

**Der Lock-In-Verstärker
mit digitaler Signalverarbeitung
programmiert in LabVIEW 8.0**

Therese Schnitzler, Duisburg (2006)

1. Der Lock-In-Verstärker mit digitaler Signalverarbeitung programmiert in LabVIEW

1.1 Versuchsaufbau

In dem Versuch 1.2. „Lock-In-Messtechnik mit digitaler Signalverarbeitung“ werden folgende Geräte benutzt: eine Glühlampe mit Netzgerät als Lichtquelle, ein Light Chopper (auch periodischer „Lichtzerhacker“ genannt), ein Hohlspiegel, ein pyroelektrischer Photodetektor mit Netzgerät, ein PC mit PC-Interface-Karte NI-Karte PCI 6221 (M-Serie) und der Entwicklungsumgebung LabVIEW 8.0. und mehrere BNC-Kabel. Die PC-Interface-Karte eignet sich zur hochfrequenten (bis zu 250kHz), synchronisierten Ein- und Ausgabe mehrerer Signale zur Echtzeit-Emulation eines Lock-In-Verstärkers. Hierzu besitzt die Karte 16 Analog-Eingänge, 2 Analog-Ausgänge sowie 24 digitale Ein- bzw. Ausgänge. Der Versuchsaufbau wird in Abbildung 1.1 gezeigt. Das Referenzsignal des Choppers wird als TTL-Signal an der Anschlussbox am Eingang PFI0/AIStart mit einem BNC-Kabel angeschlossen. Als Lichtquelle dient eine Glühlampe, die mit dem Chopper auf einer optischen Bank befindet. Das durch den Chopper periodisch unterbrochene Lichtsignal fällt auf einen Hohlspiegel, dessen Brennweite $f = 160\text{mm}$ beträgt. Durch diesen Spiegel wird das Lichtbündel auf den Detektor fokussiert. Hohlspiegel und Detektor sind ebenfalls auf einer optischen Bank befestigt. Das BNC-Kabel des Detektors ist am Eingang AI7 der Anschlussbox angeschlossen. Die Karte PCI6221 dient der Digitalisierung der Signale, so dass die Daten mit dem im PC emulierten Lock-In-Verstärker die Daten ausgewertet werden können.

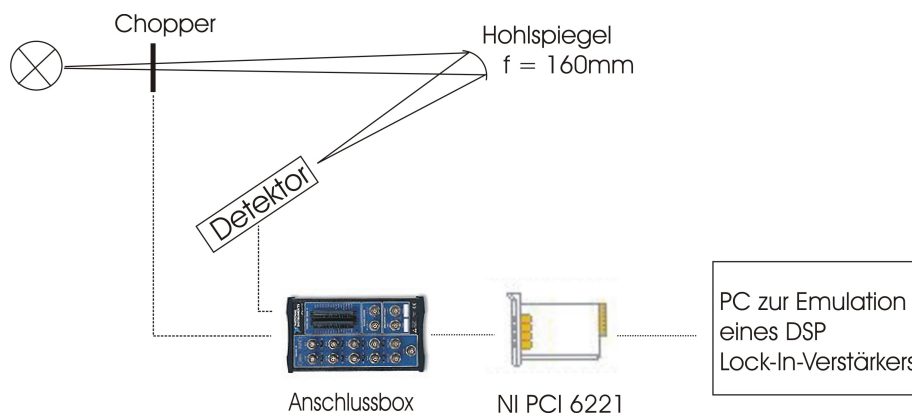


Abb. 1.1: Der Versuchsaufbau

1.2 Das Programm

Die Benutzeroberfläche des Programms ist zum jetzigen Zeitpunkt folgendermassen aufgebaut:

Die linke Spalte beinhaltet alle Schalter und Darstellungen, die die Eingänge (Detektorsignal und Referenzsignal) des Lock-In-Verstärker betreffen. In Abbildung 1.2 sind die graphischen Darstellung von Detektorsignal und Referenzsignal, Eingangsverstärkung und die Einstellungsmöglichkeiten der Frequenz. Mit der Eingangsverstärkung ist es möglich, dass Detektorsignal zu vergrößern, was insbesondere bei der Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses wichtig ist. Die Referenzfrequenz kann intern oder extern benutzt werden, wobei der Schalter *Frequenzfaktor* die externe Frequenz vervielfacht, und der Schalter *Frequenz(Hz)* lediglich betätigt werden kann, wenn die interne Betriebsart aktiv ist.

In der mittleren Spalte ist es möglich über drei Schalter die Phase einzustellen. Mittels des Drehknopfes können Winkel zwischen 0° und 90° eingestellt werden, während die beiden Druckschalter lediglich zwei Einstellungen besitzen, nämlich 0° oder 90° bzw. 0° oder 180° . Ebenfalls befindet sich in der mittleren Spalte ein Knopf mit dem Namen *Graphische Darstellung nach Signalmultiplikation*, der bei Aktivierung ein weiteres Frontpanel öffnet, auf dem die Multiplikationen sichtbar sind.

