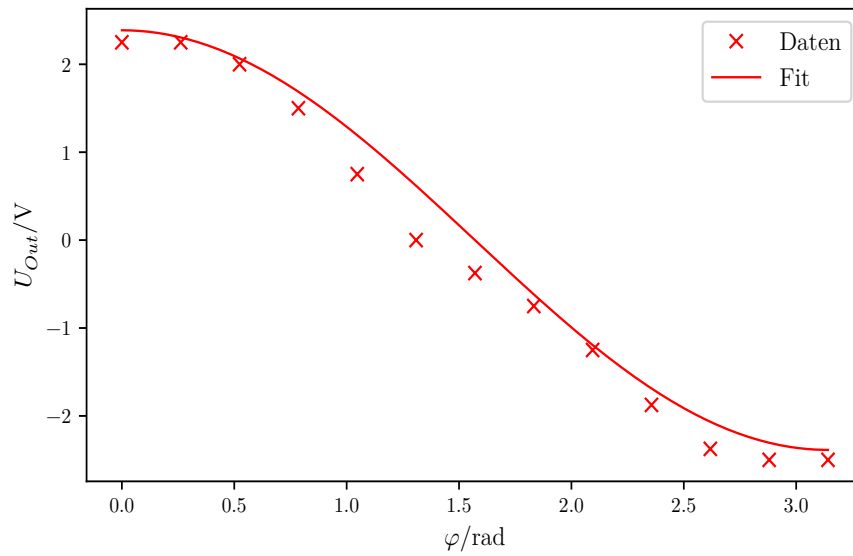
**Abbildung 7:** Ausgangsspannung bei einer Phase von  $\varphi = 45^\circ$ .

**Abbildung 8:** Ausgangsspannung bei einer Phase von  $\varphi = 60^\circ$ .

Die Werte der Amplitude der Ausgangsspannung  $U_{out}$  in Abhängigkeit von der Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen der Signalspannung  $U_{Sig}$  und der Referenzspannung  $U_{Ref}$  sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Ausgangsspannung  $U_{out}$  wird in Abb. 9 gegen die Phasenverschiebung  $\varphi$  aufgetragen.

**Tabelle 1:** Die Phasenverschiebung  $\varphi$  wird gegen die Werte der Ausgangsspannung  $U_{Out}$  aufgetragen.

$\varphi/\text{rad}$	$U_{Out}/\text{V}$
0,0	-2,3
0,3	-2,3
0,5	-2,0
0,8	-1,5
1,0	-0,8
1,3	0,0
1,6	0,4
1,8	0,8
2,1	1,3
2,4	1,9
2,6	2,4
2,9	2,5
3,1	2,5



**Abbildung 9:** Die Ausgangsspannung  $U_0$  ist gegen die Phasenverschiebung  $\varphi$  aufgetragen. Diese Abbildung bezieht sich auf Versuchsteil 4.1.

Der durch die Messung der Ausgangsspannung mit Gleichung (1) ermittelte Wert für die Signalspannung ist

$$U_{0,1} = (3,75 \pm 0,17) \text{ V}.$$

Der direkt gemessene Wert für die Signalspannung ist

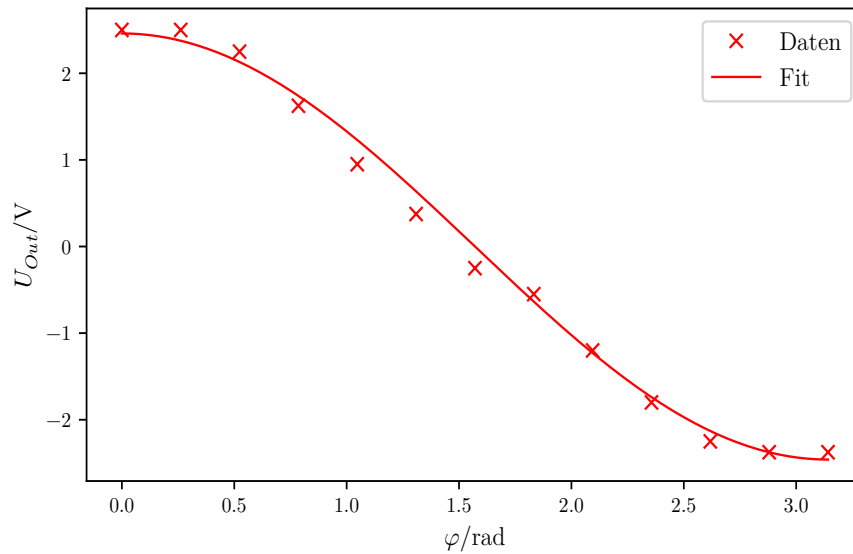
$$U_{0,direkt} = 3,28 \text{ V}.$$

## 4.2 Überprüfung der Funktion eines Lock-In-Verstärkers

In Tabelle 2 befinden sich die Werte der Amplitude der Ausgangsspannung  $U_{out}$  in Abhängigkeit von der Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen der Signalspannung  $U_{Sig}$  und der Referenzspannung  $U_{Ref}$ . Die Werte der Ausgangsspannung  $U_{out}$  wird gegen die Phasenverschiebung  $\varphi$  in Abb. 10 aufgetragen.

