

# ANFÄNGERPRAKTIKUM 2015/2016

## Versuch

Durchführung: TT.MM.JJ

Clara RITTMANN<sup>1</sup>  
Anja BECK<sup>2</sup>

*Betreuer:*  
Max MUSTERMANN

---

<sup>1</sup>clara.rittmann@gmail.com

<sup>2</sup>anja.beck@tu-dortmund.de

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Theorie</b>                           | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>Aufbau und Ablauf des Experiments</b> | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>Auswertung</b>                        | <b>5</b> |
| 3.1      | Statistische Formeln . . . . .           | 5        |
| 3.1.1    | Fehlerrechnung . . . . .                 | 5        |
| 3.1.2    | Regression . . . . .                     | 5        |
| <b>4</b> | <b>Diskussion</b>                        | <b>6</b> |

# 1 Theorie

Der Lock-In-Verstärker hilft beim Messen stark verrauschter Signale. Er besteht aus den Bauteilen: Bandpassfilter, Phasenverschieber, Signalmischer und ein Tiefpass, der als Integrierglied verwendet wird. Durch die richtige Anordnung der Bauteile kann eine Konfiguration erzielt werden, die eine viel höhere Güte hat als ein einfacher Bandpassfilter d.h. die Frequenzen werden genauer heraus gefiltert.

Das verrauschte Messsignal  $U_{sig}$  setzt sich aus vielen verschiedenen Schwingungen unterschiedlicher Frequenz zusammen. In einem Bandpassfilter werden die Anteile der Rauschfrequenz herausgenommen, die weit von der Frequenz des Signals abweichen.

Danach wird eine Rechteckspannung gleicher Frequenz als Referenzsignal  $U_{ref}$  erzeugt und mit dem Signal gemischt, genauer multipliziert. Das Rechtecksignal wird im Folgenden durch seine Fourierreihe dargestellt. Sind die beiden gemischten Signale

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

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

in Phase, so entsteht ein Signal:

$$U_{out} = \frac{2}{\pi} U_0 \left( 1 - \frac{2}{3} \cos(2\omega t) - \frac{2}{15} \cos(4\omega t) - \frac{2}{35} \cos(6\omega t) \right) \quad . \quad (3)$$

Über einen Tiefpass erhält man eine Gleichspannung mit der selben Spannung

$$U_{out} = \frac{2}{\pi} \quad . \quad (4)$$

Sind das Mess- und das Referenzsignal zueinander um den Winkel  $\phi$  phasenverschoben, wird die Gleichspannung geringer und errechnet sich nach:

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

## 2 Aufbau und Ablauf des Experiments

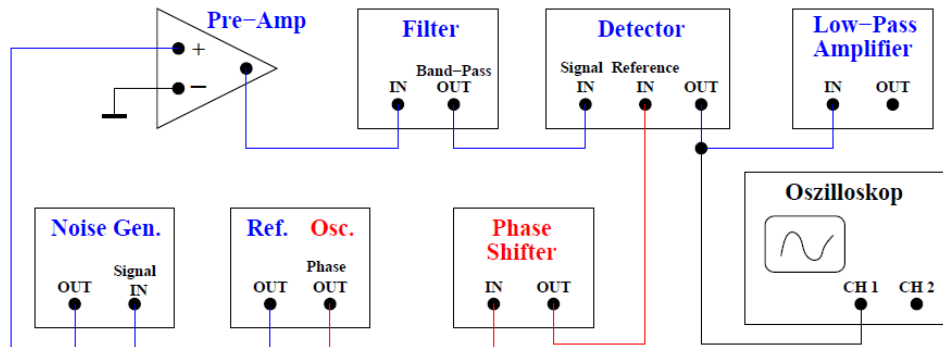


Abbildung 1: Aufbau des ersten und zweiten Versuchsteils

In Abbildung 1 ist ein schematischer Aufbau des Lock-In-Verstärkerts dargestellt.

Bevor der eigentliche Versuch startet, ist die erste Aufgabe die Ausgangssignale (Reference/Oscillator) abzugreifen und mit einem Oszilloskop zu untersuchen. Beide Signale haben die gleiche Frequenz, die 1 kHz gewählt wird. Das Referenzsignal hat eine unveränderliche Amplitude von 30 V. Die Amplitude des Ausgangssignals soll klein, möglichst auf 10 mV eingestellt werden.