Die rechte Spalte der Benutzeroberfläche enthält alle Anzeigen und Einstellungen, die die Ausgangssignale betreffen. So zum Beispiel die numerische Ausgabe der Phasendifferenz zwischen Mess- und Referenzsignal, die Ausgangssignale X , Y und das phasenkorrigierte Ausgangssignal sowie Integrationszeit und Ausgangsverstärkung. Der Schalter *Graphische Anzeige Lock-In-Ausgang* hat eine ähnliche Funktionsweise wie der Schalter *Graphische Darstellung nach Signalmultiplikation*, nur dass hier die Ausgangssignale X und R (das phasenkorrigierte Signal) graphisch dargestellt sind.

Das Blockdiagramm des programmierten Lock-In-Verstärkers ist in Abbildung 1.3 dargestellt.

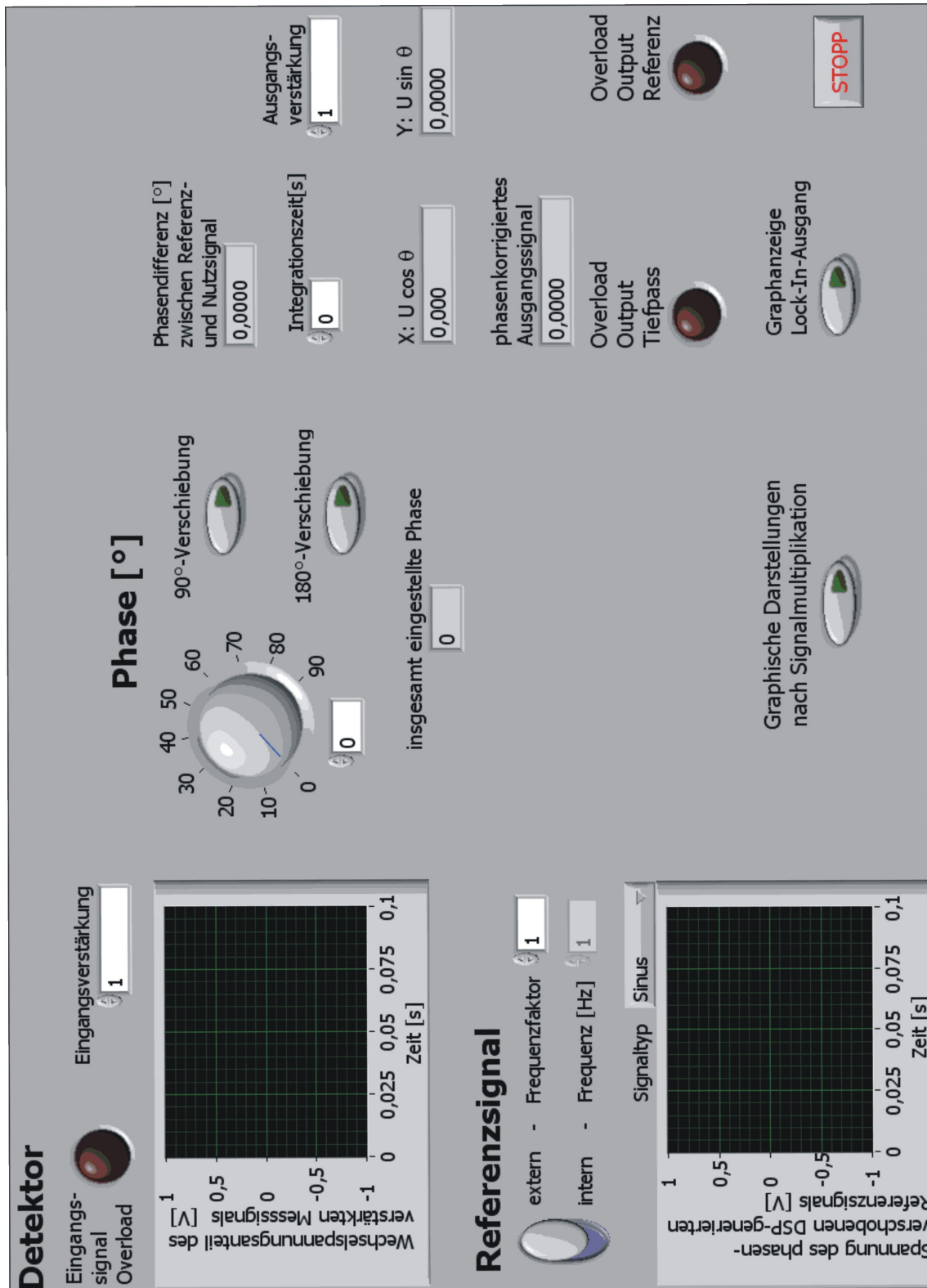


Abb. 1.2: Die Benutzeroberfläche des Programms.

