

Versuchsnummer: 303

Der Lock-In-Verstärker

Konstantin Mrozik
konstantin.mrozik@udo.edu

Marcel Kebekus
marcel.kebekus@udo.edu

Durchführung: 17.12.2019

Abgabe: 07.01.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
1.1	Funktionsweise	3
2	Durchführung	4
3	Auswertung	6
3.1	Photodiode	6
3.2	Funktionsweise Lock-In-Verstärker	7
4	Diskussion	14
4.1	Photodiode	14
	Literatur	15

Ziel

Aufbau sowie Funktion eines Lock-In-Verstärkers untersuchen.

1 Theorie

Ein Lock-In-Verstärker beinhaltet einen integrierten phasenempfindlichen Detektor. Er wird zur Messung von stark verrauschten Signalen verwendet. Dafür wählt man eine Referenzfrequenz ω_0 , mit der das Messsignal moduliert wird.

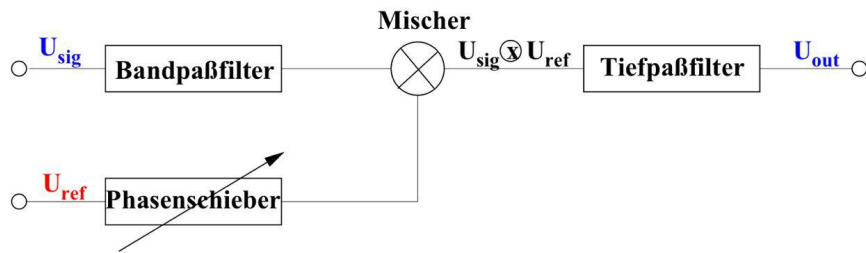


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Lock-In-Verstärkers [3, S. 1]

Hauptbestandteil sind dabei Bandpassfilter (lässt nur Signale eines bestimmten Bandpasses passieren), Phasenschieber, Mischer und ein Tiefpassfilter (lässt Signale unterhalb der Grenzfrequenz passieren).

1.1 Funktionsweise

Basis ist ein verrauschtes Nutzsignal U_{sig} . Dieses Signal passiert zu erst den Bandpassfilter, der die Rauschanteil um ω_0 entfernt. Dies wird im Mischer mit einem Referenzsignal U_{ref} mit der Frequenz ω_0 multipliziert. Dabei kann über den Phasenschieber die Phasenlage Φ reguliert werden, sodass die Signale synchronisiert werden können ($\Delta\Phi = 0$). Im nachfolgenden integriert der Tiefpass das Mischsignal und mittelt Rauschbeträge heraus. Schließlich gilt für das Ausgangssignal:

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

Die Bandbreite des Rauschens, kann durch die Zeitkonstante $\tau = RC$ des Tiefpasses beliebig klein variiert werden. Dieses Kompination verbessert die Güte um das 100 fache, gegenüber einem einfachen Bandpass.

2 Durchführung

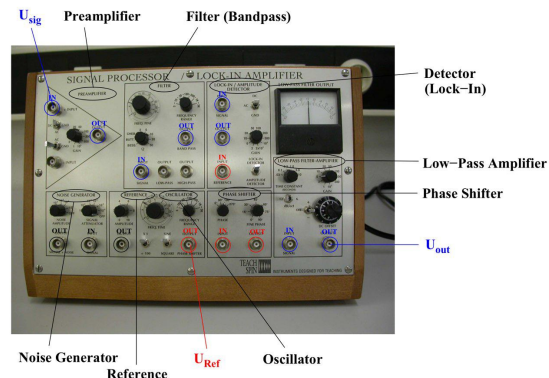


Abbildung 2: Lock-In-Verstärker,[3, S. 3]

Es lassen sich alle Signalteile wie Vorverstärker, Filter, Phasenschieber, Funktionsgenerator, Rauschgenerator, Tiefpass-Verstärker und ein Amplituden-/Lock-In-Detektor separat bedienen.