In ersten Versuchsteil wird das reine Ausgangssignal ohne ein Rauschsignal betrachtet. Das Signal gelangt durch einen Verstärker in den Bandpass, um dann mit dem Referenzsignal vermischt zu werden (Detector). Die Phase des Referenzsignals kann vorher verschoben werden (Phase Shifter). Das Produkt beider Signale ist auf einem digitalen Oszilloskop zu sehen. Dieses Signal wird im Tiefpass integriert (Low-Pass-Filter), um  $U_0$  zu erhalten. Die Oszilloskopbilder und die Spannungswerte  $U_0$  werden für verschiedene Phasendifferenzen bestimmt.

Im zweiten Versuchsteil wird das Ausgangssignal von einem Rauschen überlagert (Noise Generator). Der restliche Aufbau bleibt unverändert und es werden ebenfalls Werte und Bilder für verschiedene Phasendifferenzen genommen.

Zum Schluss soll die Lichtintensität einer blinkenden LED in Abhängigkeit des Abstandes zum Messgerät, einer Photodiode, gemessen werden. Je weiter die Photodiode von der LED entfernt ist, desto größer ist das Hintergrundrauschen durch einfallendes Licht aus der Umgebung. Es soll der Abstand  $r_{\max}$  bestimmt werden, bei dem das Signal der LED nicht mehr erkennbar ist. Dazu wird der vorherige Aufbau leicht verändert, wie in Abbildung 2 gezeigt ist. Die LED wird an die Rechteckspannung angeschlossen. Das Referenzsignal wird mit dem Signal der LED mit Hilfe des Phasenverschiebers mit dem der LED in Phase gebracht. Das im Photodetektor registrierte Signal wird beliebig verstärkt (Pre-Amplifier).

<sup>0</sup>entnommen aus der Versuchsanleitung V303

<sup>1</sup>entnommen aus der Versuchsanleitung V303

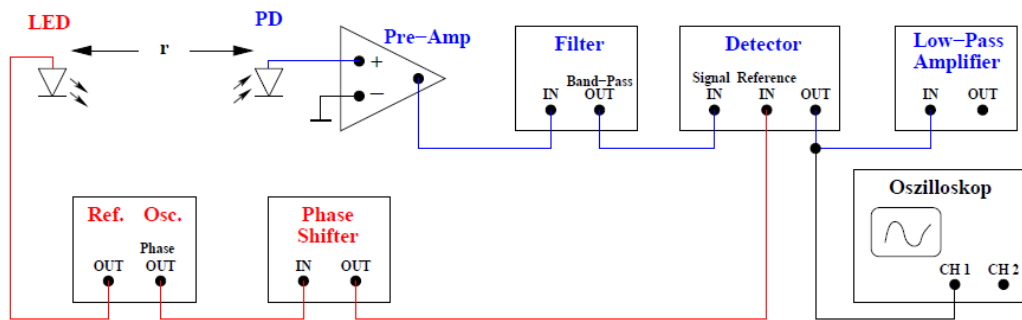


Abbildung 2: Messung der Lichtintensität einer LED<sup>1</sup>

## 3 Auswertung

### 3.1 Statistische Formeln

#### 3.1.1 Fehlerrechnung

Im folgenden wurden Mittelwerte von N Messungen der Größe  $x$  berechnet

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i , \quad (6)$$

sowie die Varianz

$$V(x) = \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

woraus die Standardabweichung folgt

$$\sigma_x = \sqrt{V(x)} . \quad (8)$$

Die Standardabweichung des Mittelwertes

$$\Delta_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} , \quad (9)$$

kürzer auch Fehler des Mittelwertes genannt, bezieht noch die Anzahl der Messungen mit ein.

#### 3.1.2 Regression

Nachfolgend wird eine lineare Regression für Wertepaare  $(x_i, y_i)$  durchgeführt. Dafür müssen die Steigung

$$m = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (10)$$

und der y-Achsenabschnitt

$$b = \frac{\sum x_i^2 \cdot \sum y_i - \sum x_i \cdot \sum x_i y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (11)$$

berechnet werden. Die jeweiligen Fehler sind

$$s_m^2 = s_y^2 \cdot \frac{n}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (12)$$

$$s_b^2 = s_y^2 \cdot \frac{\sum x_i^2}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} . \quad (13)$$

Die Abweichung der Regressionsgeraden in y-Richtung ist dabei

$$s_y^2 = \frac{\sum (\Delta y_i)^2}{n - 2} = \frac{\sum (y_i - b - m x_i)^2}{n - 2} . \quad (14)$$

## 4 Diskussion