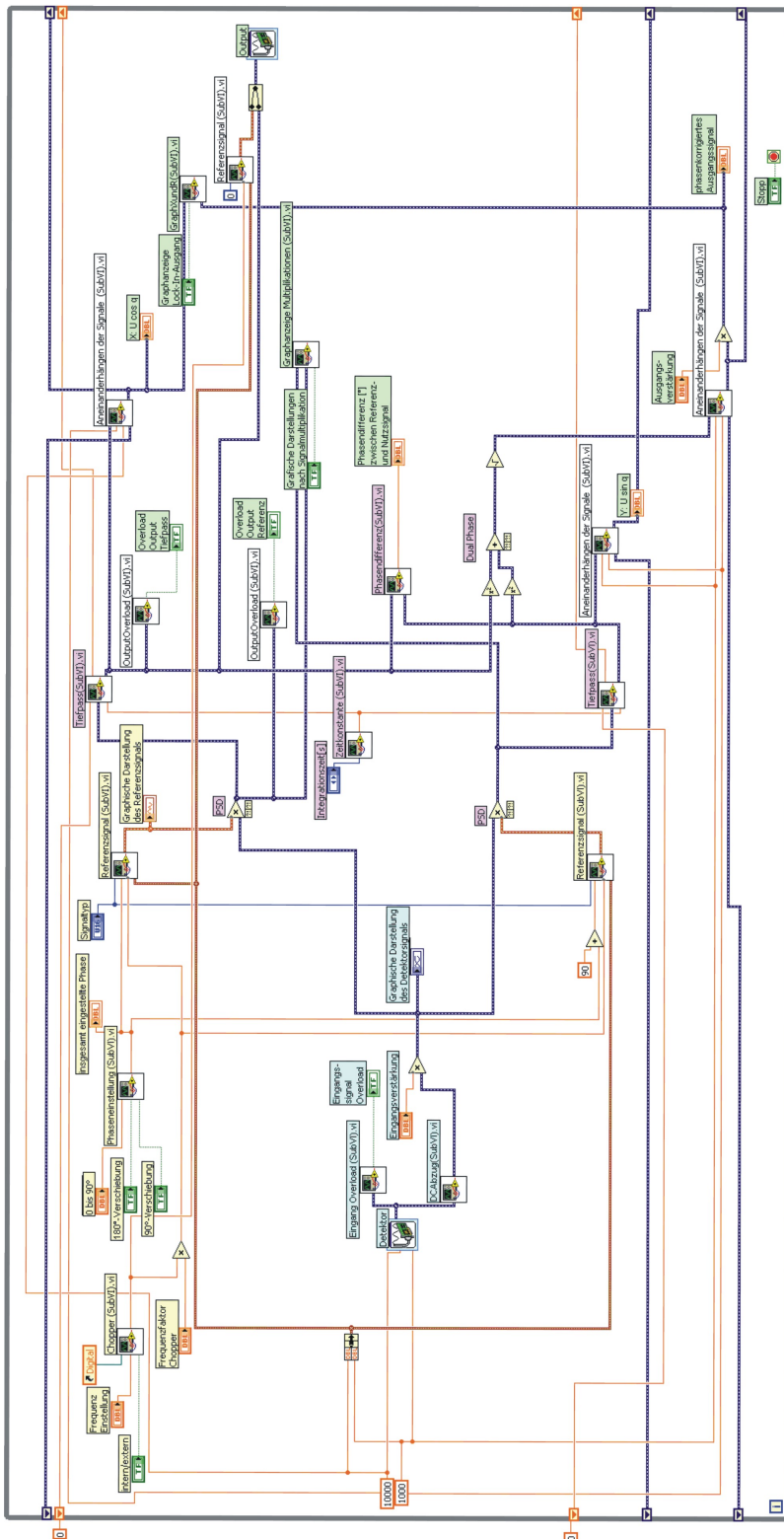


Abb. 1.3: Das Blockdiagramm der fertigen Programmierung.

Es besitzt die im Folgenden beschriebene Funktionsweise:

Das Messsignal wird durch das Symbol *Detektor* aufgenommen und an das SubVI

Elemente, die das Messsignal beeinflussen

Elemente, die das Referenzsignal prägen

Elemente, die auf dem Frontpanel sichtbar sind

Wichtige "Bauteile" des Lock-In-Verstärkers

Die nötigen Programmierelemente

Eingangssignal Overload sowie an das SubVI *DCAbzug* weitergegeben. Die orangefarbenen Eingänge des *Detektor*-Symbols sind Abtastrate und Anzahl der pro Anfrage (Triggerimpuls) zu messenden Werte (Spannungsverlauf $U(t)$), diese beiden Konstanten werden als konstante Skalare festgelegt. Die Abtastrate liegt in diesem Programm bei 10kHz und es werden 1000 Daten pro Schleifendurchlauf des Programms verarbeitet. Das SubVI *DCAbzug* hat die Aufgabe, den DC-Untergrund des Photodetektorsignals zu minimieren. Nach Bestimmung des Mittelwertes kann dieser vom unveränderten Messsignal subtrahiert werden, so dass der DC-Untergrund wegfällt. Nach der Minimierung des DC-Untergrundes folgt die Möglichkeit dieses Signal mittels Multiplikation zu verstärken. Das verstärkte Signal wird anschließend in einer graphischen Anzeige ausgegeben und mit dem Referenzsignal multipliziert.

Das Referenzsignal entsteht durch das SubVI *Chopper*. Hierbei wird durch den booleschen Schalter entschieden, ob die Referenzfrequenz intern oder extern entsteht. Bei externer Betriebsart wird das vom Chopper aufgenommene TTL-Signal dazu genutzt, die Referenzfrequenz zu messen, welche anschließend an das SubVI *Referenzsignal* weitergegeben wird. Wird eine interne Frequenz genutzt, dann stellt der Benutzer auf dem Frontpanel die gewünschte Frequenz ein, die ebenfalls an das SubVI *Referenzsignal* weitergegeben wird. Dieses SubVI beinhaltet einen einfachen Funktionsgenerator, der erzeugt ein sinusförmiges Signal mit der Amplitude eins und variabler Phase.

