

1 Einleitung

Dieser Versuch verdeutlicht die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers. Der Verstärker zeichnet sich durch einen integrierten Phasenempfindlichen Detektor aus. Er ist somit in der Lage, stark verrauschte Signale mit großen Güten zu filtern.

2 Theorie

Der Lock-In-Verstärker ist aus vier grundlegenden Bauteilen aufgebaut. Ein Bandpaßfilter dient als Vorfilter. Ein Mischer multipliziert das gefilterte Signal mit einem Referenzsignal, das durch einen Phasenschieber mit dem Eingangssignal in Phase gebracht werden kann. Ein Tiefpaßfilter dient schließlich als Integrierglied und glättet das Signal. Hiernach gilt für das Ausgangssignal:

$$U_{out} \propto U_0 \cos \phi \quad (1)$$

Für diesen Versuch wird als Eingangssignal ein Signal U_0 mit bekannter Frequenz ω_0 benutzt und mit einem Rauschen versehen. Der Bandpaßfilter filtert alle Frequenzen $\omega \ll \omega_0$ und $\omega \gg \omega_0$ heraus. Danach wird U_0 mit einem Referenzsignal U_{ref} mit konstanter Amplitude und der Frequenz $\omega_0 + \phi$ multipliziert (ϕ ist die Phasendifferenz zwischen U_0 und U_{ref}). Diese Frequenz kann durch den Phasenschieber mit U_0 synchronisiert werden ($\phi = 0$). Das so variierte Signal kann nun durch den Tiefpaß integriert werden, wobei $\tau = RC \gg 1/\omega_0$ gilt. Durch diese Integration wird das Signal geglättet, sodass die Identität 1 erfüllt ist. Damit lässt sich die Güte eines einfachen Bandpaßfilters von $Q = 1\,000$ auf bis zu $Q = 100\,000$ verbessern.

Skizze Versuchsaufbau

Folgendes Beispiel dient der Veranschaulichung. Es wird das Eingangssignal

$$U_{sig} = U_0 \sin(\omega t)$$

betrachtet. Wie oben beschrieben, wird dies nun mit einer Rechteckspannung als Referenzsignal multipliziert:

$$\begin{aligned} U_{ref} &= \frac{4}{\pi} \left(\sin(\omega t + \phi) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t + \phi) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t + \phi) + \dots \right) \\ U_{sig} \times U_{ref} &= \frac{2}{\pi} U_0 \left(1 - \frac{2}{3} \cos(2\omega t + \phi) + \frac{2}{15} \cos(4\omega t + \phi) + \frac{2}{35} \cos(6\omega t + \phi) + \dots \right) \end{aligned}$$

Nach der Integration durch den Tiefpaßfilter fallen alle \cos - Anteile weg und wir erhalten eine zur Signalspannung proportionale Gleichspannung:

Man sieht, dass die Ausgangsspannung maximal wird, wenn Signal und Referenz in Phase sind.

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

Man sieht, dass die Ausgangsspannung maximal wird, wenn Signal und Referenz in Phase sind.

3 Aufbau und Durchführung

Für diesen Versuch stand ein modular aufgebauter Lock-In-Verstärker und ein Oszilloskop zur Verfügung. Der Verstärker beinhaltet folgende unabhängige Module:

- Vorverstärker
- Filter (Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß)
- Amplituden-/Lock-In-Detektor
- Tiefpaß Verstärker (Integrierglied)
- Rauschgenerator
- Phasenschieber
- Funktionsgenerator (Oszillator)

Skizze (Aufbau Lock-In-Verstärker)

3.1 Messaufgaben

1. Messen des Ausgangssignals nach jedem Modul
2. Messen des Ausgangssignals nach dem Detektor ohne Rauschen mit verschiedenen Phasen
3. Messen des Ausgangssignals nach dem Integrierglied ohne Rauschen mit verschiedenen Phasen
4. Messen des Ausgangssignals nach dem Detektor mit Rauschen mit verschiedenen Phasen
5. Messen des Ausgangssignals nach dem Integrierglied mit Rauschen mit verschiedenen Phasen
6. Messen des Ausgangssignals mit verschiedenen Abständen der LED zum Photodetektor

3.2 Durchführung

Zunächst wurden die Module schrittweise in die Schaltung eingebunden. Nach jeder neuen Konfiguration wurde das Ausgangssignal am Oszilloskop ausgegeben und gespeichert, um den Einfluss der einzelnen Module zu veranschaulichen (Aufgabe 1).

Hiernach wurden verschiedene Phasendifferenzen eingestellt und hinter dem Detektor gemessen. Dabei wurde der Rauschgenerator zunächst überbrückt (Aufgabe 2). Dies wurde hinter dem Integrierglied wiederholt (Aufgabe 3).

Im nächsten Schritt wurde ein Rauschen in der Größenordnung der Signalspannung hinzugefügt und die Messungen wiederholt (Aufgabe 4, Aufgabe 5).

