

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:

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

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:

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

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

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

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

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 dem Detektor ohne Rauschen mit verschiedenen Phasen
2. Messen des Ausgangssignals nach dem Integrierglied ohne Rauschen mit verschiedenen Phasen
3. Messen des Ausgangssignals nach dem Detektor mit Rauschen mit verschiedenen Phasen
4. Messen des Ausgangssignals nach dem Integrierglied mit Rauschen mit verschiedenen Phasen

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. Dies wurde hinter dem Integrierglied wiederholt.

Im nächsten Schritt