

# **Versuch 303 "Der Lock-In-Verstärker"**

Robert Konradi  
robert.konradi@tu-dortmund.de

Lauritz Klünder  
lauritz.kluender@tu-dortmund.de

Durchführung: 22.12.2017, Abgabe: 12.01.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>10</b>
	<b>Literatur</b>	<b>10</b>

# 1 Theorie

Ein Lock-In-Verstärker wird verwendet um stark verrauschte Signale zu detektieren. Dazu muss die Referenzfrequenz allerdings bekannt sein.

Der Aufbau eines Lock-In-Verstärkers ist in Abbildung (1) schematisch dargestellt. Zunächst geht das Nutzsignal  $U_{sig}$  durch einen Bandpassfilter, welcher die Rauschanteile die eine höhere oder niedrigere Frequenz als die Referenzfrequenz haben herausfiltert. Der Bandpassfilter ist nicht genau, wodurch eine Bandbreite an Frequenzen übrig bleibt. Daraufhin wird das gefilterte Nutzsignal in einem Mischer gemischt, mit einem Referenzsignal  $U_{ref}$  was die Referenzfrequenz als Frequenz hat. Dabei werden die beiden mathematischen Funktionen der Signale multipliziert. Beim Mischen kommt es darauf an ob die beiden Signale in Phase sind oder Phasenverschoben sind.

Zuletzt geht das gemischte Signal durch einen Tiefpass. Ein Tiefpass kann unter der Voraussetzung  $RC \gg \frac{1}{\omega_0}$  als integrator wirken. Diese Voraussetzung ist beim Lock-In-Verstärker gegeben. Durch das Integrieren ergibt sich für das Ausgangssignal

$$U_{out} = AU_0 \cos(\phi). \quad (1)$$

Dabei ist die Phasenverschiebung zwischen  $U_{sig}$  und  $U_{ref}$ . Für den Spezialfall, dass  $U_{sig}$  und  $U_{ref}$  sinusförmig sind ergibt sich Gleichung (1) zu

$$U_{out} = \frac{U_0}{2} \cos(\phi).$$

Mit dem Tiefpass am Ende lässt sich die Bandbreite des Restrauschens einstellen, indem die Zeitkonstante  $RC$  groß gemacht wird, denn es gilt die Beziehung  $\Delta\nu = \frac{1}{\pi RC}$ .

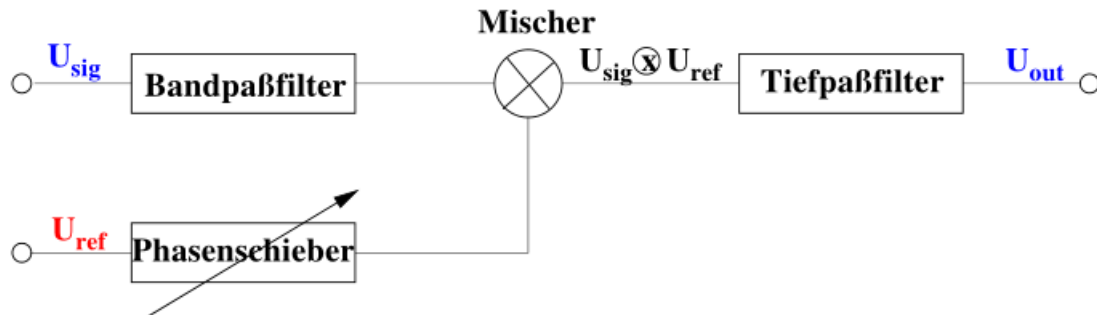


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Lock-In-Verstärkers [1].

# 2 Durchführung

Für diesen Versuch wird ein modular aufgebauter Verstärker verwendet. Dieser besteht aus einem Vorverstärker, den Filtern, einen Phasenschieber, einem Funktionsgenerator, einem Rauschgenerator, einem Tiefpass-Verstärker und einem Amplituden-/Lock-In-Detektor. Dieser Verstärker ist in Abbildung (2) dargestellt.

