

V303 Lock-In-Verstärker

Alina Landmann, alina.landmann@tu-dortmund.de
Jannine Salewski, jannine.salewski@tu-dortmund.de

Durchführung: 08.12.2017

Abgabe: 15.12.2017

TU Dortmund - Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	1
2 Theorie	1
3 Durchführung	2
4 Auswertung	3
4.1 Funktionsgenerator	3
4.2 Phasenverschiebung des rauschfreien Ausgangssignals	3
4.3 Phasenverschiebung des verrauschten Ausgangssignals	6
4.4 Lichtintensität in Abhängigkeit des Abstandes zwischen Leucht- und Photodiode	9
5 Diskussion	10
Literatur	11

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers untersucht werden.

2 Theorie

Der Lock-In-Verstärker wird meist für Messungen mit stark verrauschten Signalen benötigt, hierzu ist es notwendig die zu messende Referenzfrequenz ω_0 zu kennen.

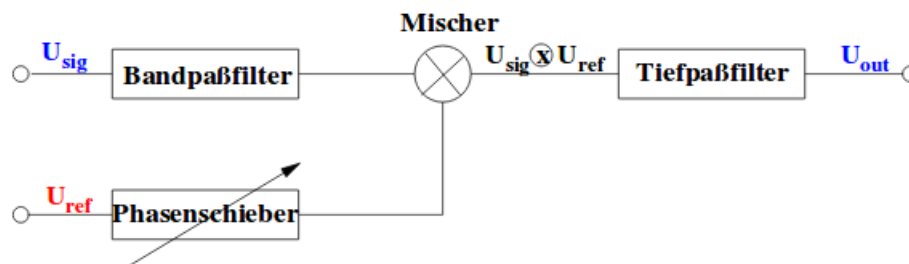


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Lock-In-Verstärkers

In Abbildung 1 ist der Aufbau eines Lock-In-Verstärkers schematisch dargestellt. Das zu messende, verrauschte Signal U_{sig} wird zunächst durch einen Bandpass geführt, sodass alle Frequenzen mit $\omega \ll \omega_0$ und $\omega_0 \ll \omega$ herausgefiltert werden. Das gefilterte Signal wird daraufhin in dem sogenannten Mischer mit einem Referenzsignal U_{ref} multipliziert, wobei die Phase ϕ des Referenzsignals U_{ref} durch einen Phasenschieber verändert werden kann. Zuletzt werden durch einen Tiefpass alle Oberfrequenzen herausgefiltert, um eine konstante, messbare Gleichspannung U_0 zu erhalten, wobei $U_0 \propto U_{\text{out}}$. Der Tiefpass fungiert außerdem als Integrator über mehrere Perioden des Mischsignals $U_{\text{sig}} \cdot U_{\text{ref}}$.

Der Vorteil eines Lock-In-Verstärkers im Gegensatz zu einem einfachen Bandpass ist die höhere Güte, welche etwa 100mal größer ist als bei einem Bandpass (100.000:1.000).

In diesem Versuch sind sowohl U_{sig} und U_{ref} als Sinusspannungen mit der gleichen Referenzfrequenz anzusehen. Mit

$$U_{\text{sig}} = A_{\text{sig}} \sin(\omega t)$$
$$U_{\text{ref}} = A_{\text{ref}} \sin(\omega t + \phi)$$

folgt direkt

$$U_{\text{sig}} \cdot U_{\text{ref}} = A_{\text{sig}} A_{\text{ref}} \sin(\omega t) \sin(\omega t + \phi),$$

durch Umformen ergibt sich

$$U_{\text{sig}} \cdot U_{\text{ref}} = \frac{1}{2} A_{\text{sig}} A_{\text{ref}} (\cos(\phi) - \cos(2\omega t + \phi)) \quad (1)$$

Durch den eben genannten Tiefpass, werden alle Oberschwingungen herausgefiltert und es bleibt nur der Gleichstromanteil übrig, der folgend gemessen wird

$$U_{\text{sig}} \cdot U_{\text{ref}} = \frac{1}{2} A_{\text{sig}} A_{\text{ref}} \cos(\phi). \quad (2)$$

3 Durchführung

Zunächst wird festgestellt, welcher Ausgang des Funktionsgenerators eine konstante und welcher eine variable Sinusspannung liefert, dazu wird der Funktionsgenerator direkt an das Oszilloskop angeschlossen.