Die Phase des Referenzsignals wird durch das SubVI *Phaseneinstellung* festgelegt. Ein Drehregler für beliebige Winkel zwischen 0° und 90° und jeweils ein Kippschalter für die Winkel 0° und 90° bzw. 0° und 180° . Die durch diese drei Schalter eingestellte Phase ist als Summe sichtbar in einer Digitalanzeige. Die Programmierung der Phaseneinstellung befindet sich ebenfalls in einem SubVI, welches den Namen *Phaseneinstellungen* hat. Das aufgenommene Messsignal wird mit dem Referenzsignal multipliziert und an das SubVI *Tiefpass* zur Integration weitergegeben, dessen Zeitkonstante τ ebenfalls manuell einstellbar ist. Dabei ist die Zeitkonstante allerdings nicht beliebig frei wählbar, sondern es sind folgende Möglichkeiten festgelegt: 0s; 0,001s; 0,003s; 0,01s; 0,03s; 0,1s; 0,3s; 1s; 3s; 10s; 30s; 100s; 300s und 1000s. Nach dem Tiefpass werden die einzelnen Datenpakete aneinander gefügt durch das SubVI *Aneinanderhängen der Signale*. Dies geschieht, da numerische oder graphische Anzeigen eines Signalverlaufes in LabVIEW nur genauso

lang sind wie ein einmal aufgenommenes Datenpaket (nähere Erläuterungen folgen in Kapitel 1.3.10). Damit der zeitliche Verlauf während der Integrationszeit τ besser verfolgt werden kann, werden die Datenpakete durch das SubVI *Aneinanderhängen der Signale* so aneinander gefügt, dass Beobachtungen bis zu 10s möglich sind. Das Ausgangssignal wird im Allgemeinen mit X bezeichnet und ist proportional zu $\cos \Theta$, wobei Θ die Phasendifferenz zwischen Referenz- und Messsignal ist.

Parallel zu dem oben beschriebenen Prozess wird mit den gleichen Parametern wie beim ersten Referenzsignal ein zweites Referenzsignal erzeugt (das untere SubVI *Referenzsignal*). Hier ist die Phase mittels der Addition von 90° zur ersten verschoben. Dieses zweite Referenzsignal wird ebenfalls immer berechnet und ausgegeben. Auch hier wird mit dem Detektorsignal ohne DC-Untergrund, aber mit der Verstärkung, multipliziert und danach ein zweiter Tiefpass durchlaufen, so dass ein Ausgangssignal proportional zum $\sin \Theta$ entsteht. Dieses Ausgangssignal ist wegen der vorgegebenen Länge eines Datenpaketes ebenfalls zu kurz, um es auszuwerten, so dass wieder nach dem Tiefpass das SubVI *Aneinanderhängen der Signale* eingebaut ist. Das Ausgangssignal, proportional zu $\sin \Theta$, wird im Folgenden mit Y bezeichnet.

Für die Möglichkeit, ein phasenunabhängiges Ausgangssignal zu erhalten, werden die oben genannten Ausgangssignale X und Y zusätzlich jeweils quadriert, dann addiert und aus der Summe beider wird die Wurzel gezogen. Auch hiernach werden die Datenpakete mittels des SubVIs *Aneinanderhängen der Signale* aneinander gefügt.

Der programmierte Lock-In-Verstärker besitzt für X , Y und das phasenunabhängige Ausgangssignal jeweils eine numerische Anzeige. Um zwei der oben genannten Ausgangssignale zusätzlich graphisch zu betrachten, ist ein boolescher Schalter eingebaut, der bei Schalterstellung „Ein“ ein weiteres Frontpanel öffnet. Dieses beinhaltet die graphische Darstellung von X und die des phasenunabhängigen Ausgangssignals, welches im Folgenden mit R bezeichnet wird. Desweiteren ist in Abbildung 1.3 zweimal das SubVI *Output Overload* zu sehen. Dieses SubVI hat immer die Aufgabe, bei einer analogen Ausgabe eines Signals ein LED-Symbol zu aktivieren, falls die Signale einen bestimmten Wert überschreiten. Dies geschieht, da die Anschlussbox nicht beliebig große Spannungen ausgeben kann, ohne Schaden zu nehmen. Durch das SubVI *Output* können die Signale an die BNC-Ausgänge Dev1/ao1 und Dev1/ao0 der Anschlussbox ausgegeben

werden, so dass beispielsweise ein Oszilloskop angeschlossen werden kann.

Ebenfalls wird die Phasendifferenz zwischen Nutz- und Referenzsignal auf dem Frontpanel des Programms numerisch ausgegeben. Dies geschieht dadurch, dass der arctan aus Y und X berechnet und anschließend als numerische Anzeige ausgegeben wird. Desweiteren befindet sich in Abbildung 1.3 ein SubVI mit dem Namen *Graphanzeige Multiplikationen*. Dieses eröffnet die Möglichkeit, auf Aktivierung eines Druckschalter des Frontpanels die Multiplikationen graphisch auszugeben. Das heißt, das auf Knopdruck ein weiteres Frontpanel geöffnet wird, welches die graphische Darstellung des Produkts von Messsignal und jeweils einem der Referenzsignale anzeigt. Auf diesem neu geöffneten Frontpanel erscheint wiederum ein Druckschalter *Spektrum*, welcher bei Aktivierung das Bode-Diagramm graphisch anzeigt, welches das erste Referenzsignal multipliziert mit dem Nutzsignal ergibt.