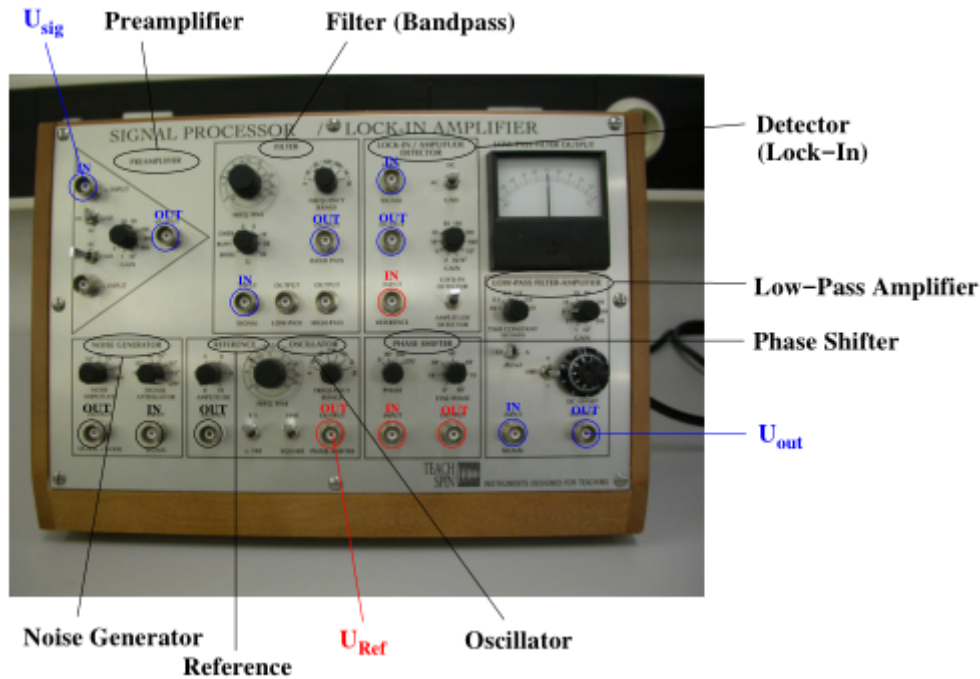


Abbildung 2: Darstellung des modular aufgebauten Verstärkers [1].

Als erstes soll der Funktionsgenerator untersucht werden. Dabei wird untersucht bei welchem Ausgang die Spannungsamplitude verändert werden kann und bei welchem das nicht möglich ist. Der Ausgang bei dem das nicht möglich ist, ist für das Referenzsignal. Daraufhin soll die in Abbildung (3) gezeigte Schaltung gebaut werden. Der Funktionsgenerator soll ein sinusförmiges Signal als Nutzsignal und ein sinusförmiges Signal als Referenzsignal produzieren. Die resultierende Spannung wird erst ohne den Tiefpass auf einem Oszilloskop dargestellt und danach mit dem Tiefpass.

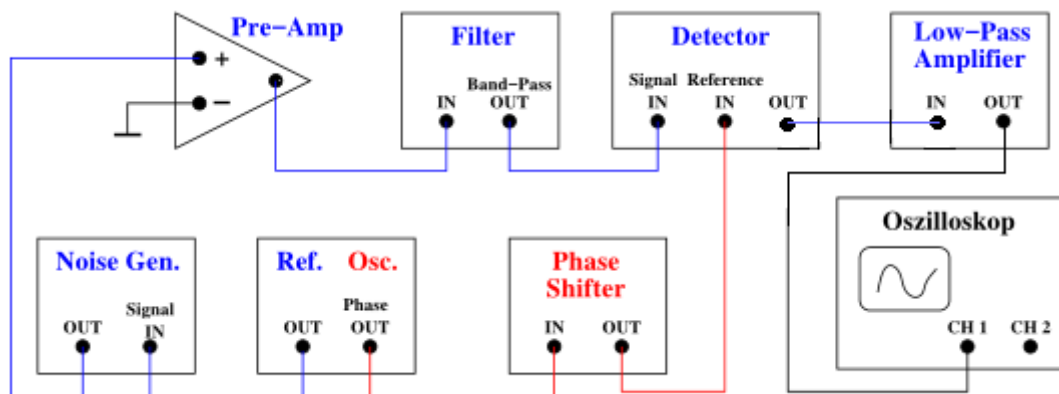


Abbildung 3: Schaltung des Lock-In-Verstärkers für den ersten Teil des Versuches [1].

