

V401

## **Michelson Interferometer**

Tahir Kamcili  
tahir.kamcili@udo.edu

Marina Andreß  
marina.andress@udo.edu

Durchführung: 20.04.2021

Abgabe: 27.04.2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
2.1	Prinzipielle Funktionsweise . . . . .	5
2.2	LED - Photodiode . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>8</b>
	<b>Literatur</b>	<b>8</b>

## Zielsetzung

In diesem Versuch ist das Ziel die Funktionsweise eines Lock-In Verstärkers zu untersuchen und verstehen.

## 1 Theorie

Im Allgemeinen ist ein Lock-In Verstärker aus einem Bandpassfilter, einem Phasenverschieber, einem Mischer und einem Tiefpassfilter. Der schematische Aufbau ist in der Abbildung 1 dargestellt.

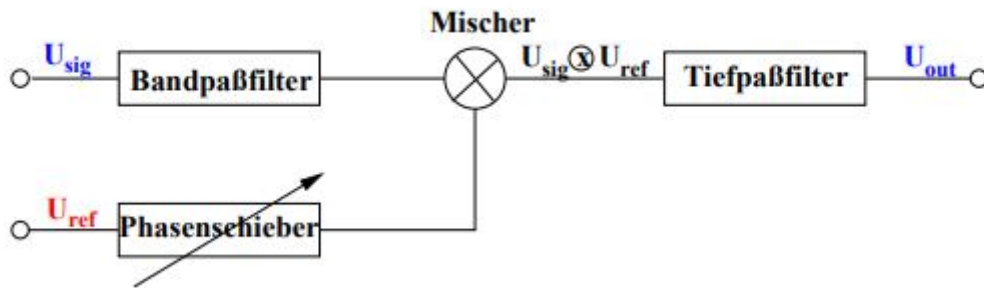


Abbildung 1: Aufbau eines Lock-In-Verstärkers [5]

Der Bandpassfilter filtert stark hoch- und niederfrequente Frequenzen des Nutzsignals  $U_{\text{sig}}$  raus. Mithilfe des Phasenverschiebers ist es möglich, wie es der Name schon suggeriert, die Phase des Referenzsignals  $U_{\text{ref}}$  zum Nutzsignals  $U_{\text{sig}}$  zu verschieben. Im Mischer werden die beiden Signale miteinander multipliziert. Hinter dem Mischer ist ein Tiefpass ( $\tau = RC \gg 1/\omega_0$ ) verschaltet, der das Mischsignal  $U_{\text{sig}} \times U_{\text{ref}}$  integriert. Durch solch einen Aufbau sind Güten in der Größenordnung  $Q = 10^6$  erreichbar, während eine reine Bandpass-Schaltung nur Güten in einem Bereich von  $Q = 10^3$  erreicht.

Das Referenzsignal  $U_{\text{ref}}$  ist im Allgemeinen eine Rechteckspannung und kann durch eine Fourier-Reihe Form

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

und das Nutzsignal kann als Sinusspannung der Form

$$U_{\text{sig}} = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2)$$

genähert werden. Daraus ergibt sich die Multiplikation zu der Form

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

Durch den Tiefpassfilter werden die Oberwellen des Signals, welches durch die Vermischung entstanden ist, rausgefiltert. Somit ist das Ausgangssignal proportional zur Nutzspannung.

Dies wird beschrieben durch

$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \cdot \cos(\phi), \quad (4)$$

wobei  $\phi$  die Phasendifferenz zwischen den beiden Signalen beschreibt. Die Ausgangsspannung wird also für eine Phase von  $\phi = 0$  maximal.

## 2 Durchführung

In diesem Teil wird die Durchführung des Versuchs beschrieben.

### 2.1 Prinzipielle Funktionsweise

Zunächst wird der prinzipielle Aufbau eines Lock-In Verstärkers auf zwei Arten untersucht. Zum einen durch ein Nutzsignal welches von einem Sinusgenerator kommt und einmal ein Nutzsignal welches Störungen besitzt. Der schematische Aufbau der Apparatur ist in der Abbildung 2 dargestellt. Bei beiden Signalen ist das Vorgehen der Untersuchung identisch.