1.3 Verwendete SubVIs

Im Allgemeinen sind SubVIs **V**irtuelle **I**nstrumente, die in das Blockdiagramm eines anderen Programms eingesetzt werden, und sie sind vergleichbar mit einem Unterprogramm. Die oben erwähnten programmierten SubVIs sollen im Folgenden erläutert werden.

1.3.1 Messsignal

Das Symbol des Detektorsignals ist im Hauptprogramm sichtbar, wie es in Abbildung 1.4 dargestellt ist.

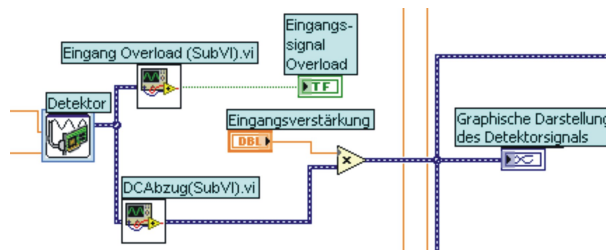


Abb. 1.4: Das SubVI-Symbol des Detektorsignals.

Hier ist auch zu sehen, wie die Daten vom Signaleingang der Interface-Karte einerseits zu dem SubVI *DCAbzug* und andererseits zu dem SubVI *Eingangssignal Overload* als

dynamischer Datentyp weitergeleitet werden. Nachdem der DC-Untergrund des Messsignals abgezogen wurde, kann das Signal per Multiplikation mit einem Skalar verstärkt werden.

1.3.2 DC Abzug

Das SubVI *DC Abzug* (dargestellt in Abbildung 1.4, wie es im Hauptprogramm sichtbar ist), dient dazu, den DC-Untergrund des Messsignals zu minimieren.

Der DC-Untergrund wird bestimmt durch eine Mittelwertbildung. Da die Abtastrate allerdings 10kHz beträgt, muss die Datenrate vor der Mittelwertbildung reduziert werden, weil für die Messung von 10 000 Werten pro Sekunde und die Mittelung zuviel Rechenzeit benötigt würde. Anschließend wird der Mittelwert von dem ursprünglichen Messsignal subtrahiert.

1.3.3 Eingangssignal Overload

Das SubVI *Eingangssignal Overload*, dient der Fehlermeldung, wenn das Eingangssignal zu groß ist, d.h. der entsprechende A/D-Wandler auf der Interface-Karte vermutlich übersteuert wird. Das Symbol im Hauptprogramm ist sichtbar in Abbildung 1.4.

Das Eingangssignal wird darauf analysiert, ob es einen bestimmten positiven oder negativen Spitzenwert über- oder unterschreitet. Trifft einer dieser Fälle zu, so wird eine boolesche Variable gesetzt (in diesem Fall leuchtet ein LED-Symbol auf dem Frontpanel auf). Sobald das Signal nicht mehr über dem positiven Spitzenwert oder unter dem negativen Spitzenwert liegt, verändert die boolesche Variable ihren Wert und das LED-Symbol geht aus.

1.3.4 Chopper

Um die Frequenz des Referenzsignals zu erzeugen, ist das SubVI *Chopper* eingebaut, dargestellt in Abbildung 1.5.

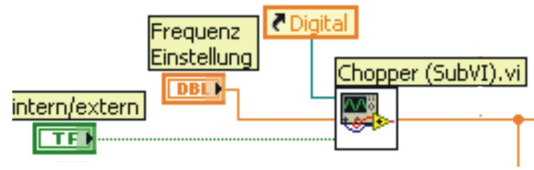


Abb. 1.5: Das SubVI „Chopper“ im Gesamtblockdiagramm.

Die Stellung des booleschen Schalters in dieser Abbildung entscheidet ob eine interne oder externe Frequenz für das Referenzsignal genutzt wird. Desweiteren gibt die numerische Eingabe *Frequenz Einstellung* an, welche Frequenz bei interner Betriebsart genutzt wird. Da der Schalter der Frequenz Einstellung bei externer Betriebsart deaktiviert ist, wird zusätzliche die Funktion *Digital* benötigt, die die Deaktivierung auslöst. Die Referenzfrequenz wird als skalare Größe am Ausgang des SubVIs *Chopper* ausgegeben.

1.3.5 Referenzsignal

Wie das SubVI „Referenzsignal“ im Hauptprogramm aussieht, ist dargestellt in Abbildung 1.6.

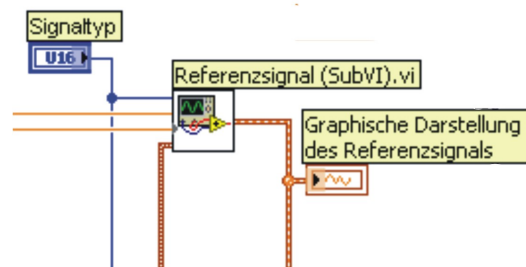


Abb. 1.6: Das Blockdiagramm des SubVIs Referenzsignal.

