

## **Der Lock-In-Verstärker**

Maximilian Sackel  
Maximilian.sackel@gmx.de

Philip Schäfers  
phil.schaefers@gmail.com

Durchführung: 01.12.2015

Abgabe: 08.12.2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theoretische Grundlage</b>	<b>3</b>
1.1	Fehlerrechnung . . . . .	3
1.1.1	Mittelwert . . . . .	3
1.1.2	Gauß'sche Fehlerfortpflanzung . . . . .	3
1.1.3	Lineare Regression . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Durchführung und Aufbau</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>3</b>
3.1	Funktionengenerator . . . . .	3
3.2	Phasenabhängigkeit der Ausgangsspannung . . . . .	4
3.3	Phasenabhängigkeit der Ausgangsspannung unter Einfluss einer Störfrequenz	4
3.4	Signal-Abstandsreaktion einer LED . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>7</b>
	<b>Literatur</b>	<b>7</b>

# 1 Theoretische Grundlage

## 1.1 Fehlerrechnung

Sämtliche Fehlerrechnungen werden mit Hilfe von Python 3.4.3 durchgeführt.

### 1.1.1 Mittelwert

Der Mittelwert einer Messreihe  $x_1, \dots, x_n$  lässt sich durch die Formel

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \quad (1)$$

berechnen. Die Standardabweichung des Mittelwertes beträgt

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2} \quad (2)$$

### 1.1.2 Gauß'sche Fehlerfortpflanzung

Wenn  $x_1, \dots, x_n$  fehlerbehaftete Messgrößen im weiteren Verlauf benutzt werden, wird der neue Fehler  $\Delta f$  mit Hilfe der Gaußschen Fehlerfortpflanzung angegeben.

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_k} \right)^2 \cdot (\Delta x_k)^2} \quad (3)$$

### 1.1.3 Lineare Regression

Die Steigung und y-Achsenabschnitt einer Ausgleichsgeraden werden gegebenenfalls mittels Linearen Regression berechnet.

$$y = m \cdot x + b \quad (4)$$

$$m = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \quad (5)$$

$$b = \frac{\overline{x^2 y} - \bar{x} \overline{xy}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \quad (6)$$

[1]

## 2 Durchführung und Aufbau

## 3 Auswertung

### 3.1 Funktionengenerator

Zunächst wird das Signal des Funktionengenerators auf dem Oszilloskop ausgegeben. Dort wird die Frequenz der gewählten Sinusfunktion auf 1 kHz justiert und eine Spannung von

$52 \cdot 10^{-3}$  Volt gewählt. Anschließend wird der Aufbau wie in der Beschreibung beschrieben aufgebaut. Dabei werden die Filter der Frequenz entsprechend auf 1 Kiloherz angepasst und die Vorerstärkung am Low-Pass Amplifier auf 200 eingestellt. Der Noise Generator wird zunächst einmal überbrückt indem er auf off gestellt wird.

### 3.2 Phasenabhängigkeit der Ausgangsspannung

Ziel des Versuchsteils ist es die Abhängigkeit der Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  von der Phasendifferenz  $\phi$  der Eingangsspannung  $U_{\text{sig}}$  und der Referenzspannung  $U_{\text{ref}}$  genauer zu beobachten. Zunächst wird eine Art offset Messung der Phasenverschiebung der beiden Spannungen durchgeführt. Dafür wird der Phasenwinkel solange justiert bis ein Oszilloskopausschlag wie in Bild 1 erscheint, was einen Phasenwinkel von  $\phi = 0$  entspricht. Daran wird die Phasenskala für den weiteren Versuchsverlauf dran ausgerichtet. Mittels

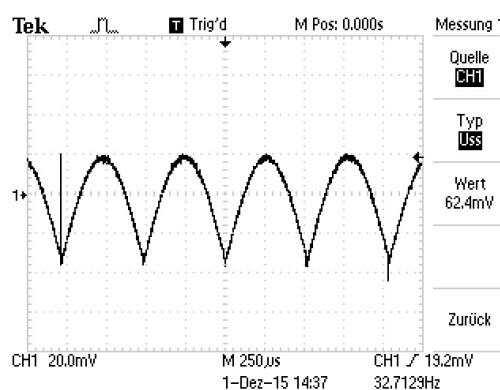


Abbildung 1:  $\phi = 0$ , offset Messung.

eines Tiefpasses wird die Spannung, durch den Innenwiderstand integriert und die zeitlich gemittelte Spannung auf einem Messgerät ausgegeben. Nach Berücksichtigung der Verstärkung ergibt sich nach Formel 7 für eine Phasenverschiebung von  $\phi = 0^\circ$  eine Spannung von

$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{52 \cdot 10^{-3} \text{ V}}{200} = 33.1 \cdot 10^{-3} \text{ V} \quad (7)$$