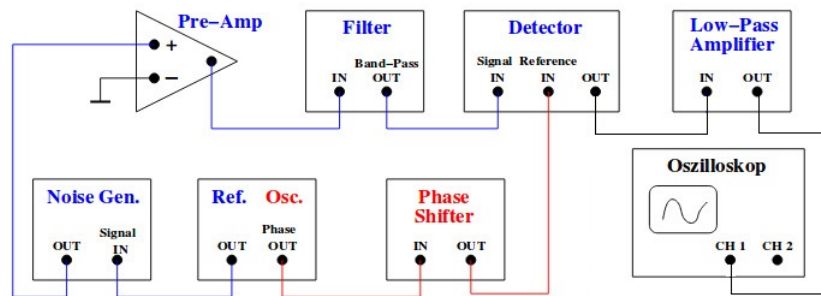


Abbildung 2: Versuchsaufbau 1.

Für den nächsten Teil des Versuchs wird das Experiment nach Abbildung 2 Schritt für Schritt aufgebaut, jedoch wird erst einmal der Noise-Generator überbrückt. Es wird für das sinusförmige Ausgangssignal U_{sig} eine Frequenz von ca. 1 kHz und eine Amplitude von 10 mV eingestellt, indem der Funktionsgenerator direkt an das Oszilloskop angeschlossen wird und auf dem Bildschirm die Frequenz und die Amplitude überprüft werden kann. An dem anderen Ausgang des Funktionsgenerators wird eine sinusförmige Referenzspannung U_{ref} mit gleicher Frequenz eingestellt. Folgend werden 5 Bilder von den Spannungsverläufen für verschiedene Phasen auf dem Oszilloskop erstellt. Außerdem wird mit Hilfe des Oszilloskops die Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Phasenverschiebung gemessen, hierzu werden mindestens 10 Messwerte aufgenommen

Im nächsten Teil des Versuchs wird der Noise-Generator wieder mit in die Schaltung eingebunden. Es werden erneut 5 Bilder der Spannungsverläufe für verschiedene Frequenzen auf dem Oszilloskop erstellt. Auch bei diesem Versuchsteil wird die Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Phasenverschiebung gemessen, wobei erneut mindestens 10 Messwerte aufgenommen werden.

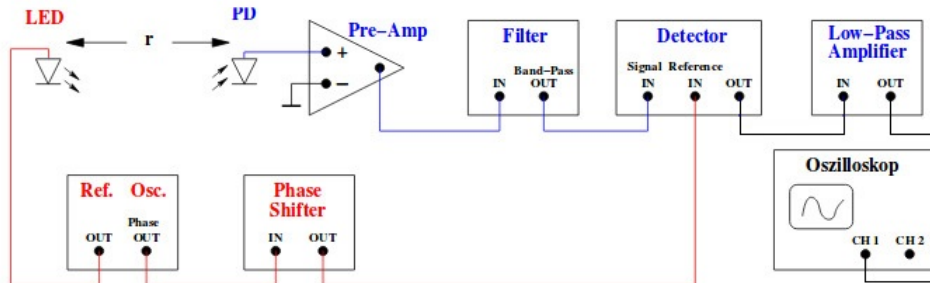


Abbildung 3: Versuchsaufbau 2.

Im letzten Teil des Versuchs wird eine Photodektorschaltung nach Abbildung 3 aufgebaut. Die Leuchtdiode wird mit einer Rechteckspannung mit einer Frequenz zwischen 50 Hz und 500 Hz betrieben. Das ausgestrahlte Licht wird mit einer Photodiode gemessen. Folgend wird die Lichtintensität in Abhängigkeit des Abstandes gemessen. Hierzu werden mindestens 20 Messwerte und die maximale Weite des Lichtes r_{\max} gemessen.

4 Auswertung

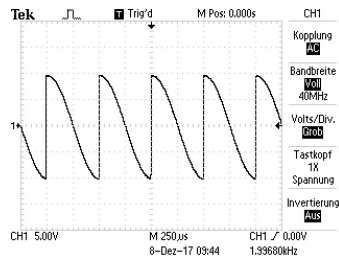
4.1 Funktionsgenerator

Im ersten Teil des Versuchs wird der Funktionsgenerator auf seine Wirkweise untersucht. Hierzu wird ein oszilloskop angeschlossen, welches die Spannungsverläufe der beiden Ausgänge des Funktionsgenerators darstellt. Der Referenz Ausgang liefert eine variable Sinusspannung, während der Oszillatorausgang des Generators eine konstante Spannung von 2,4 Volt ausgibt. Außerdem kann die Amplitude der Referenzspannung um den Faktor 100 verkleinert werden, während der Kippschalter neben dem Oszillatorausgang es ermöglicht, zwischen Sinus und Rechteckspannung zu wechseln. Im Versuch wurde für die ersten beiden Teile eine Sinusspannung, und für den letzten Teil eine Rechteckspannung verwendet.