Hierbei ist erkennbar, dass die Signalform durch ein Bedienelement eingestellt werden kann. Bei Betrachtung des Frontpanels bietet der zugehörige Knopf die Auswahlmöglichkeit zwischen Sinus und Rechteck. Desweiteren besitzt das VI auf dem Blockdiagramm Eingänge für folgende Daten: die Frequenz (in Form eines orange gekennzeichneten Skalars), die Abtastinformation (als braunes Cluster, welches zwei verschiedene Daten (Abtastrate und die Anzahl der Samples) liefert), und die Phase (einzugeben als orange gekennzeichnete numerische Variable). Das Ausgangssignal des SubVIs ist ein Signalverlauf mit doppelter Genauigkeit, braun gekennzeichnet. Eine weitere Instanz des SubVIs

Referenzsignal wird zur Erzeugung des zweiten Referenzsignals genutzt, wobei allerdings die Phase zusätzlich um 90° verschoben wird, wie Abbildung 1.7 zeigt.

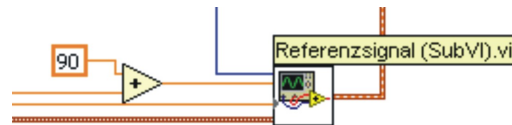


Abb. 1.7: Das Blockdiagramm des zweiten SubVIs „Referenzsignal“.

1.3.6 Phaseneinstellung

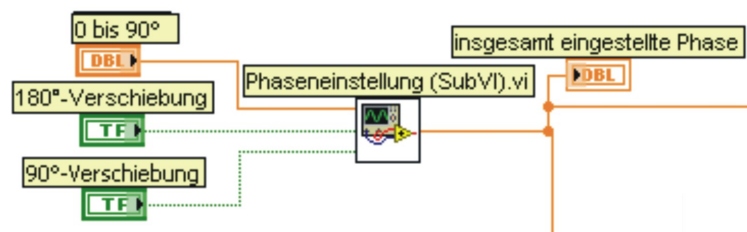


Abb. 1.8: Das SubVI „Phaseneinstellung im Hauptprogramm“.

Das SubVI *Phaseneinstellung* ist so programmiert, dass man drei verschiedene Regler manuell betätigen kann, um die Phasenverschiebung zu beeinflussen. In Abbildung 1.8 ist deutlich erkennbar, dass Verschiebungen um 90° und 180° mit booleschen Schaltern vorgenommen werden können, während der dritte Regler ein Bedienelement ist, welches eine skalare Größe als Variable ausgibt. Das Ausgangssignal ist ein Skalar; dieser wird innerhalb des SubVIs durch Addition der eingestellten Einzelverschiebungen bestimmt.

1.3.7 Tiefpass

Die Grundlagen der digitalen Tiefpassfilterung sollen in diesem Abschnitt kurz dargestellt werden, wobei folgende Bezeichnungen getroffen werden. U_e ist die Eingangsspannung, U_a die Ausgangsspannung und U_R die Spannung, die über dem ohmschen Widerstand abfällt. Die Schaltung eines einfachen RC-Gliedes ist in Abbildung 1.9 dargestellt [?].

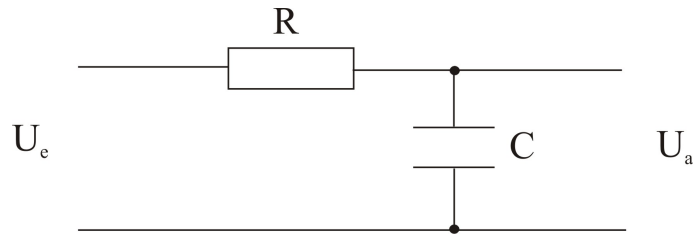


Abb. 1.9: Das Schema eines einfachen Tiefpassfilters.

Von dieser Abbildung ausgehend, wird die Differenzialgleichung dieses Systems folgendermaßen aufgestellt.

$$U_e = U_a + U_R \quad (1)$$

Für die Stromstärke I gilt:

$$I = C \cdot \frac{dU_a}{dt} \quad (2)$$

Desweiteren gilt mit Gleichung (2)

$$U_R = R \cdot I = R \cdot C \cdot \frac{dU_a}{dt}. \quad (3)$$

Setzt man nun Gleichung (3) in (1) ein, dann folgt

$$U_e = U_a + RC \frac{dU_a}{dt}. \quad (4)$$

Mit dieser Differenzialgleichung eines einfachen Tiefpasses können die Überlegungen zur numerischen Emulation eines Tiefpasses fortgeführt werden. Gleichung (4) kann in folgender Art umgeformt werden

$$\begin{aligned} U_e &= U_a + RC \frac{dU_a}{dt} \\ &= U_a + \tau \frac{dU_a}{dt} \\ &= U_a + \tau \dot{U}_a. \end{aligned} \quad (5)$$

Wobei $\tau = R \cdot C$ die Zeitkonstante des Tiefpassfilters bezeichnet.