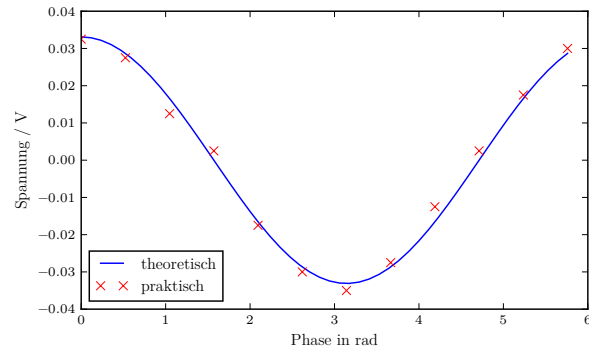
Nach Formel ?? werden die theoretischen und praktischen Spannungswerte ausgerechnet und in Tabelle ?? mit dem dazugehörigen Phasenwinkel aufgelistet. Abbildung 3 kann man entnehmen, dass die gemessene Spannung den theoretischen Erwartungswert qualitativ erfüllt.

### 3.3 Phasenabhängigkeit der Ausgangsspannung unter Einfluss einer Störfrequenz

Für diesen Versuchsteil wird der Noisegenerator eingeschaltet. Dieser mischt Störfrequenzen der gleichen Amplitude bei und erzeugt somit ein stark verrauschtes Signal. Der Bandpass filtert schon ein Großteil der Störfrequenzen raus. Nach dem Mischen mit der

$\phi$	$U_{\text{theoretisch}}/10^{-3} \cdot \text{V}$	$U_{\text{praktisch}}/10^{-3} \cdot \text{V}$
0	33.1	32.5
30	28.6	27.5
60	16.5	12.5
90	0.0	2.5
120	-16.5	-17.5
150	-28.6	-30.0
180	-33.1	-35.0
210	-28.6	-27.5
240	-16.5	-12.5
270	0.0	2.5
300	16.5	17.5
330	28.6	30.0

**Tabelle 1:**  $U_{\text{out}}$  bei verschiedenen Phasen.

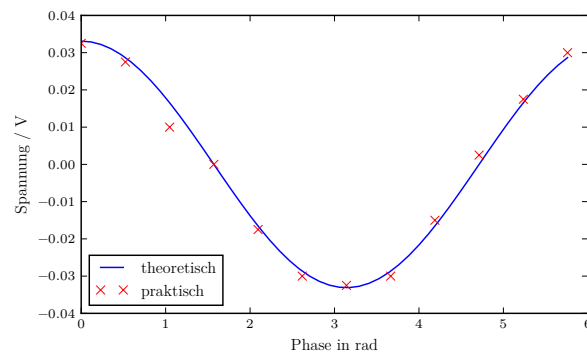


**Abbildung 2:** Spannungsverlauf

Referenzspannung und der anschließenden Integration durch den Tiefpass, ergibt sich wieder eine zeitlich Konstante Spannung, falls der Integrationszeitraum hinreichend groß gewählt wurde. Die des Aufbaus entnommene Messwerte werden analog zum vorherigen Aufgabenteil ausgewertet und die Spannungen werden in Tabelle 2 ausgegeben und in Grafik 3 gegen die Phasenverschiebung aufgetragen.

$\phi$	$U_{\text{theoretisch}}/10^{-3} \cdot \text{V}$	$U_{\text{praktisch}}/10^{-3} \cdot \text{V}$
0	33.1	32.5
30	28.6	27.5
60	16.5	10.0
90	0.0	0.0
120	-16.5	-17.5
150	-28.6	-30.0
180	-33.1	-35.0
210	-28.6	-30.0
240	-16.5	-15.0
270	0.0	2.5
300	16.5	17.5
330	28.6	30.0

**Tabelle 2:**  $U_{\text{out}}$  bei verschiedenen Phasen.



**Abbildung 3:** Spannungsverlauf

### 3.4 Signal-Abstandsreaktion einer LED

Aufgabe dieses Versuches ist die Signalstärke in Abhängigkeit des Abstandes zu messen. Der Lock-In-Verstärker dient dazu das durch die Umgebung verrauschte Signal zu filtern. Die LED wird mittels einer Rechteckspannung von 300 Hz betrieben. Durch justieren der Phasendifferenz soll die Spannung maximiert werden. Durch eine offset Messung, soll die

Spannung der Photodiode vernachlässigt werden. Sie beträgt

$$U_{offset} = \frac{-1}{1000} \text{ Volt} \quad (8)$$

Die gemessenen Spannungen, deren Verstärkung und der Abstand sind in Tabelle ?? aufgelistet. Dabei werden die Werte mit ihrer Verstärkung multipliziert und die Offsetspannung von den Werten abgezogen.

$$U_{\text{ber}} = \frac{U_{\text{out}}}{\text{Gain}} - \frac{U_0}{1000} \quad (9)$$

## 4 Diskussion

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch zum Literaturverzeichnis*. 2014.