Als nächstes wird mit dem Rauschgenerator ein Rauschsignal hinzugegeben. Für diesen Fall wird wieder die resultierende Spannung erst ohne den Tiefpass dargestellt und danach mit dem Tiefpass.

Zum Schluss wird die Intensität einer Leuchtdiode gemessen. Dazu wird die in Abbildung (4) gezeigte Schaltung benötigt. Die Leuchtdiode soll mit einer Frequenz von 50 Hz bis 500 Hz blinken und das Signal wird von einer Photodiode empfangen. Nun wird die Intensität des Lichtes in gewissen Abständen gemessen.

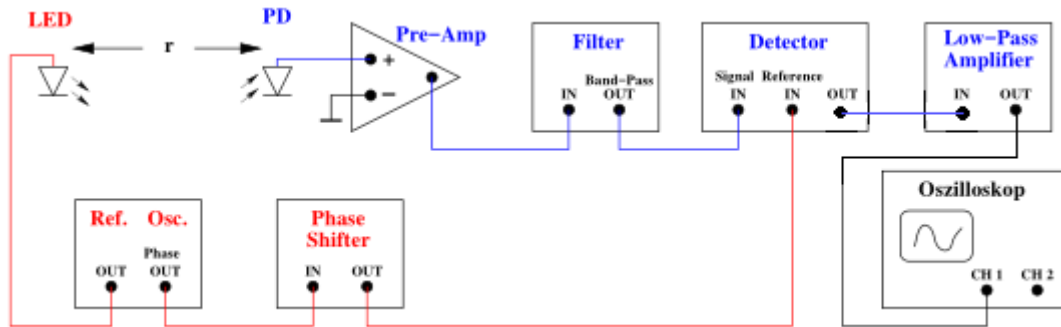


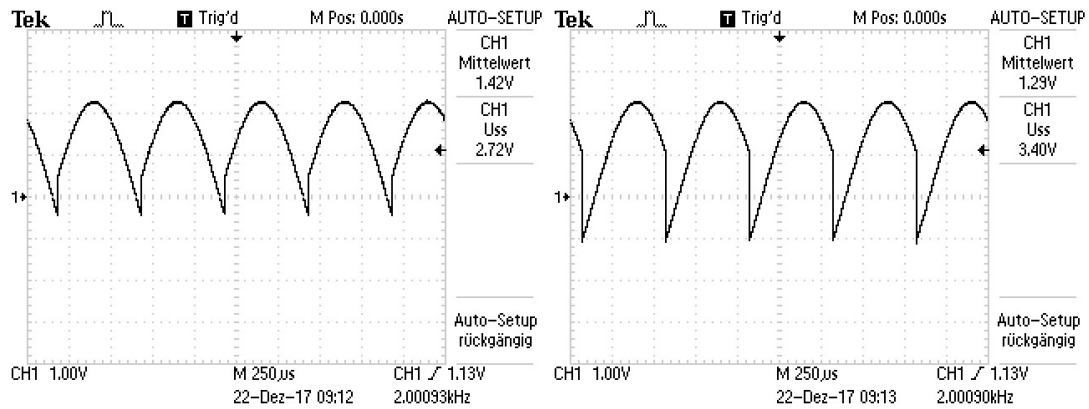
Abbildung 4: Schaltung des Lock-In-Verstärkers mit der Leuchtdiode [1].

### 3 Auswertung

Zunächst wird das Signal des Funktionsgenerators überprüft. Am Ausgang des Reference/Oscillator liefert die sinusförmige Referenzspannung eine konstante Amplitude von 3,28V.

