

V303

Der Lock-In-Verstärker

David Venker

david.venker@tu-dortmund.de

Nico Guth

nico.guth@tu-dortmund.de

Durchführung: 21.01.20

Abgabe: 28.01.20

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	4
4 Auswertung	5
4.1 Untersuchung des Lock-In Verstärkers bei verschiedenen Phasenverschiebungen	5
4.2 Untersuchung der Lichtdetektion mit dem Lock-In Verstärker	8
5 Diskussion	9
Literatur	10

1 Zielsetzung

Dieser Versuch soll die Funktionsweise eines Lock-In Verstärkers näherbringen und verifizieren.

2 Theorie

Ein Lock-In-Verstärker wird verwendet um stark verrauschte Signale und Spannungen zu messen. Zuvor werden die sehr hohen und sehr niedrigen Frequenzen des Eingangssignals durch einen Bandpassfilter geschwächt bzw. ganz entfernt. Eine Referenzspannung U_{ref} , mit der Frequenz der Eingangsspannung U_{sig} , wird mit der Eingangsspannung multipliziert. Dadurch wird das zu messende Signal zwischen dem Rauschen stärker hervorgehoben. In Abbildung 1 ist das Prinzip dieser Multiplikation verdeutlicht.

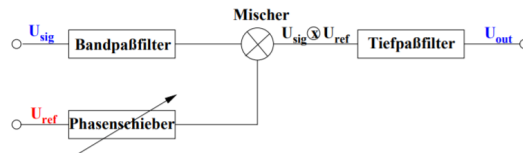


Abbildung 1: Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers.[1]

Bei einem einkommenden Signal

$$U_{\text{sig}} = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (1)$$

und einer Rechteckspannung als Referenzspannung

$$U_{\text{ref}} = \frac{4}{\pi} \left(\sin(\omega \cdot t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega \cdot t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega \cdot t) + \dots \right), \quad (2)$$

die durch eine Fourierreihe angenähert wird, ergibt sich für die Multiplikation beider Signale

$$U_{\text{sig}} \times U_{\text{ref}} = \frac{2}{\pi} \cdot U_0 \left(1 - \frac{2}{3} \cos(2\omega \cdot t) - \frac{2}{15} \cos(4\omega \cdot t) - \frac{2}{35} \cos(6\omega \cdot t) \dots \right). \quad (3)$$

U_0 ist dabei die Amplitude des Eingangssignals und ω die abgestimmte Frequenz der beiden Signale. Das daraus entstandene Signal wird zuletzt durch einen Tiefpassfilter geschickt. Dieser Tiefpassfilter besteht aus einer Kapazität C und einem Widerstand R , diese sind über die Zeitkonstante τ verbunden und definieren zusammen die Bandbreite

$$\Delta\nu = \frac{1}{\pi R \cdot C} \quad (4)$$

dieses Filters. Dadurch filtern sich alle unerwünschten Anteile heraus und es bleibt nur eine Gleichspannung U_{out} mit

$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \cdot \cos(\phi) \quad (5)$$

übrig. Die Ausgangsspannung ist proportional zur Eingangsspannung und hängt von der Phasendifferenz ϕ ab.

3 Durchführung

Die Spannung wird an beiden Ausgängen des Funktionsgenerators abgegriffen und auf dem Oszilloskop angezeigt. Es wird untersucht, welche der beiden Spannungen in ihrer Amplitude variierbar ist und welche der beiden in ihrer Frequenz einstellbar ist.

Der Lock-In-Verstärker wird für die eigentliche Messung nach Abbildung 2 verkabelt. Die erste Messung erfolgt allerdings ohne künstliches Rauschen der Signalspannung. Also wird hierfür der Noise Generator überbrückt.