Anschließend wurde der Rauschgenerator durch eine LED und eine Photozelle(PD) ersetzt. Die Signalfrequenz sollte auf 50 Hz – 500 Hz eingestellt werden. Zusätzlich wird die Signalspannung am Schalter von Sinus auf Rechtecksspannung umgestellt. Während der Messungen wurde der Abstand zwischen LED und PD vergrößert und so der Maximale Abstand ermittelt, bei dem das Licht noch nachgewiesen werden konnte (Aufgabe 6).

4 Auswertung

4.1 Module des Verstärkers

Die in 3 aufgeführten Module des Verstärkers werden im Folgenden erläutert. Durch das stückweise Hinzuschalten konnte der Einfluss auf das Eingangssignal beobachtet werden.

4.1.1 Funktionsgenerator (Oszilloskop)

Hier wird das Signal für unseren Versuch generiert. Der Funktionsgenerator kann eine Sinus- oder Rechtecksspannung im Bereich von 3 Hz bis 3 kHz ausgeben. Das Modul besitzt zudem zwei Ausgänge. Der erste Ausgang liefert das zu messende Signal. Hier kann die Spannung von 1 V bis 10 V variiert und mit dem Faktor $\frac{1}{100}$ multipliziert werden. Der Zweite Ausgang liefert die Referenzsspannung, mit der das Signal im Detektor gemischt wird. Die Amplitude betrug bei unserem Gerät konstante $(23,2 \pm 0,5)$ V. Ausserdem gibt der zweite Ausgang lediglich eine Sinusspannung aus.

Für die Messungen 2 bis 4 haben wir eine Sinuspaannung von 1 V und eine Frequenz von 1 kHz eingestellt. Die Messung 5 wurde mit einer Rechtecksspannung durchgeführt.

4.1.2 Rauschgenerator

Das Signal aus dem Funktionsgenerator kann hier mit einem Rauschen belegt werden. Die Amplitude lässt sich zwischen 10^{-5} V und 1 V einstellen. Für die Messungen 2 und 3 wurde der Rauschgenerator überbrückt. Die weiteren Messungen wurde mit einem Rauschen von 10^{-1} V durchgeführt.

4.1.3 Vorverstärker

Die Amplitude des Eingangssignales wird hier verstärkt. Es können Verstärkungen von 1 bis $e3$ eingestellt werden. In unseren Messreihen wurde dauerhaft die Verstärkung 2 verwendet.

4.1.4 Filter

Hier wird das Signal aus dem Vorverstärker gefiltert. Es stehen Tiefpaß-, Hochpaß- und Bandpaßfilter zur Verfügung. Wir nutzten ausschließlich den Bandpaßfilter. Durch Kombination eines Tiefpaß- und Hochpaßglied werden alle Frequenzen $\omega \gg \omega_0$ und $\omega \ll \omega_0$ aus dem Signal eliminiert. ω_0 kann hierbei im Frequenzspektrum des Funktionsgenerators (von 3 Hz bis 3 kHz) gewählt werden. Alle Frequenzen, die sich also stark von ω_0 unterscheiden werden hier also gefiltert. Das Rauschen, welches wir in den Messungen 4 und 5 auf das Signal gelegt haben kann hierdurch stark reduziert werden.

4.1.5 Phasenschieber

Das Referenzsignal kann hier um einen Winkel 0 bis π verschoben werden. Dadurch kann das Eingangssignal U_0 mit dem Referenzsignal U_{ref} in Phase gebracht werden, damit es im Mischer Gleichgerichtet wird.

4.1.6 Mischer (Lock-In-Detektor)

Der Mischer multipliziert das zu Messende Signal U_0 mit dem Referenzsignal U_{ref} des Funktionsgenerators. Wenn beide Signale in Phase sind wird U_0 dadurch gleichgerichtet (siehe 2).

4.1.7 Integrierglied (Tiefpaß-Verstärker)

Das letzte Modul in der Schaltung integriert das Signal aus dem Detektor über mehrere Perioden. Hierdurch erhalten wir ein Signal $U_{out} \propto U_0$, wie in ?? erläutert wurde.

4.2 LED-PD Schaltung

Der letzte Versuchsaufbau lieferte ein echtverraushtes Signal. Die LED wurde in verschiedenen Abständen zu einem Photodetektor aufgebaut und mit einer Rechteckspannung gespeist. Durch das weiße Umgebungslicht im Versuchsraum erreichte das Signal der LED den PD nur sehr verrauscht. Das Signal des PD wurde vom den Lock-In-Verstärker detektiert. Wir erwarteten eine Abnahme des Signals im Verhältnis $\frac{1}{r^2}$ mit dem Abstand r zwischen LED und PD. Die LED wurde mit einer Frequenz von 125,25 Hz betrieben. Die Messung ergab folgende Daten:

Messdaten

Trägt man die Daten auf einen Graphen, lässt sich das erwartete Verhalten leicht erkennen:
Graph

5 Diskussion