1. Kennenlernen des Reference/Oscillator.
Dieser verfügt über zwei Ausgänge (vgl. dazu Abb 2). Beide Ausgänge werden an ein Oszilloskop angeschlossen und die Variationsmöglichkeiten der Spannungsamplitude untersucht.
2. Untersuchen von Phasenschieber und Tiefpass
Dafür wird die Schaltung aus Abb. 3 verwendet. Zunächst wird der Noise Generator überbrückt. Ein Nutzsignal von ca. $1kHz$ und $10mV$ wird mit einem Referenzsignal der gleichen Frequenz gemischt.
Untersucht wird dabei, das Verhalten beim ändern der Phase Φ . Dafür werden fünf verschiedenen Phasen eingestellt und das Ausgangssignal skizziert.

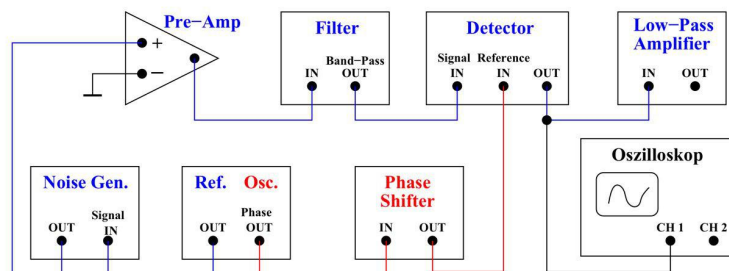


Abbildung 3: Schema Lock-In-Verstärker,[3, S. 4]

3. Im Anschluss wird das Ausgangssignal integriert und die Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Phasenverschiebung verglichen.

4. Nun wird der Noise Generator dazu geschaltet und ebenfalls die Veränderung des Ausgangssignals für verschiedene Phasen Φ mit und ohne Tiefpass skizziert.
5. Maximaler Abstand einer LED von einer Photodiode.
Eine Rechteckspannung (50Hz bis 500Hz) versorgt eine LED, deren Licht von einer Photodiode gemessen wird. Es soll der maximale Abstand r_{max} ermittelt werden, bei dem die Photodiode noch getriggert wird. Die Schaltung ist wie folgt:

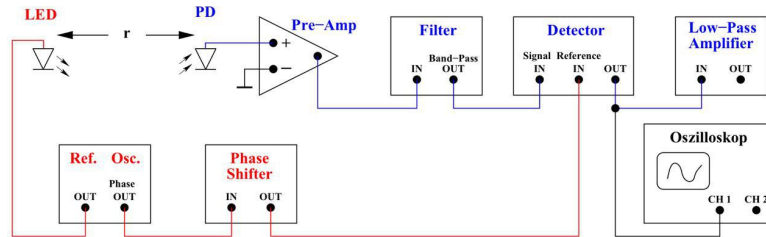


Abbildung 4: LED/Photodiodenschaltung [3, S. 5]

3 Auswertung

3.1 Photodiode

Zu 5

d / cm	U / V
0.0	8.0
0.4	7.5
1.4	6.0
2.4	5.25
3.4	4.5
4.4	4.0
5.4	3.5
6.4	3.0
7.4	2.75
9.4	2.25
10.4	2.0
11.4	2.0
13.4	1.5
15.4	1.5
17.4	1.25
19.4	1.0
21.4	1.0
23.4	0.9
25.4	0.75
27.4	0.6
29.4	0.5
31.4	0.5
35.4	0.5

Tabelle 1: Messung der Intensität mit der Photodiode

Die Intensität U verhält sich dabei im Abstand d wie folgt:

$$U = a \frac{1}{d^2} + b$$

Die Parameter der gefitteten Funktion sind damit:

$$a = 2783 \text{Wcm}^2 \tag{2}$$

$$b = -0,921 \text{W} \tag{3}$$

Der maximale Abstand d_{max} befindet sich bei: $d_{max} = 29.4 \text{cm}$.