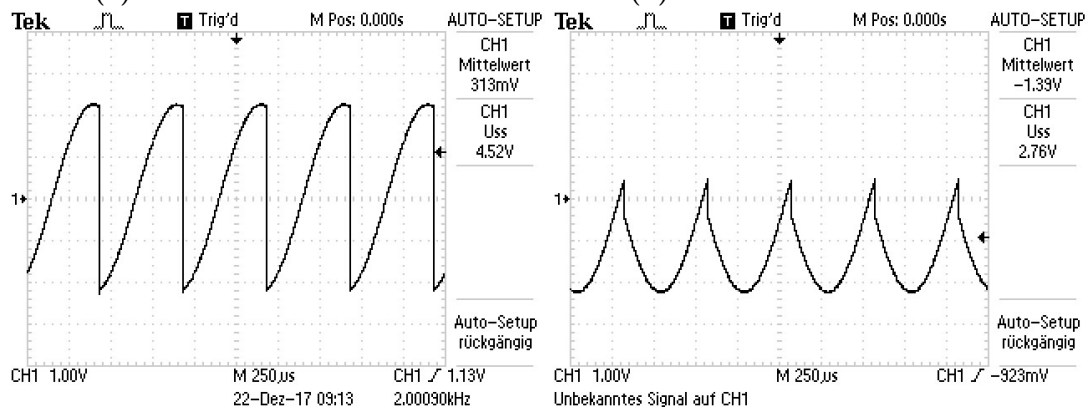
Zur Überprüfung welches Signal am Mischer ankommt wird ein sinusförmiges Signal  $U_{\text{sig}}$  mit einer Frequenz  $\omega = 1\text{kHz}$  und einer Amplitude von  $10\text{mV}$  eingestellt.

Eine schematische Darstellung der Amplitude in unterschiedlichen Phasen zeigt die nun folgenden Bildschirmfotos dar.



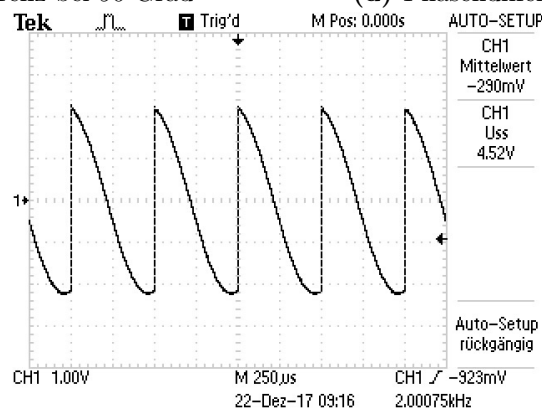
(a) Phasendifferenz bei 0 Grad

(b) Phasendifferenz bei 45 Grad



(c) Phasendifferenz bei 90 Grad

(d) Phasendifferenz bei 180 Grad



(e) Phasendifferenz bei 270 Grad

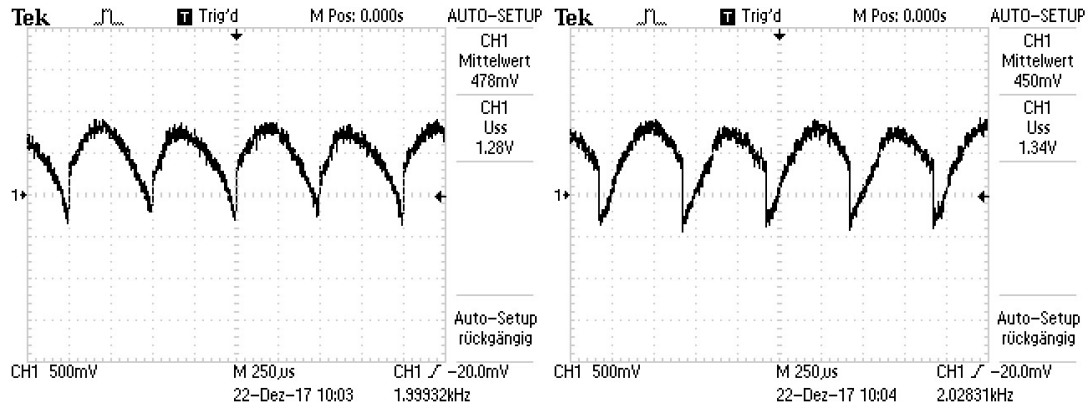
Anschließend wird das Signal am Mischer durch ein Tiefpassfilter angeschlossen und folgende Messwerte sind in der Tabelle (1) dargestellt.