Setzt man nun hier den Differenzenquotienten ein, dann folgt

$$\begin{aligned}
 U_e &= U_{a,n} + \tau \frac{U_{a,n} - U_{a,n-1}}{\Delta t} \\
 &= U_{a,n} + \frac{\tau}{\Delta t} \cdot U_{a,n} - \frac{\tau}{\Delta t} U_{a,n-1} \\
 \Leftrightarrow U_e + \frac{\tau}{\Delta t} U_{a,n-1} &= U_{a,n} \cdot \left(1 + \frac{\tau}{\Delta t}\right) \\
 \Leftrightarrow U_{a,n} &= U_e \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{\tau}{\Delta t}}\right) + U_{a,n-1} \cdot \frac{\left(\frac{\tau}{\Delta t}\right)}{\left(1 + \frac{\tau}{\Delta t}\right)}.
 \end{aligned}$$

Mit $\epsilon = \frac{\tau}{\Delta t}$ folgt

$$\begin{aligned}
 U_{a,n} &= U_e \cdot \left(\frac{1}{1 + \epsilon}\right) + U_{a,n-1} \cdot \frac{\epsilon}{(1 + \epsilon)} \\
 \Leftrightarrow U_{a,n} &= \frac{1}{1 + \epsilon} \cdot (U_e + \epsilon U_{a,n-1}). \tag{6}
 \end{aligned}$$

Diese Gleichung wird in LabVIEW 8.0 verwandt, um sukzessive die Amplitude U_a des Ausgangssignals des Tiefpasses zu berechnen. Im Blockdiagramm ist der Tiefpass dargestellt, wie Abbildung 1.10 zeigt.

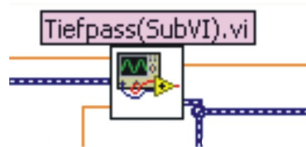


Abb. 1.10: Das SubVI „Tiefpass“, wie es im Hauptprogramm sichtbar ist.

Man erkennt deutlich, dass die Signale als dynamischer Datentyp in das SubVI hineingegeben werden. Desweiteren ist einer der anderen Eingänge die Zeitkonstante, und der dritte ist über ein Schieberegister der While-Schleife mit dem skalaren Ausgangssignal des Tiefpasses verbunden. Die Verbindung über das Schieberegister ist dafür da, dass der Wert ständig aktualisiert werden kann. Der andere Ausgang des SubVIs *Tiefpass* ist ein dynamischer Datentyp und beinhaltet das Signal, welches dann an das nachfolgende SubVI *Aneinanderhängen der Signale* weitergegeben wird.

1.3.8 Zeitkonstante

Die Zeitkonstante des Tiefpasses ist nicht freiwählbar, sondern ist über das SubVI *Zeitkonstante* mit folgende Möglichkeiten festgelegt: 0s; 0,001s; 0,003s; 0,01s; 0,03s;

0,1s; 0,3s; 1s; 3s; 10s; 30s; 100s; 300s und 1000s. Das SubVI ist sichtbar in Abbildung 1.11



Abb. 1.11: Das SubVI „Zeitkonstante“ im Hauptprogramm.

1.3.9 Phasendifferenz

Um die Dual-Phase-Funktion des emulierten Lock-In-Verstärkers auszunutzen, das bedeutet, eine Ausgabe der Phasendifferenz von Mess- und Referenzsignal, ist das SubVI *Phasendifferenz* eingebaut.

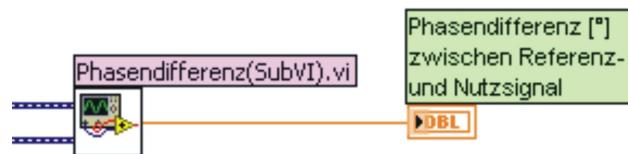


Abb. 1.12: Das SubVI „Phasendifferenz“ zur Bestimmung der Phase zwischen Mess- und Referenzsignal im Hauptprogramm.

Dieses hat, wie in Abbildung 1.12 zwei Eingänge, an denen die Signale nach den beiden Tiefpässen angeschlossen werden. Innerhalb des SubVIs wird die Phasendifferenz bestimmt, so das diese als numerische Ausgabe angezeigt werden kann.

1.3.10 Aneinanderhängen der Signale

Dieses SubVI spielt für die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers keine Rolle, beeinflusst aber die Darstellung der Ergebnisse grundlegend. In einem Schleifendurchlauf des Programms werden immer 1000 Werte ausgelesen. Dies führt bei einer Abtastrate von 10kHz zu Datenpaketen, die eine Zeitspanne von jeweils 0,1s besitzen. Die Länge der Datenpakete legt die Skalierung der Abszisse einer graphischen Darstellung fest, d.h.

die Achse wird somit von 0 bis 0,1s skaliert. Will man Zeiten länger als eine 0,1s auf der Abszisse darstellen, so muss man folglich mehrere Pakete aneinanderhängen. Demnach sind Maßnahmen wie das SubVI „Aneinanderhängen der Signale“ erforderlich. Das SubVI ist in Abbildung 1.13 dargestellt.