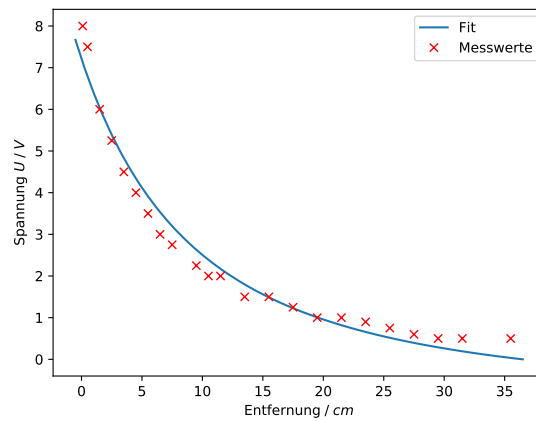


Abbildung 5: Messwerte - Spannung der Photodiode/Entfernung der LED

3.2 Funktionsweise Lock-In-Verstärker

Zu 2.)

Im folgenden sind die Oszillator-Bilder der Spannungen für die Phasenverschiebungen $\phi = 0^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ und 225° dargestellt.

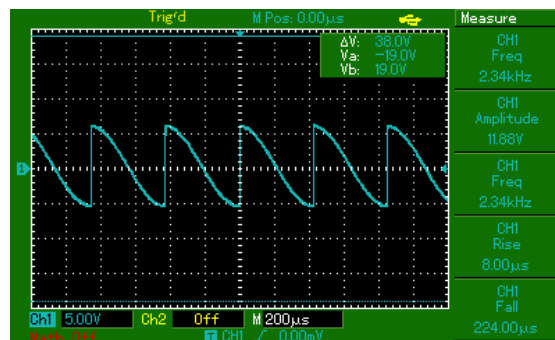


Abbildung 6: Phase 0° ohne Rauschen

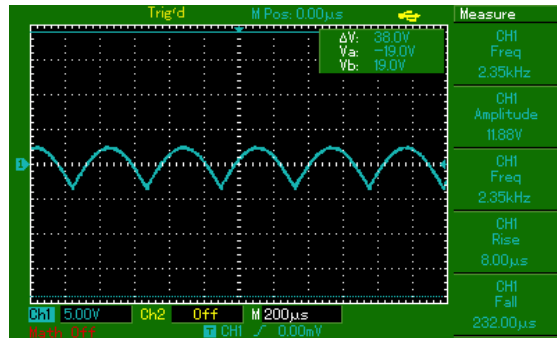


Abbildung 7: Phase 90° ohne Rauschen

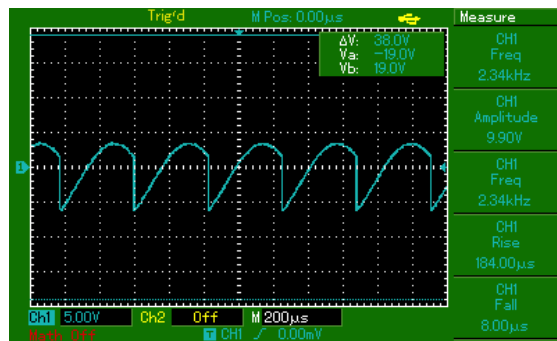


Abbildung 8: Phase 135° ohne Rauschen

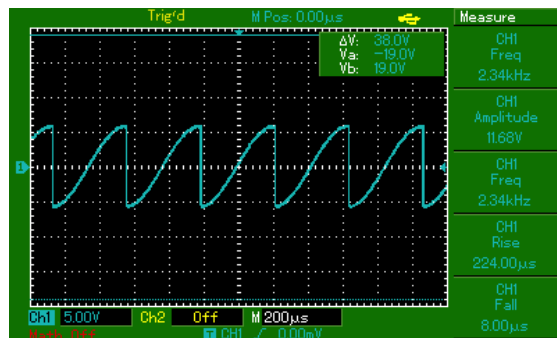


Abbildung 9: Phase 180° ohne Rauschen

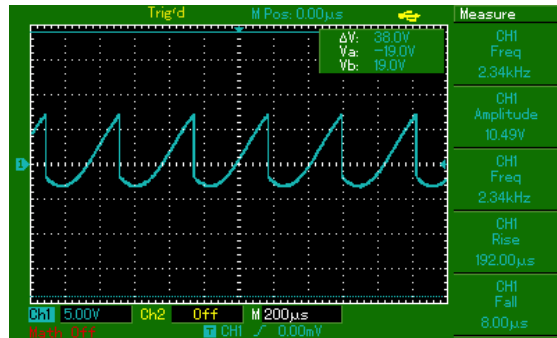