**Tabelle 1:** Darstellung der Messergebnisse

$U_{\text{out}}/V$	$\Phi/^\circ$	$U_{\text{theo}}/V$	$\text{Abweichung}/\%$
55,6	0	55,6	??
55,4	45	39,32	??
35,4	60	27,8	??
12,3	90	0	??
-19,4	120	-27,8	??
-42,9	150	-48,2	??
-55,3	180	-55,6	??
-55,8	210	-48,2	??
-37,3	240	-27,8	??
-12,1	270	0	??

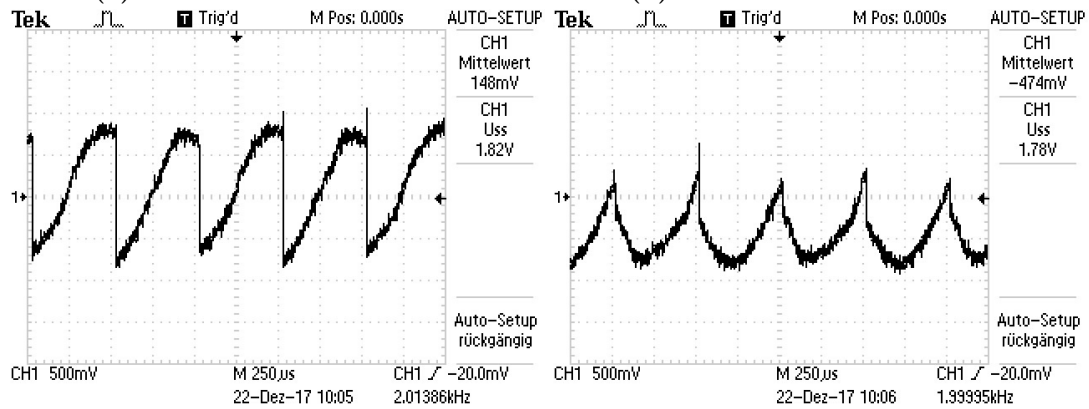
Die Theoriewerte werden mit der Gleichung (5) berechnet.  $U_o$  ist in diesem Fall durch den Vorverstärker und Verstärker auf 87,34V verstärkt worden.

Nun wird ein Rauschsignal hinzugeschaltet. Nun wird das Verfahren erneut durchgeführt. Eine schematische Darstellung der Amplitude mit Rauschen in unterschiedlichen Phasen zeigt die nun folgenden Bildschirmfotos dar.



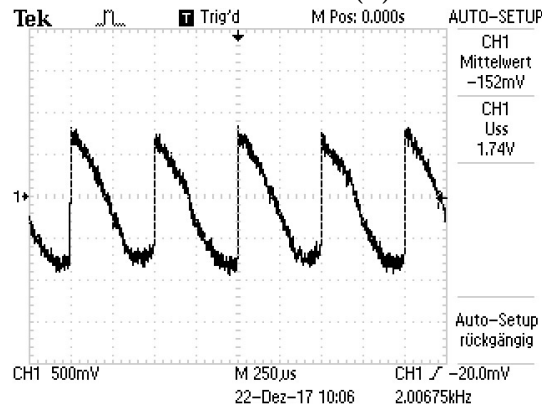
(a) Phasendifferenz bei 0 Grad

(b) Phasendifferenz bei 45 Grad



(c) Phasendifferenz bei 90 Grad

(d) Phasendifferenz bei 180 Grad



(e) Phasendifferenz bei 270 Grad

Anschließend wird das Signal mit Rauschen am Mischer durch ein Tiefpassfilter angeschlossen und folgende Messwerte sind in der Tabelle (2) dargestellt.