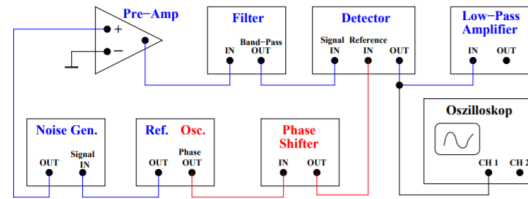


Abbildung 2: Schaltbild für einen Lock-In-Verstärker.[1]

U_{sig} wird als sinusförmiges Signal verstärkt und zusammen mit einer sinusförmigen Referenzspannung auf den Mischer gegeben. Es sind fünf verschiedene Phasen ϕ am Phase Shifter einzustellen und von den entstehenden Ausgaben des Oszilloskops wird jeweils ein Screenshot angefertigt. Danach wird die Spannung U_{out} nach dem Tiefpassfilter abgegriffen und auf dem Oszilloskop angezeigt. U_{out} wird für zehn verschiedene Phasen ϕ notiert.

Für die weiteren Messungen wird der Noise Generator in den Stromkreis eingebunden. Es werden zehn Phasenverschiebungen ϕ eingestellt. Die Spannung U_{out} wird erneut nach dem Tiefpassfilter abgegriffen und notiert.

Es wird eine Photodiodenschaltung nach Abbildung 3 aufgebaut.

Der Abstand r zwischen der LED und der Photodiode, mit der das ausgesendete Licht gemessen wird, wird variiert. Die Spannung U_{out} wird in Abhängigkeit des Abstandes r

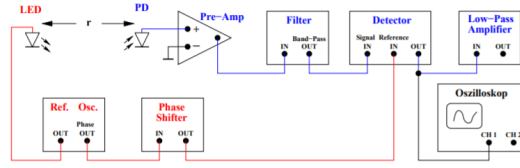


Abbildung 3: Schaltbild für einen Lock-In-Verstärker.[1]

notiert. Außerdem wird der maximale Abstand bestimmt, an dem die gemessene Spannung der Photodiode auf das Licht der LED zurückzuführen ist.

4 Auswertung

Im Folgenden werden die Messergebnisse aufgelistet und es werden entsprechende Ausgleichsrechnungen ausgeführt.

4.1 Untersuchung des Lock-In Verstärkers bei verschiedenen Phasenverschiebungen

In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind die Screenshots des Oszilloskops für die Phasenunterschiede 0° , 45° , 90° , 180° und 270° dargestellt. Hierbei wird die Spannung vor dem Tiefpass abgegriffen, in Abbildung 4 der Noise-Generator überbrückt und in Abbildung 5 der Noise-Generator zwischengeschaltet. (siehe Abschnitt 3)