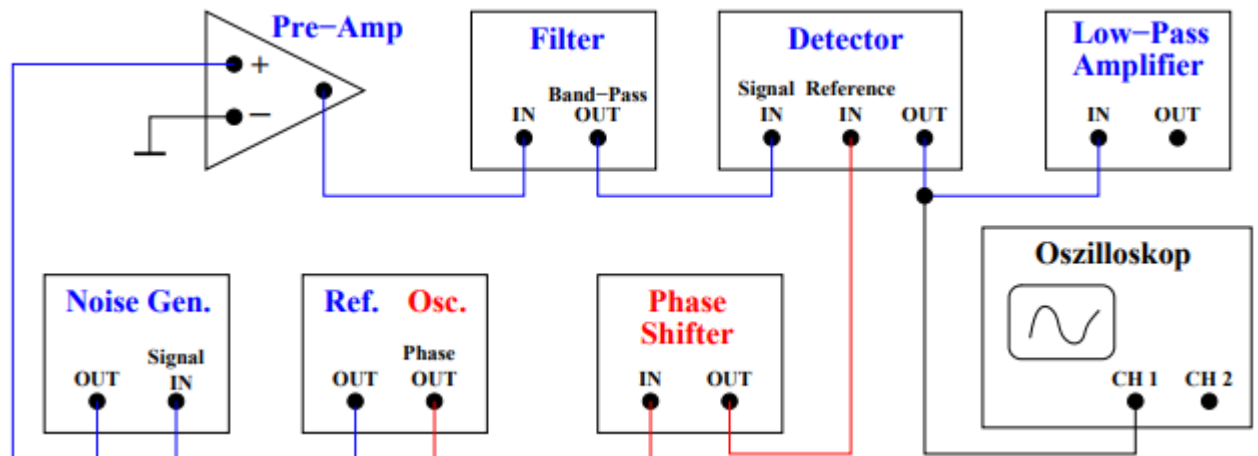


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Versuches [5]

Zur Untersuchung wird ein Oszilloskop an den Mischer angeschlossen und das Mischsignal wird betrachtet. Dazu wird das Mischsignal bei mindestens 10 verschiedenen Phasendifferenzen aufgenommen und auf einem Stick gespeichert.

## 2.2 LED - Photodiode

Zusätzlich zur normalen Untersuchung des Mischsignals wird über eine Photodetektorschaltung das Signal der Photodiode in Abhängigkeit des Abstands zwischen LED und Photodiode untersucht. Der neue Aufbau ist in der Abbildung 3 abgebildet.

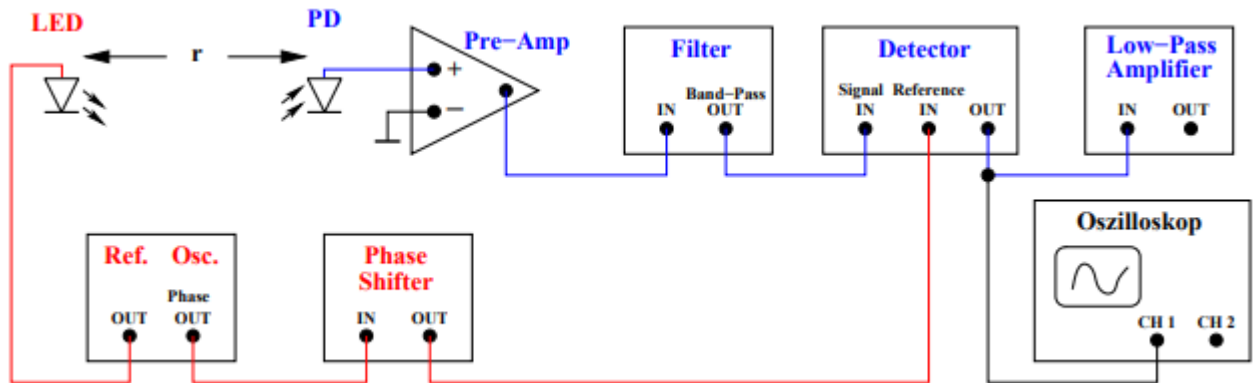


Abbildung 3: Aufbau der Photodetektorschaltung [5]

