

Anfängerpraktikum V303

Lock-In-Verstärker

Helena Nawrath
helena.nawrath@tu-dortmund.de

Carl Arne Thomann
arnethomann@me.com

Durchführung: 2. Dezember 2014 Abgabe: 9. Dezember 2014

TU Dortmund – Fakultät Physik

1 Zielsetzung

Versuchsziel ist es, sich mit der Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers vertraut zu machen. Außerdem soll für 10 verschiedene Phasen mit und ohne verrauschtes Signal die Funktionsweise verifiziert werden. Zuletzt soll die Rauschunterdrückung mit einer Photodetektorschaltung überprüft werden.

2 Theorie

Lock-In-Verstärker werden eingesetzt, um Signale mit hohem Rauschen zu messen. Im Gegensatz zum Bandpass kann hier auch Rauschen herausgefiltert werden, welches auf der selben Frequenz wie das Messsignal liegt.

Das zu messende Eingangssignal U_{sig} durchläuft im Gerät verschiedene Bauelemente.

Nach der Verstärkung durch den Pre-Amplifier durchläuft das Signal zunächst einen Bandpassfilter, der das Rauschen minimiert. Alle Frequenzen ω , die nicht der Referenzfrequenz ω_0 entsprechen werden grob herausgefiltert. Ein Detektor erzeugt die Referenzspannung U_{ref} - eine Sinus- oder Rechteckspannung - der Frequenz ω_0 , welche über den Phasenschieber an die Phase des Eingangssignals angepasst wird. Dieser Vorgang nennt sich Synchronisation. Im Mischer treffen beide Signale aufeinander, werden multipliziert und anschließend an den Tiefpass weitergeleitet. Der Tiefpass funktioniert als Integrierer. Die Modulationsfrequenz ω_0 wird über mehrere Perioden integriert um restliche Rauschanteile auszuschließen. Zurück bleiben nur die Anteile der Signalsspannung U_{sig} , die mit der Referenzspannung synchronisiert werden konnten.

Um eine möglichst geringe Bandbreite $\Delta\nu = \frac{1}{\pi RC}$ zu erhalten, sollte die Zeitkonstante $\tau = RC$ ausreichend groß gewählt werden. Damit wird eine hohe Gütezahl erzielt.

Die Ausgangsspannung U_{out} ist proportional zur Eingangsspannung und zum COSINUS. Je größer die Phasendifferenz zwischen Signal- und Referenzspannung ist, desto geringer ist die Ausgangsspannung. U_{out} wird also maximal, wenn die Phasendifferenz $\Delta\Phi = 0$ beträgt. <http://www.physik.uni-regensburg.de/studium/praktika/a2/download/versuch5a.pdf>

3 Durchführung

Um mit dem Lock-In-Verstärker vertraut zu werden, werden vor eigentlichem Versuchsbeginn nacheinander die beiden Ausgänge des Funktionengenerators an das bereitstehende Oszilloskop geschlossen. Durch ausprobieren kann festgestellt werden, welches das zu messende Signal bzw. das Referenzsignal ist. Die Amplitude des Referenzsignals kann im Gegensatz zum Messsignal verändert werden; außerdem besteht die Möglichkeit zwischen Rechteck- und Sinusspannung zu wählen.

Im ersten Versuchsteil soll die Funktionsweise des Gerätes bestätigt werden. Dazu wird die in Abbildung X gezeigte Schaltung aufgebaut. Danach werden Frequenz und Amplitude des Mess- und Referenzsignals eingestellt. Mit dem Phasenschieber werden 10 unterschiedliche Phasen eingestellt und die Werte der Ausgangsspannung notiert.

Dieser Vorgang wird anschließend mit verrauschtem Sinussignal wiederholt. Dazu wird der vorher überbrückte Noise-Generator zugeschaltet.

Die in Abbildung Y skizzierte Schaltung wird im zweiten Versuchsteil aufgebaut. Es soll die Intensität des Lichtes in Abhängigkeit vom Abstand gemessen werden. Die sich auf einer Metallschiene befindliche LED soll mit einer Frequenz von 300 Hz blinken, was mit einer Rechteckspannung gleicher Frequenz realisiert wird. Durch verschieben der LED auf der Metallschiene kann die Ausgangsspannung am Lock-In-Verstärker abgelesen werden

4 Auswertung

4.1 Verstärkung eines gestörten Signales

Die Amplitude bei Sinus-förmiger Wechselspannung ist an beiden Ausgängen 0 V. Die

Phase	Ausgangsspannung in V	
	ohne Störung	mit Störung
0°	−6,00	6,00
45°	−4,00	4,00
90°	0,20	−0,50
120°	2,62	−3,00
135°	4,25	−4,50
180°	5,81	−6,00
225°	3,95	−3,50
270°	0,20	0,50
315°	−4,17	4,50
360°	−5,83	5,50

Tabelle 1: Ausgangsspannung des gegebenen Signals.