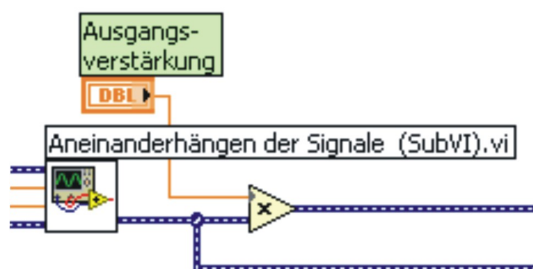


Abb. 1.13: Das „Aneinanderhängen der Signale“ als SubVI

In dieser Abbildung ist deutlich erkennbar, dass es zwei Eingänge für Signalverläufe (in Form eines dynamischen Datentyps) gibt. Desweiteren haben Abtastrate und Anzahl der Samples ebenfalls Eingänge in das SubVI, damit die Signale diesen Parametern entsprechend aneinandergesetzt werden können.

1.3.11 Output Overload

Das Overloadsignal *Output Overload* ist wie das Overloadsignal des Eingangssignals aufgebaut und wird an zwei Stellen im Programm genutzt (nach der Multiplikation von erstem Referenzsignal und Messsignal und nach dem Tiefpass des Ausgangssignals X). Das bedeutet, der Signalverlauf, der in das SubVI eingegeben wird, wird auch auf Überschreitung eines bestimmten positiven bzw. Unterschreitung eines bestimmten negativen Spitzenwertes untersucht. Dies geschieht analog zu dem SubVI *Eingang Overload* und ist ebenfalls damit begründet, dass die Interface-Karte bei der Ausgabe von zu großen Spannungen Schaden nimmt bzw. übersteuert.

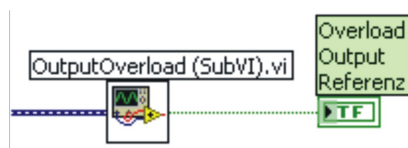


Abb. 1.14: Darstellung eines SubVI's „Output Overload“ im Hauptprogramm.

1.3.12 Graphanzeige Multiplikationen

Das SubVI *Graphanzeige Multiplikationen* dient dazu, bei Bedarf die graphischen Anzeigen der Multiplikationen zu öffnen. Die Funktionsweise auf dem Frontpanel des Hauptprogramms wird im Folgenden beschrieben. Auf dem Standardfrontpanel befindet sich ein Druckschalter, der bei Aktivierung ein neues Frontpanel öffnet. Dieses zeigt zwei Multiplikationsgraphen, von denen jeweils einer das Produkt von einem Referenzsignal und dem Messsignal zeigt.

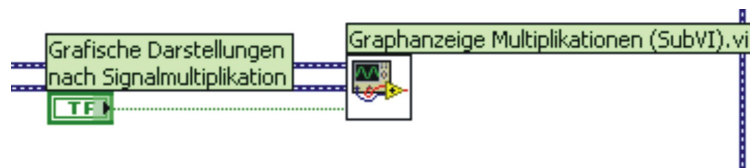


Abb. 1.15: Das SubVI „Graphanzeige Multiplikationen“ im Hauptprogramm.

1.3.13 Graph X und R

Das SubVI *Graph X und R* hat prinzipiell die gleiche Funktion wie das oben genannte SubVI *Graphanzeige Multiplikationen*. Wird auf dem Standardfrontpanel des Hauptprogramms der Druckschalter *Graphanzeige Lock-In-Ausgang* aktiviert, dann wird ein zusätzliches Frontpanel geöffnet, welches X und das phasen- und frequenzunabhängige Ausgangssignal graphisch anzeigt. In Abbildung 1.16 ist deutlich sichtbar, dass zwei Signalverläufe und ein boolescher Schalter als Eingänge mit dem SubVI verbunden sind. Diese Eingänge verdeutlichen, dass zwei Graphen zu sehen sein müssen und dass dies abhängig von dem booleschen Schalter ist.

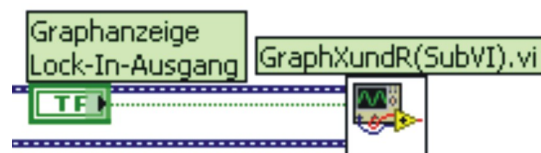


Abb. 1.16: Das SubVI „GraphAnzeigeLockInAusgang“ im Hauptprogramm.

1.3.14 Output

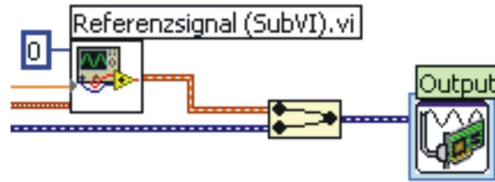


Abb. 1.17: Das SubVI „Output“ im Hauptprogramm.

Das in Abbildung 1.17 dargestellte SubVI *Output* ist ein Express-VI, welches Daten des Programms über die Analogausgänge der Anschlussbox ausgeben kann. Bei den Optionen des Express-VIs gibt es die Möglichkeit, Ausgänge zu wählen, an welchen man BNC-Kabel anschließen kann, um beispielsweise die Signale an ein Oszilloskop anzuschließen. In Abbildung 1.17 ist sichtbar das ein zusätzliches SubVI *Referenzsignal* eingebaut ist, welches an das SubVI *Output* Daten liefert. Dies dient dazu, dass das Referenzsignal ohne jegliche Phasenverschiebung analog ausgegeben werden kann. Die Daten des Referenzsignals werden mit einem dynamischen Datentyp zusammengefasst, der die Daten X nach dem Tiefpass enthält. Beide angeschlossenen Signale (Referenzsignal und X) haben so einen analogen Ausgang an der Anschlussbox.