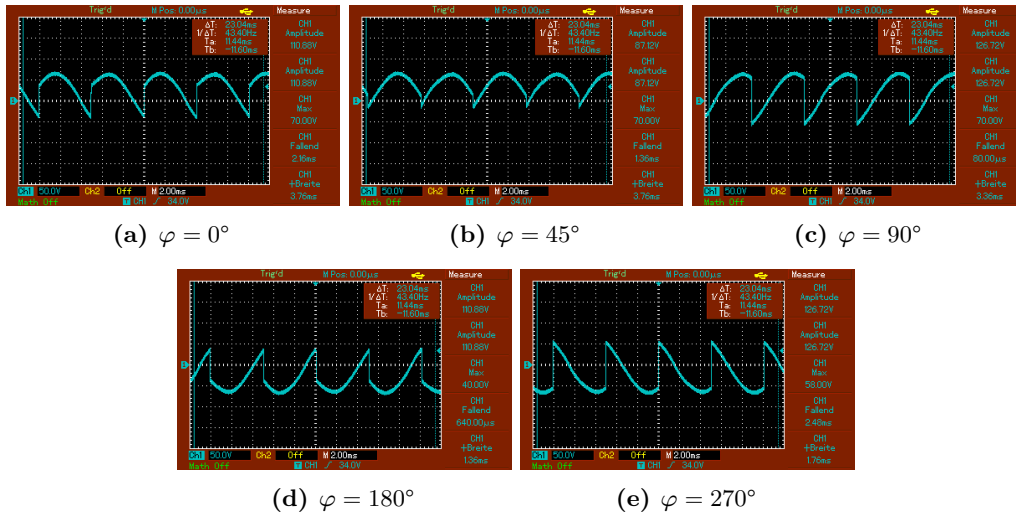


Abbildung 4: Screenshots der Spannung ohne zwischengeschaltetem Noise-Generator bei verschiedenen Phasenverschiebungen φ

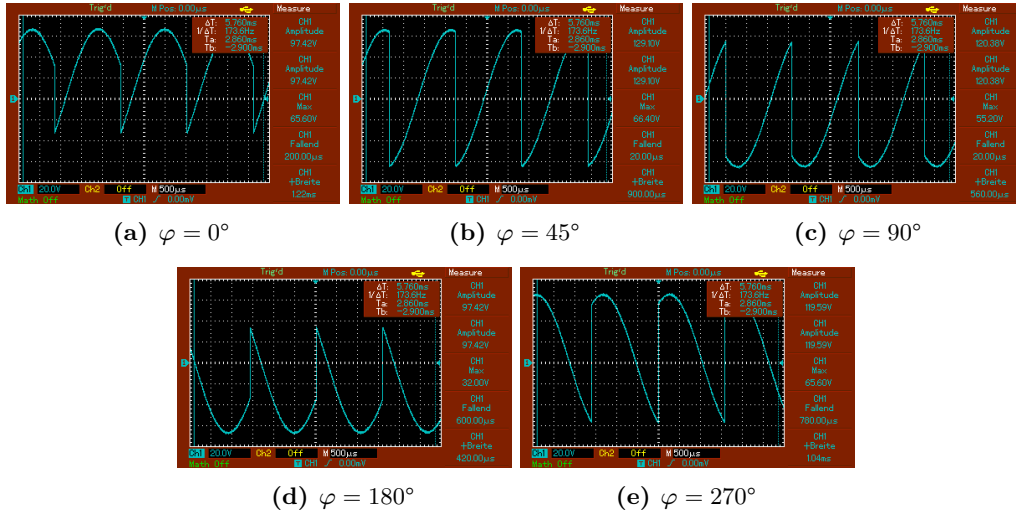


Abbildung 5: Screenshots der Spannung mit zwischengeschaltetem Noise-Generator bei verschiedenen Phasenverschiebungen φ

In Tabelle 1 sind die Messergebnisse der Spannungsmessung hinter dem Tiefpassfilter gelistet. U entspricht hier der Messung bei überbrücktem Noise-Generator und für U_{Noise} ist dieser zwischengeschaltet.

Mithilfe dieser Messwerte wird jeweils ein Plot erstellt. Dann wird mithilfe von der Python Bibliothek SciPy und der Funktion `curve_fit` jeweils eine Ausgleichskurve erstellt.[2]

Hierfür wird nach Gleichung 5 die Gleichung

$$U = \frac{2}{\pi} a \cos(\varphi + b) \quad (6)$$

mit den Parametern a und b verwendet. Hier ist nach Gleichung 5 $a = U_0$.

Damit ergeben sich die Parameter

$$\begin{aligned} a &= (6,6 \pm 0,1) \text{ V} \\ b &= (-33 \pm 1)^\circ \\ a_{\text{Noise}} &= (-13,9 \pm 0,7) \text{ V} \\ b_{\text{Noise}} &= (-5 \pm 3)^\circ. \end{aligned}$$

Die entsprechenden Plots sind in Abbildung 6 und in Abbildung 7 zu sehen.