Abbildung 10: Phase 225° ohne Rauschen

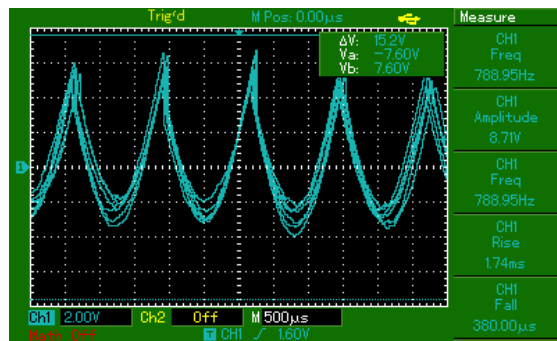


Abbildung 11: Phase 0° mit Rauschen

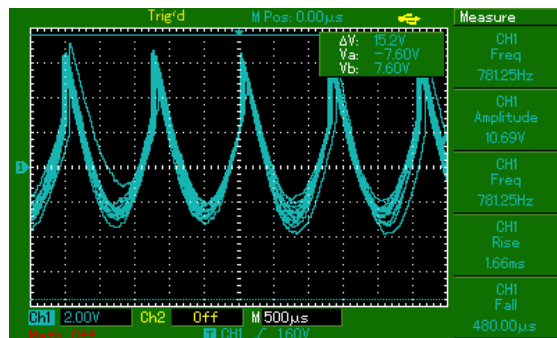


Abbildung 12: Phase 30° mit Rauschen

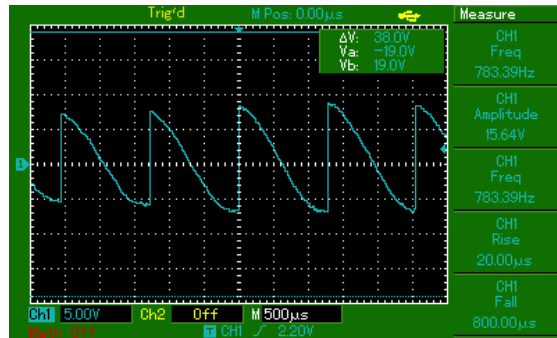


Abbildung 13: Phase 90° mit Rauschen

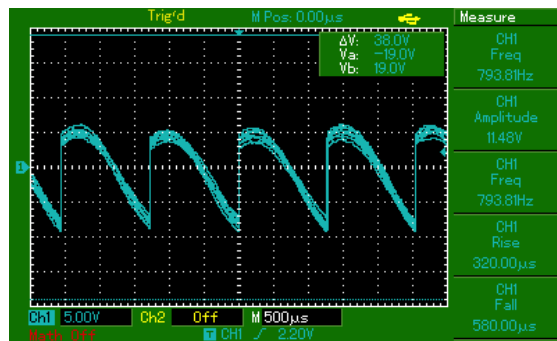


Abbildung 14: Phase 135° mit Rauschen

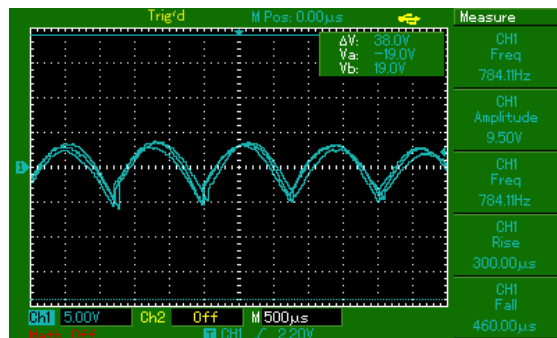


Abbildung 15: Phase 180° mit Rauschen

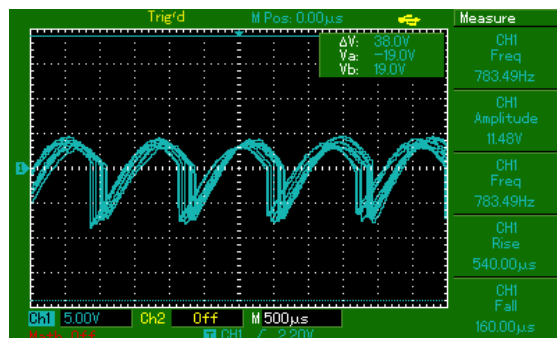


Abbildung 16: Phase 225° mit Rauschen

d / cm	U / V
0.0	0.0
30.0	1.5
60.0	3.5
90.0	4.0
120.0	3.75
150.0	2.0
180.0	0.5
210.0	-1.0
240.0	-3.0
270.0	-3.5
300.0	-3.0
330.0	-1.5
360.0	0.0

