Lock-In-Verstärker

Funktion und Aufbau

Ein Lock-In-Verstärker ist ein in der Signaltechnik verwandtes Gerät, um stark verrauschte Signale wieder nutzbar zu machen. Durch mehrere hintereinander geschaltete Steuereinheiten lässt sich der Verstärker individuell auf jedes Signal einstellen und erzeugt dadurch Signalgüten, die im Vergleich zu einem einfachen Bandpass, um bis zu einen Faktor von 100 besser sind.

Der Bandpass ist zwar ein wichtiges, nicht jedoch das zentrale Element des Lock-In-Verstärkers. Zunächst wird das Testsignal im Preamplifier verstärkt. Der Bandfilter, welcher intern aus einem Hoch- und einem Tiefpass besteht, filtert nun alle Frequenzen ober- und unterhalb einer frei wählbaren Frequenz [omega\_Null] heraus. [omega\_Null] ist hierbei die Frequenz, die das zu messende Signal hat. Mit dem Lock-In-Verstärker kann man also immer nur ein kleines Frequenzspektrum zur gleichen Zeit filtern. Er eignet sich somit nicht für z.B. verrauschte oder zerkratzte Tonbandaufnahmen, wohl aber für die Amplitudenmessung eines Signals, welches immer mit der gleichen Frequenz gesandt wird, aber dessen Übertragung gestört wird (siehe Versuch mit der Photozelle).

Das vorgefilterte Testsignal wird nun mit einem zweiten Signal moduliert (d.h.: die Amplituden werden multipliziert). Das hierzu verwandte Referenzsignal ist typischerweise eine Sinus- bzw. Rechteckspannung mit der gleichen Frequenz [omega\_Null] wie das Testsignal. Zu beachten ist hierbei, dass beide Signale miteinander synchronisiert werden müssen, d.h.: [ Phasenverschiebung delta\_phi=0]. Dies kann über den eingebauten Phasenverschieber geschehen.

Das Prinzip hinter der Modulierung ist die sogenannte Faltung. Hierbei werden zwei ähnliche Funktionen so zu einer dritten Funktion miteinander verrechnet, dass diese wie eine Mischung aus beiden aussieht. Im Falle des Lock-In-Verstärkers bedeutet dies insbesondere, dass alle Störungen, die das Testsignal mit sich führt, aber die im Referenzsignal nicht vorhanden sind, deutlich abgemildert werden.

Schlussendlich läuft das gefilterte und modulierte Signal durch ein Integrierglied, welches das noch leicht verrauschte Wechselstromsignal in einen nahezu konstanten Gleichstrom umwandelt. Durch das Integrieren über mehrere Perioden werden selbst Störungen, die ebenfalls die Frequenz [omega\_Null] haben, über die Zeit gemittelt und abgeschwächt. Die Zeitkonstante [Tau =] des Tiefpasses kann dabei so verändert werden, dass der Gleichstrom (Kreuzkorrelation) ein Restrauschen bzw. eine Genauigkeit der gewünschten Größenordnung hat.

Wurden die beiden Signale vorher nicht synchronisiert, so ist die Kreuzkorrelation des Signals Null und der Lock-In-Verstärker gibt kein Signal aus.

Der Ausgangstrom ist dabei direkt proportional zum unverrauschten Testsignal, wodurch dessen Amplitude qualitativ äußerst genau bestimmt werden kann.

Versuchsdurchführung:

Mit der oben beschriebenen Vorgehensweise soll ein Signal von Störungen befreit werden. Das Signal wird vom Lock-In-Verstärker selbst erzeugt und mit einem Störsignal des eingebauten Noise-Generators gemischt. Im Idealfall sollte der nach dem Filtern ausgegebene Gleichstrom beim verrauschten Signal genau die gleiche Proportionalität aufweisen wie beim unverrauschten. Mit den zahlreichen Einstellungsmöglichkeiten soll dabei die bestmögliche Filterung gefunden werden. Ziel des Versuchs ist es insbesondere, die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers genauer kennen zu lernen. Indem erst nach und nach weitere Filter angeschlossen werden und das Oszilloskop immer ein Bauteil weiter angeschlossen wird, lassen sich die Effekte der Filter sehr gut nachvollziehen. Auf diese Weise verfährt man sowohl mit dem gestörten, als auch mit dem ungestörten Signal und die erzeugten Graphen werden ausgedruckt.

Im zweiten Versuch werden anstelle des Noise-Generators eine LED und eine Photozelle dazwischen geschaltet. Die nun angelegte Rechteckspannung lässt die LED mit einer festen Frequenz zwischen 50 und 500 Hz blinken und die Photozelle wandelt das aufgefangene Licht wieder in ein elektrisches Signal um. Da die Zelle beweglich auf einer Schiene befestigt ist, lässt sich der Abstand zwischen beiden Bauteilen vergrößern. Das empfangene Signal ist aufgrund von bauteilbedingten Verlusten und bei immer größer werdenden Abständen zunehmend durch das Umgebungslicht verrauscht. Mit Hilfe des Lock-In-Verstärkers soll es dann vom Rauschen befreit und seine Amplitude bei unterschiedlichen Abständen qualitativ gemessen werden. Es gilt zu untersuchen, ob sich so eine 1/R² Abhängigkeit feststellen lässt, welche aufgrund des Raumwinkels zu erwarten wäre.