Spannungen, die der den Tiefpass, das letzte Bauelement des Lock-In-Verstärkers, verlassen, sind in Tabelle 1 aufgetragen. Die angegebene Phase ist die eingestellte Phase des Phasenschiebers. Diese Spannungen werden in Diagramm 1 gegen die eingestellte Phase aufgetragen; es zeigt sich, dass die Beziehung (??) durch die Datenpunkte verifiziert wird, es aber zu einem festen Phasenversatz α von $\alpha = \pi$ kommt. Dieser Phasenversatz α ist bei dem Verfahren mit gestörtem Signal nicht existent. Das Diagramm 2 zeigt die Beziehung (??) deutlich.

4.2 Verstärkung des LED-Signales

Bei einem messbaren Signal geht die Ausgangsspannung auf Null zurück, wenn die LED abgedeckt wird. Bei einem Abstand von 1,20 m ist keine messbare Ausgangsspannung messbar, die angegebene Ausgangsspannung zeigt beim Abdecken der LED keine wesentliche Änderung.

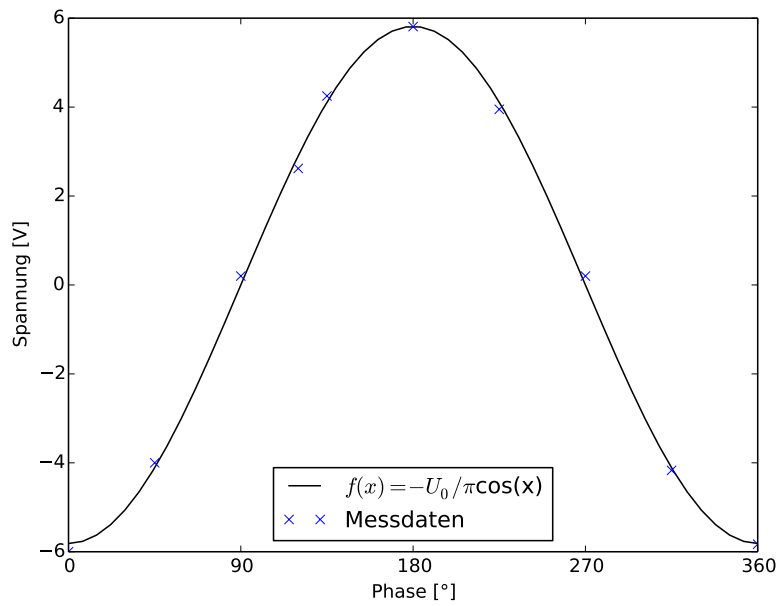


Abbildung 1: Ausgangsspannung des Lock-In-Verstärkers bei Sinus-förmigen Eingang mit $U = 0$ V und $f = 300$ Hz.

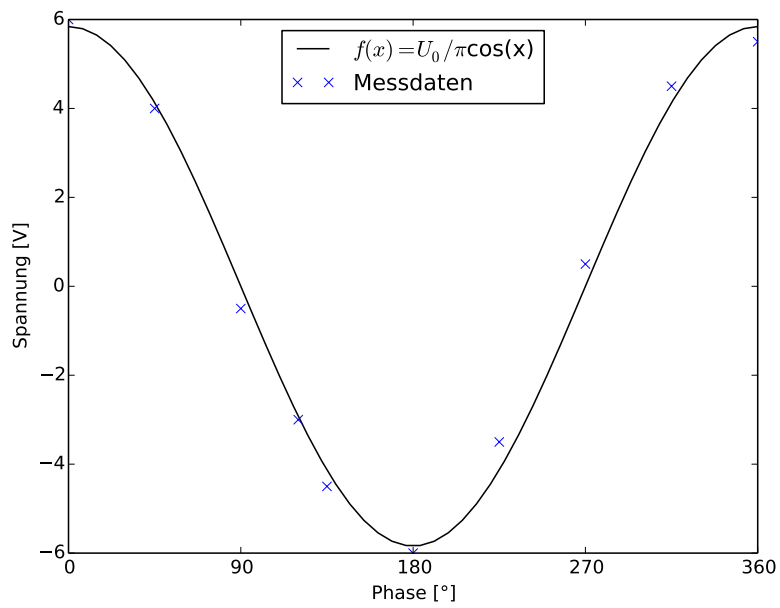


Abbildung 2: Ausgangsspannung des Lock-In-Verstärkers bei gestörtem Signal.