**Tabelle 2:** Die Phasenverschiebung  $\varphi$  wird gegen die Werte der Ausgangsspannung  $U_{Out}$  aufgetragen.

$\varphi/\text{rad}$	$U_{Out}/\text{V}$
0,0	2,5
0,3	2,5
0,5	2,3
0,8	1,6
1,0	1,0
1,3	0,4
1,6	−0,3
1,8	−0,6
2,1	−1,2
2,4	−1,8
2,6	−2,3
2,9	−2,4
3,1	−2,4



**Abbildung 10:** Die Ausgangsspannung  $U_0$  ist gegen die Phasenverschiebung  $\varphi$  aufgetragen. Diese Abbildung bezieht sich auf Versuchsteil 4.2.

Der durch die Messung der Ausgangsspannung mit Gleichung (1) ermittelte Wert für die Signalspannung ist

$$U_{0,2} = (3,86 \pm 0,09) \text{ V}.$$

### 4.3 Überprüfung der Rauschunterdrückung des Lock-In-Verstärkers

Die Werte der Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  mit Verstärkung des Tiefpasses und des Detektors in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  der LED zur Photodiode sind in Tabelle 3 zu finden. Die tatsächliche Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  der LED zur Photodiode befindet sich in Tabelle 4. Die Werte aus Tabelle 4 sind in Abbildung 11 gegeneinander aufgetragen. Es ist also die Ausgangsspannung in Abhängigkeit vom Abstand dargestellt.

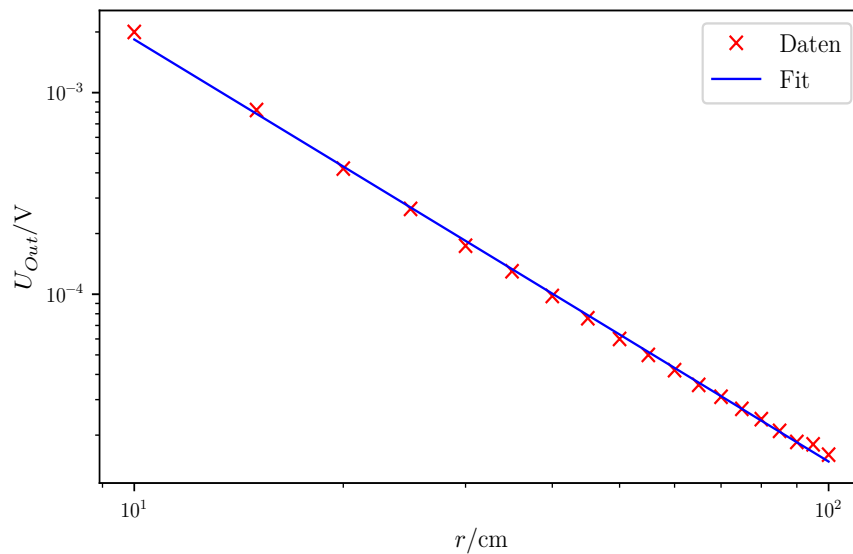


**Tabelle 3:** Der Abstand  $r$  zwischen Leucht- und Photodiode aufgetragen gegen die Spannung  $U_{Out}$ . Dazu jeweils den Wert für die Verstärkung des Tiefpasses und des Detektors.

$r/\text{cm}$	$U_{Out}/\text{V}$	Gain Tiefpass	Gain Detektor
10,0	4,0	20,0	100,0
15,0	4,1	50,0	100,0
20,0	4,2	100,0	100,0
25,0	5,3	200,0	100,0
30,0	8,7	500,0	100,0
35,0	6,5	500,0	100,0
40,0	4,9	500,0	100,0
45,0	7,6	1000,0	100,0
50,0	6,0	1000,0	100,0
55,0	5,0	1000,0	100,0
60,0	4,2	1000,0	100,0
65,0	7,1	1000,0	200,0
70,0	6,2	1000,0	200,0
75,0	5,4	1000,0	200,0
80,0	4,8	1000,0	200,0
85,0	4,2	1000,0	200,0
90,0	3,7	1000,0	200,0
95,0	9,0	1000,0	500,0
100,0	8,0	1000,0	500,0

**Tabelle 4:** Der Abstand  $r$  zwischen Leucht- und Photodiode aufgetragen gegen die tatsächliche Spannung  $U_{Out}$ , nach Division durch die Verstärkerwerte.

$r/\text{cm}$	$U_{Out}/\text{V}$
10,0	0,0
15,0	0,0
20,0	0,0
25,0	0,0
30,0	0,0
35,0	0,0
40,0	$9,8 \cdot 10^{-5}$
45,0	$7,6 \cdot 10^{-5}$
50,0	$6,0 \cdot 10^{-5}$
55,0	$5,0 \cdot 10^{-5}$
60,0	$4,2 \cdot 10^{-5}$
65,0	$3,6 \cdot 10^{-5}$
70,0	$3,1 \cdot 10^{-5}$
75,0	$2,7 \cdot 10^{-5}$
80,0	$2,4 \cdot 10^{-5}$
85,0	$2,1 \cdot 10^{-5}$
90,0	$1,9 \cdot 10^{-5}$
95,0	$1,8 \cdot 10^{-5}$
100,0	$1,6 \cdot 10^{-5}$



**Abbildung 11:** Die Ausgangsspannung  $U_0$  ist gegen den Abstand  $r$  der LED zur Photodiode aufgetragen.

Der maximale Abstand  $r_{\max}$ , bei dem das Licht der LED noch nachgewiesen werden kann, ist nicht eindeutig bestimmbar.

## 5 Diskussion

### Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 303: Der Lock-In-Verstärker*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/LockIn.pdf>.
- [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] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. „SciPy: Open source scientific tools for Python“. Version 0.16.0. In: (). URL: <http://www.scipy.org/>.
- [4] Eric O. Lebigot. „Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties“. Version 2.4.6.1. In: (). URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [5] 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/>.