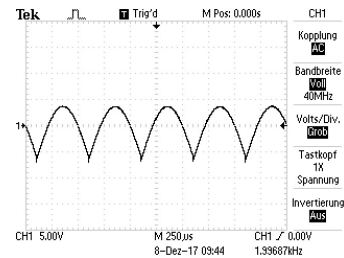
4.2 Phasenverschiebung des rauschfreien Ausgangssignals

Für den zweiten Teil des Versuchs wird der Verstärker mit einer Sinusspannung U_{sig} von 1 kHz und 10 mV gespeist. Der Ausgang wird wiederum mit einer Sinusspannung U_{ref} mit

der selben Frequenz gemischt. Die Ergebnisse der Mischung werden für fünf verschiedene Phasen Φ aufgezeichnet und sind in 4a, 4b, 5, 6a und 6b zu sehen.



(a) Spannungsverlauf bei $\Phi = 0^\circ$



(b) Spannungsverlauf bei $\Phi = 90^\circ$

Abbildung 4: Spannungsverläufe in Abhängigkeit der Phasenverschiebung ohne Rauschen

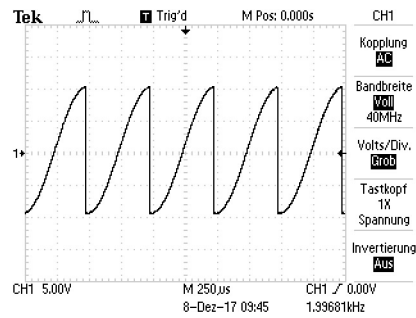
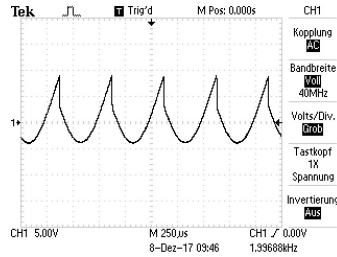
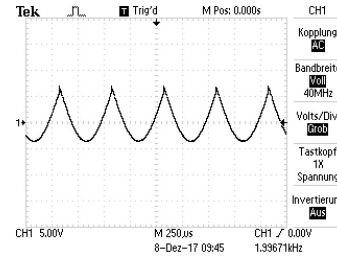


Abbildung 5: Spannungsverlauf bei $\Phi = 180^\circ$ ohne Rauschen



(a) Spannungsverlauf bei $\Phi = 240^\circ$



(b) Spannungsverlauf bei $\Phi = 270^\circ$

Abbildung 6: Spannungsverläufe in Abhängigkeit der Phasenverschiebung ohne Rauschen

Anschließend wird das gemischte Signal durch einen Tiefpass, der als Integrator dient, geschickt. Es ist zu erkennen, dass die am Oszilloskop vermessene Spannung U_{out} nun eine Gleichspannung ist. Um die Abhängigkeit dieser Ausgangsspannung von der Phasenverschiebung zwischen U_{sig} und U_{ref} zu untersuchen, wird die Ausgangsspannung für verschiedene Phasenverschiebungen gemessen und in einem Diagramm dargestellt. Die zugehörigen Werte finden sich in 1.

Tabelle 1: Messwerte zur Bestimmung der Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Phasenverschiebung

$\Delta\Phi / ^\circ$	$U_{\text{out}} / \text{V}$
0	0,49
30	3,17
60	5,93
90	6,28
120	5,55
150	2,10
180	-0,24
210	-3,01
240	-5,92
270	-6,20
300	-5,45
330	-1,96
360	-0,50

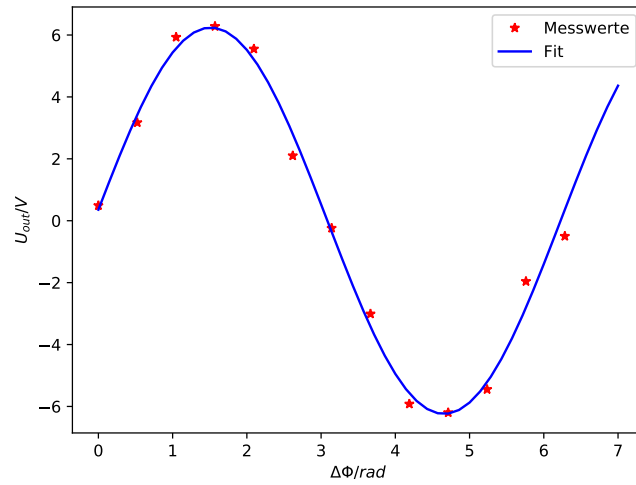
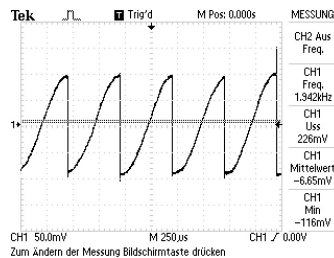