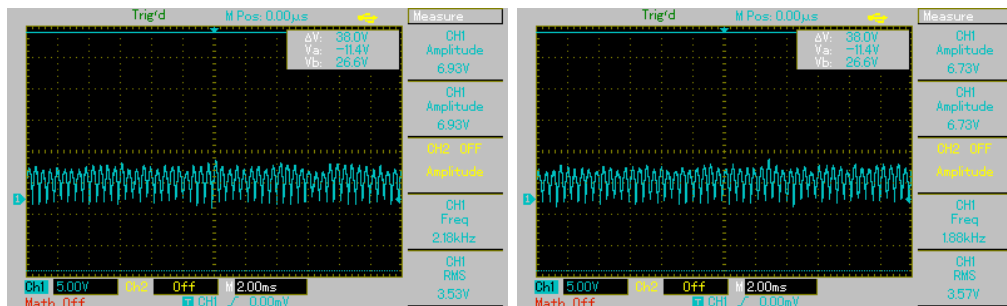


Abbildung 3: Das Signal mit Störungen zu zwei verschiedenen Zeiten.

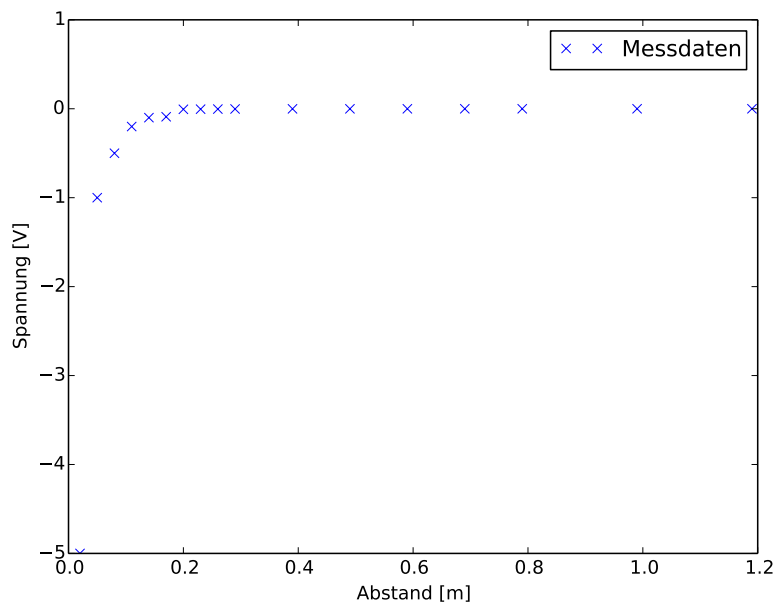


Abbildung 4: Ausgangsspannung des Lock-In-Verstärkers bei gestörtem Signal.

Abstand a /m	Ausgangsspannung V	Gesamt-Verstärkung	
		absolut	relativ
0.02	−5	400 · 5	1
0.05	−1	400 · 5	1
0.08	−0,5	400 · 5	1
0.11	−2	400 · 50	10
0.14	−1	400 · 50	10
0.17	−0,9	400 · 50	10
0.20	−6,0	400 · 500	100
0.23	−4,5	400 · 500	100
0.26	−3,5	400 · 500	100
0.29	−2,5	400 · 500	100
0.39	−1,0	400 · 500	100
0.49	−0,7	400 · 500	100
0.59	−0,5	400 · 500	100
0.69	−0,3	400 · 500	100
0.79	−0,25	400 · 500	100
0.99	−0,12	400 · 500	100
1.19	−0,1	400 · 500	100

Tabelle 2: Ausgangsspannung bei der Messung des LED-Lichtes.

5 Diskussion

Literatur

- [1] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. In: *Computing in Science and Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://link.aip.org/link/?CSX/9/90/1>. Version 1.3.1.
- [2] Eric Jones, Travis Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. 2001. URL: <http://www.scipy.org/>. Version 0.14.0.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>. Version 2.4.5.
- [4] Travis E. Oliphant. „Python for Scientific Computing“. In: *Computing in Science and Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://link.aip.org/link/?CSX/9/10/1>. Version 1.8.1.
- [5] The GIMP Team. *GIMP: GNU Image Manipulation Program*. URL: <http://www.gimp.org/>. Version 2.8.10.

Die verwendeten Plots wurden mit *matplotlib*[1] und die Grafiken mit *GIMP*[5] erstellt

sowie die Berechnungen mit Python-*Numpy*, [4], -*Scipy*[2] und -*uncertainties*[3] durchgeführt.