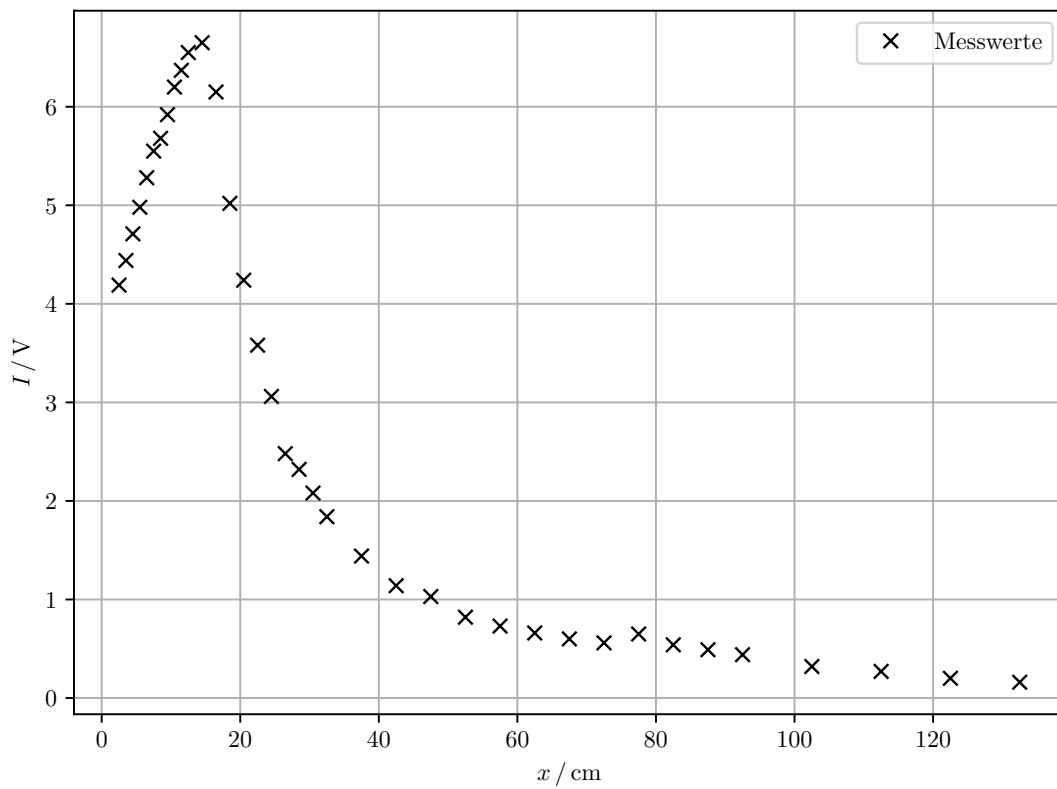
**Tabelle 2:** Darstellung der Messergebnisse für  $U_o = 87,34V$ 

$U_{\text{out}}/V$	$\Phi/^\circ$	$U_{\text{theo}}/V$	<i>Abweichung</i> /%
49,2	0	55,6	??
49,6	45	39,32	??
33,8	60	27,8	??
14,6	90	0	??
-4,12	120	-27,8	??
-36,7	150	-48,2	??
-47,8	180	-55,6	??
-49,6	210	-48,2	??
-34,5	240	-27,8	??
-14,6	270	0	??

Bei der Leuchtdiode wird eine Rechteckspannung moduliert. Die eingestellte Frequenz ist  $\omega = 159,6 \text{ Hz}$  und besitzt eine Amplitude von 2V. Folgende Messwerte werden in der Tabelle (3) dargestellt und in der Abbildung (7) als Diagramm dargestellt.

**Tabelle 3:** Messreihe zur Leuchtdiode

<i>Intensitt</i> /V	<i>r</i> /cm	<i>Intensitt</i> /V	<i>r</i> /cm
4,19	2,5	2,08	30,5
4,44	3,5	1,84	32,5
4,71	4,5	1,44	37,5
4,98	5,5	1,14	42,5
5,28	6,5	1,03	47,5
5,55	7,5	0,82	52,5
5,68	8,5	0,73	57,5
5,92	9,5	0,66	62,5
6,20	10,5	0,60	67,5
6,37	11,5	0,56	72,5
6,55	12,5	0,65	77,5
6,65	14,5	0,54	82,5
6,15	16,5	0,49	87,5
5,02	18,5	0,44	92,5
4,24	20,5	0,32	102,5
3,58	22,5	0,27	112,5
3,06	24,5	0,20	122,5
2,48	26,5	0,16	132,5
2,32	28,5	-	-



**Abbildung 7:** Darstellung der Intensität in Abhängigkeit des Abstandes

Die Werte bis zu dem Abstand  $r = 14,5\text{cm}$  sind physikalische nicht sinnvoll.

## 4 Diskussion

### Literatur

- [1] T. Dortmund, *Anleitung zum Versuch 303: Der Lock-In-Verstärker*, 2017.