Abbildung 7: U_{out} in Abhängigkeit der Phasenverschiebung

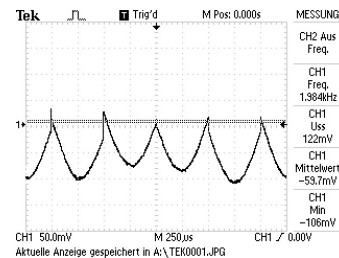
Die mit Hilfe von Python berechnete Phasenverschiebung beträgt $(1,628 \pm 0,030)$ rad.

4.3 Phasenverschiebung des verrauschten Ausgangssignals

Der vorangegangene Versuchsteil wird nun noch einmal durchgeführt, wobei der Noise Generator diesmal hinzugeschaltet wird, welcher die im vorigen Teil vermessenen Spannungen nun verrauscht. Die verzerrten Ausgangssignale sind in 8a, 8b, 9, 10a und 10b zu sehen.



(a) Spannungsverlauf bei $\Phi = 0^\circ$



(b) Spannungsverlauf bei $\Phi = 90^\circ$

Abbildung 8: Spannungsverläufe in Abhängigkeit der Phasenverschiebung mit Rauschen

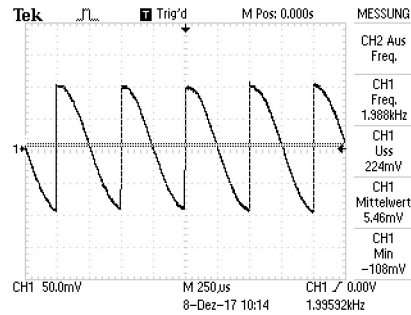
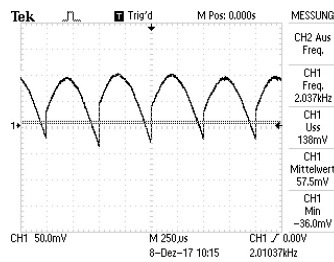
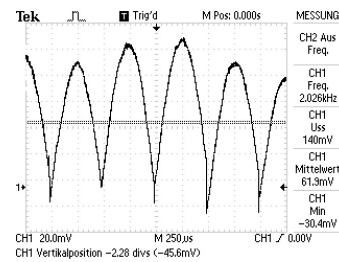


Abbildung 9: Spannungsverlauf bei $\Phi = 180^\circ$ ohne Rauschen



(a) Spannungsverlauf bei $\Phi = 240^\circ$



(b) Spannungsverlauf bei $\Phi = 270^\circ$

Abbildung 10: Spannungsverläufe in Abhängigkeit der Phasenverschiebung mit Rauschen

Nun wird die verrauschte Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Phasenverschiebung vermessen und abermals ein Diagramm erstellt, welches in 11 zu sehen ist. Die zugehörigen Messwerte befinden sich in 2. Der mit Hilfe von Python berechnete Wert für die Phasenverschiebung beträgt nun $(1,50 \pm 0,30)$ rad.

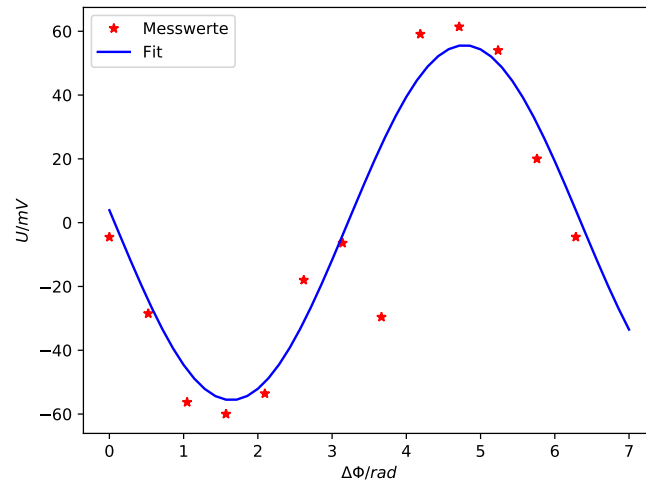


Abbildung 11: U_{out} in Abhängigkeit der Phasenverschiebung mit verrauschtem Eingangssignal