$\varphi / ^\circ$	U / V	$U_{\text{Noise}} / \text{V}$
0	3,5	-9,8
30	4,2	-8,3
60	3,5	-3,5
90	2,4	-0,7
120	0,5	2,2
150	-2,3	7,1
180	-3,5	9,8
210	-4,2	8,3
240	-3,6	3,6
270	-2,4	0,7
300	-0,6	-2,0
330	2,1	-7,0
360	3,5	-9,8

Tabelle 1: Messergebnisse der Spannungsmessung hinter dem Tiefpassfilter

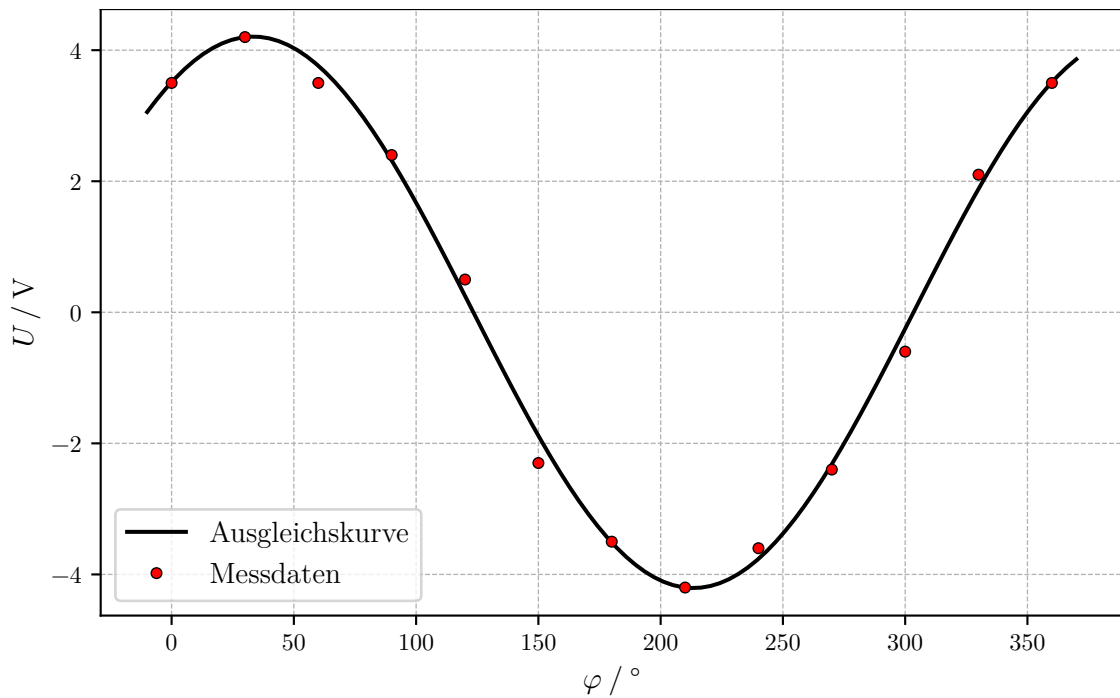


Abbildung 6: Plot der Spannung bei nicht zwischengeschaltetem Noise-Generator

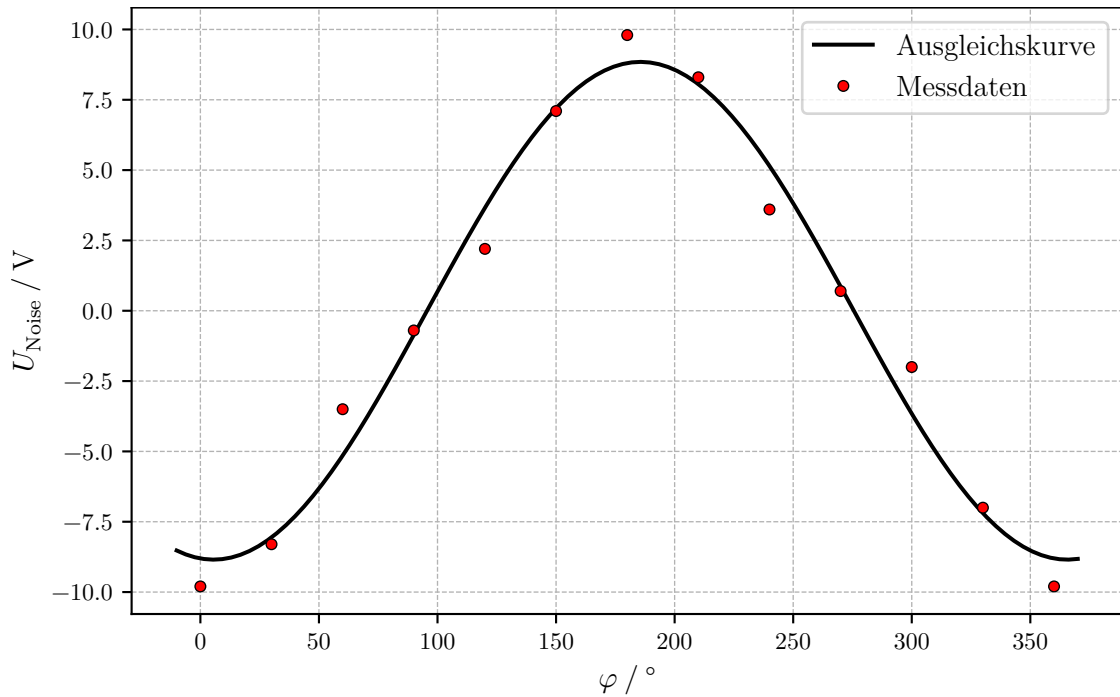


Abbildung 7: Plot der Spannung bei zwischengeschaltetem Noise-Generator

4.2 Untersuchung der Lichtdetektion mit dem Lock-In Verstärker

Wie in Abschnitt 3 beschrieben, wurde die Spannung einer Photodiode über den Lock-In Verstärker gemessen. In Tabelle 2 sind die entsprechenden Messergebnisse gelistet.

r / cm	U / V	r / cm	U / V
4	-3,2	20	-2,4
6	-3,4	22	-1,9
8	-3,5	24	-1,6
10	-3,5	26	-1,5
12	-3,6	28	-1,3
14	-3,5	30	-1,2
16	-3,0		
18	-2,5		

Tabelle 2: Messergebnisse der Lichtintensitätsabnahme

Auch diese Messergebnisse sind in einem Plot (Abbildung 8) dargestellt.

Die Ausgleichskurve wird mit

$$U = \frac{a}{r^2} + b \quad (7)$$

bestimmt. Da schon an den Werten in Tabelle 2 zu sehen ist, dass die Werte von $r = 4$ cm bis 12 cm nicht mit $1/r^2$ abfallen, werden für die Ausgleichsrechnung nur die Werte von $r = 14$ cm bis 30 cm verwendet. Dadurch ergeben sich die Parameter