### 3 Auswertung

Die Wellenlänge  $\lambda$  kann mit der Formel (??) berechnet werden, wobei die Hebelübersetzung mit  $\ddot{U} = 5,046$  berücksichtigt werden muss. Somit ergibt sich die Formel zu

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{N\ddot{U}}. \quad (5)$$

Die aufgenommenen Messwerte und die daraus nach (5) berechneten Wellenlängen des Lasers sind in Tabelle (1) aufgeführt.

**Tabelle 1:** Messwerte und die berechneten Wellenlängen

$\Delta d / \text{mm}$	N	$\lambda / \text{nm}$
4.835	2743	698.639
5.060	3149	636.884
4.550	2855	631.667
5.005	3170	625.788
4.950	3134	626.021
4.955	3136	626.254
5.000	3133	632.546
5.010	3169	626.611
5.000	3149	629.332
5.000	3166	625.953

Daraus ergibt sich der Mittelwert und die Standardabweichung der Wellenlänge

$$\lambda = (635.9698 \pm 22.3299)\text{nm}.$$

Der Brechungsindex von Luft kann nach Gleichung (??) berechnet werden. Es gilt:

$$p_0 = 1.0132\text{bar}$$

$$T_0 = 273.15\text{K}$$

$$T = 293.15\text{K}$$

$$b = 50\text{mm}$$

Die aufgenommenen Messwerte und die daraus nach (??) berechneten Brechungsindizes von Luft sind in Tabelle (2) aufgeführt.

**Tabelle 2:** Messwerte und die berechneten Brechungsindizes

$\Delta p$ / torr	N	n
610	27	1.000229
610	36	1.000306
610	17	1.000145
610	35	1.000298
610	18	1.000153
610	34	1.000289
610	18	1.000153
600	33	1.000285

Daraus ergibt sich der Mittelwert und die Standardabweichung des Brechungsindex

$$n = 1.000232 \pm 0.000072.$$

## 4 Diskussion

Während der Durchführung des Versuchs sind einige Fehlerquellen aufgefallen, die die Ergebnisse beeinflussen.

Die Zählrate N steigt schon bei kleinen Erschütterungen am Tisch stark an, sodass praktisch mehr Zählraten gemessen wurden. Dies fiel beim Erzeugen des Vakuums auf, da der Aufbau durch die Pumpe und den Schlauch leicht gewackelt hat.

Ein weiterer beeinflussender Faktor ist die Ungenauigkeit beim Ablesen von Messgrößen wie dem Wegunterschied  $\Delta d$  von der Nanometerschraube und dem Druckunterschied  $\Delta p$ , wo die Anzeigenadel der Pumpe immer relativ schnell ausgeschlagen hat.

Der berechnete Mittelwert der Wellenlänge des Lasers  $\lambda = 635.9698$  nm liegt mit einem relativen Fehler von  $\Delta_{\text{rel}}\lambda = 0.27\%$  nah an dem tatsächlichen Wert von  $\lambda_{\text{lit}} = 635$  nm.

Der berechnete Mittelwert des Brechungsindex von Luft  $n = 1.000232$  liegt mit einem relativen Fehler von  $\Delta_{\text{rel}}n = 0.006\%$  ebenfalls sehr nah am Literaturwert  $n_{\text{lit}} = 1.000292$ . Dabei liegen beide Literaturwerte jeweils im Bereich der Standardabweichung.

## 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] 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/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.



- [4] 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/>.
- [5] *Versuchsanleitung zu Versuch V303 Der Lock-In-Verstärker*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2021.