Tabelle 2: Messung der Spannung verschiedener Phasen

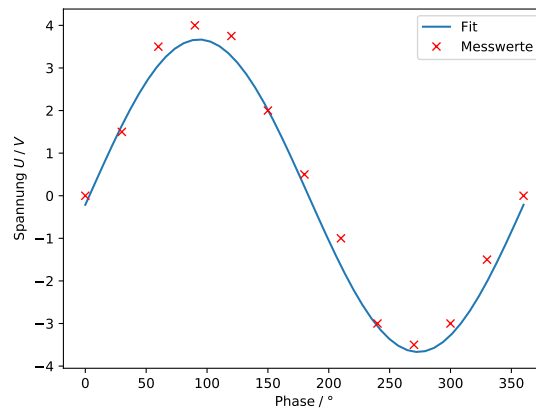


Abbildung 17: Messwerte - Spannung in abhängigkeit von der Phase

Die Spannung U kann durch

$$U_{out} = \frac{2}{\pi} A * \cos\left(\frac{\phi}{180}\pi + B\right)$$

berechnet werden. Durch eine Ausgleichsrechnung ergibt sich

$$A = -5.763V$$

$$B = 1.513$$

d / cm	U / V
0.0	-4.5
30.0	-4.0
60.0	-2.0
90.0	-0.9
120.0	1.5
150.0	4.0
180.0	4.75
210.0	4.5
240.0	3.0
270.0	1.0
300.0	-1.0
330.0	-3.5
360.0	-4.5

Tabelle 3: Messung der Spannung verschiedener Phasen mit Rauschen

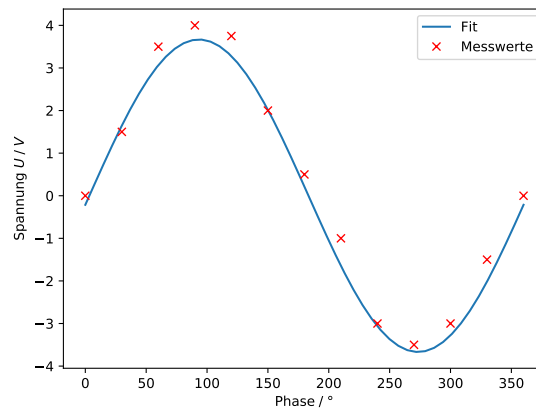


Abbildung 18: Messwerte - Spannung in abhängigkeit von der Phase mit Rauschen

Die Spannung U kann wieder durch

$$U_{out} = \frac{2}{\pi} A * \cos\left(\frac{\phi}{180}\pi + B\right)$$

berechnet werden. Durch eine weitere Ausgleichsrechnung ergibt sich

$$A = -7.137V$$

$$B = 6.115$$

4 Diskussion

4.1 Photodiode

Zu 5:

Aufgrund des Hintergrundleutens kann ein weit aus höherer d_{max} möglich sein. In dieser Messung wird am unteren Ende deutlich, dass die Photodiode konstant eine Spannung U von 0,5V anzeigt, was auf ein Hintergrundlicht oder eine ungenaue Kalibrierung der Diode hinweist. d_{max} wurde dabei, als letzten Wert vor der Konvergenz gewählt.

Durch den Lock-In-Verstärker werden die Rauschanteile des Signals stark herausgefiltert. Dennoch ist zu erkennen, dass bei den Bildern mit dem Rauschen die Messung durch das Rauschen ein wenig ungenauer wird. Die allgemeine Form der gemessenen Kurve bleibt aber ziemlich genau erhalten.

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] 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/>.
- [3] *Versuchsanleitung V303 - Der Lock-In-Verstärker*. TU Dortmund, 2019.