$$a = (0,059 \pm 0,004) \text{ V m}^2$$

$$b = (0,6 \pm 0,1) \text{ V}.$$

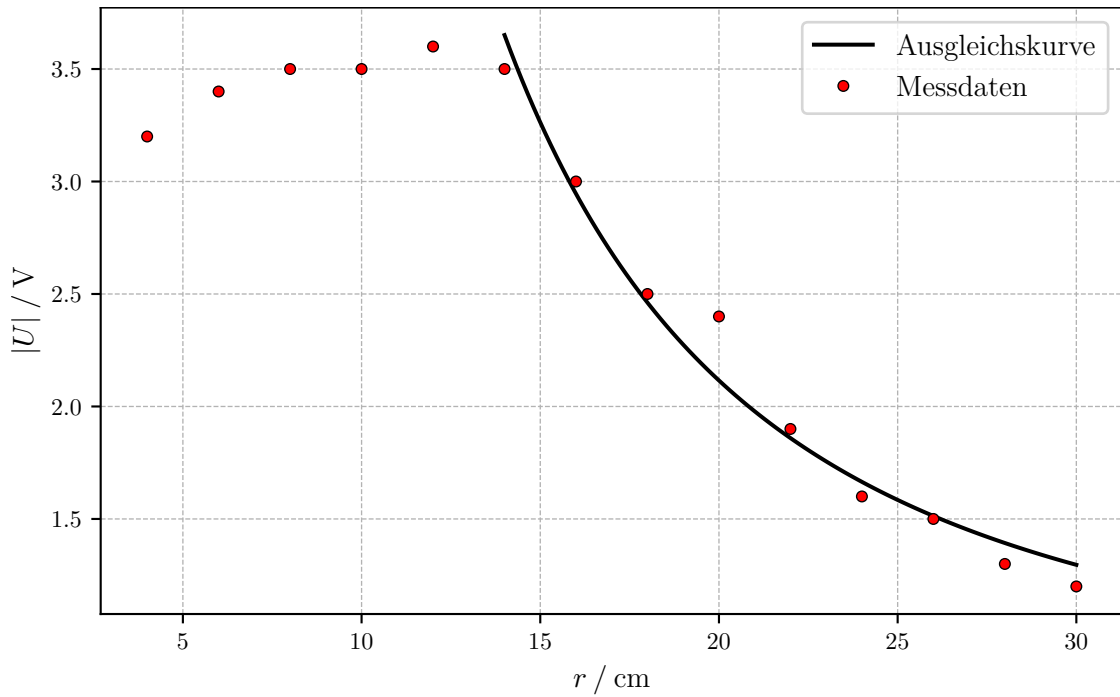


Abbildung 8: Plot der Daten aus Tabelle 2

Als maximale Distanz, bei der die Lichtintensität noch gemessen werden konnte, wurde ungefähr $r = 80$ cm beobachtet.

5 Diskussion

Im Folgenden wird diskutiert ob die Ergebnisse in Abschnitt 4 mit der Theorie vereinbar sind und ob der Lock-In Verstärker das gewünschte Verhalten zeigt.

Durch den Vergleich von Abbildung 4 und Abbildung 5 lässt sich hier nicht interpretieren. Die Unterschiede in der Amplitude lassen sich allerdings auf eine verstellte Signalspannung zurückführen. Außerdem zeigt Abbildung 5, dass ein verrauschtes Signal mithilfe des Lock-In Verstärkers bereinigt werden und vermessen werden kann.

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen, dass abgesehen von einer leichten Phasenverschiebung des Kosinus und eines umgedrehten Vorzeichens in Abbildung 7 die gemessenen Werte der Theorie wie in Gleichung 5 folgen.

Die Vermessung der Lichtintensität der LED zeigt erneut die Funktion des Lock-In Verstärkers. Die Messergebnisse in Abbildung 8 zeigen, dass ein Abfall der Lichtintensität gemessen werden konnte, obwohl das Eingangssignal aufgrund von Umgebungslicht verrauscht war.

Die Unstimmigkeiten der Messwerte für kleine Abstände lassen sich auf eine nicht gut ausgerichtete Photodiode zurückführen. Da die Photodiode vermutlich nicht parallel zur LED ausgerichtet war, hat das Licht erst ab einem Abstand von 14 cm seine Maximale Intensität auf der Photodiode abgebildet. Bei größeren Abständen war anscheinend die Drehung der Diode nicht wichtig, da der Lichtstrahl nicht stark gebündelt war.

Die Ausgleichsrechnung in Abbildung 8 zeigt die erwartete $1/r^2$ Abhängigkeit der Intensität und somit scheint die Messung der Lichtintensität erfolgreich gewesen zu sein.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 303 Der Lock-In-Verstärker*. 2019.
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.