Tabelle 2: Messwerte zur Bestimmung der Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Phasenverschiebung mit verrauschtem Eingangssignal

$\Delta\Phi / ^\circ$	$U_{\text{out}} / \text{mV}$
0	-4,54
30	-28,50
60	-56,30
90	-60,00
120	-53,60
150	-18,00
180	-6,40
210	-29,60
240	59,10
270	61,40
300	54,00
330	20,00
360	-4,50

4.4 Lichtintensität in Abhängigkeit des Abstandes zwischen Leucht- und Photodiode

Im letzten Teil des Versuchs wird eine Leuchtdiode mit einer Rechteckspannung moduliert, sodass diese mit ≈ 50 Hz blinkt. Anschließend wird eine Photodiode mit dem Oszilloskop verbunden, sodass das ausgesendete Licht vermessen werden kann. Im Oszilloskop zeigt sich wiederum eine Gleichspannung, deren Amplitude so in Abhängigkeit des Abstandes der Photo- zur Leuchtdiode gemessen werden kann. Hierzu wird der Abstand zwischen den beiden Dioden stetig vergrößert, bis im Oszilloskop keine Änderung mehr messbar ist. Die Ergebnisse werden geplottet wobei zu erkennen ist, dass sich die vom Oszilloskop gemessene Spannung Null mit $\frac{1}{r^2}$ annähert, jedoch nie gleich Null wird. Die zu 12 gehörenden Messwerte sind in 3 zu finden.

Tabelle 3: Messwerte zur Bestimmung der Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Phasenverschiebung mit verrauschtem Eingangssignal

$\Delta\Phi / ^\circ$	$U_{\text{out}} / \text{mV}$	$\Delta\Phi / ^\circ$	$U_{\text{out}} / \text{mV}$
3,5	4370	45,5	22,0
5,5	1850	47,5	21,0
7,5	1090	49,5	19,9
9,5	640	51,5	17,9
11,5	398	53,5	15,5
13,5	265	55,5	12,8
15,5	193	57,5	11,4
17,5	117	59,5	9,8
19,5	88,4	61,5	8,36
21,5	68,0	63,5	8,20
23,5	53,9	65,5	8,13
25,5	47,0	67,5	7,15
27,5	43,5	72,5	5,61
29,5	40,7	77,5	5,80
31,5	38,5	82,5	4,55
33,5	34,0	87,5	4,20
35,5	30,3	92,5	3,65
37,5	27,7	97,5	3,14
39,5	35,5	102,5	3,31
41,5	24,4	107,5	3,50
43,5	23,1		

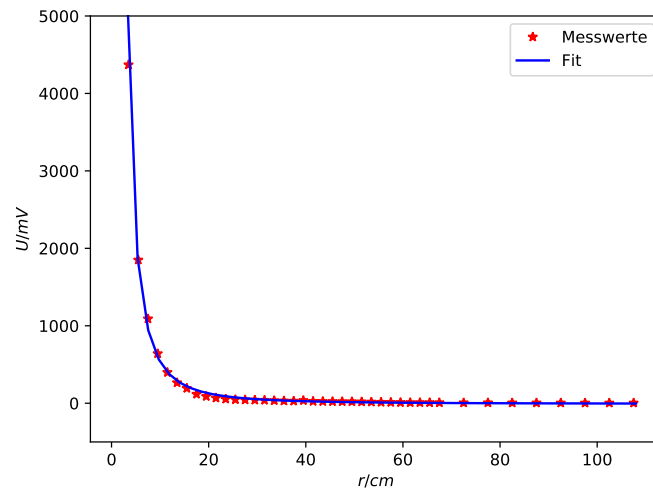


Abbildung 12: Intensität der Leuchtdiode als Funktion vom Abstand zur Photodiode

5 Diskussion

Es ist zu erkennen, dass mit den Versuchen die Funktionsweise des Lock-In Verstärkers bestätigt werden konnte. Die experimentell ermittelten Werte lagen stets sehr nahe an den zu erwartenden Theoriewerten. Im letzten Teil des Versuchs, in dem zu erwarten war, dass sich die gemessene Spannung der Nulllinie annähert, ist dies nicht eingetreten. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass der Versuch bei Tageslicht durchgeführt wurde. Dadurch misst die Photodiode nicht nur das einfallende Licht der Leuchtdiode, sondern auch möglicherweise einfallendes Tageslicht oder Licht aus der Deckenbeleuchtung.

Literatur

- [Dor] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 353 Relaxationsverhalten eines RC-Kreises*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/index.php?page=medizin&sub=bachelorSc> (besucht am).