

## Versuch DAQ-LV

### Signalerfassung und -ausgabe mit LabVIEW, Darstellung von Spektren

#### 1 Versuchsziel

- Erfahrungen mit PC-gestützter Signalerfassung mittels Datenerfassungshardware ("Multifunction I/O") und Messautomatisierungssoftware LabVIEW;
- Digitale Messdatenerfassung, -speicherung und -auswertung, Spektralanalyse,
- Verständnis der Effekte der Analog-Digital-Umsetzung – Diskretisierung, Quantisierung, Aliaseffekt,
- wissenschaftlicher Bericht über durchgeführte Experimente.

#### 2 Fragen/Aufgaben zur Vorbereitung

Nach Durcharbeiten dieser Anleitung sind folgende Fragen (handschriftlich) zu beantworten:

- 1.) Welche Quantisierungsstufenhöhe ist bei einem 16-Bit-A/D-Umsetzer zu erwarten, wenn der Eingangsspannungsbereich  $\pm 10\text{ V}$  beträgt?
- 2.) Was bedeutet der Name des bei der A/D-Umsetzung eingesetzten "S&H"-Gliedes?
- 3.) Was ist die maximale Abtastrate des I/O-Systems NI-USB-6212 bei der A/D-Umsetzung?
- 4.) Sie wollen eine Sinusschwingung der Frequenz  $f = 500\text{ Hz}$  so abtasten, dass Sie 12 Abtastwerte pro Periode bekommen. Welche Abtastrate  $f_s$  müssen Sie einstellen?
- 5.) Das Signal  $u(t) = 2\text{ V} \cdot \sin\left(3140 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot t\right)$  wird mit  $f_s = 800\text{ Hz}$  abgetastet. Führt das zu einem Aliaseffekt? Wenn ja, welche Frequenz wird die Aliasschwingung haben?

Skizzieren Sie das DFT-Spektrum des digitalisierten Signals im Frequenzbereich  $0 - 800\text{ Hz}$ .

- 6.) Skizzieren Sie das Amplitudenspektrum des dargestellten Rechtecksignals mit der Periodendauer  $T = 2\text{ ms}$  bis zur 8. Harmonischen.



### 3 Geräte, Software, Materialien

Für den Laborversuch stehen zur Verfügung: Anschlussbox mit Signalgenerator National Instruments BNC-2120, Datenerfassung NI-USB-6212 ("Multifunction I/O") mit Software LabVIEW (National Instruments), USB-Oszilloskop "PicoScope 2206A", BNC-Kabel.

## 4 LabVIEW, NI-USB-6212 - Amplitudenquantisierung

### 4.1 LabVIEW-Einführung und –Programmierung (30 Min.)

LabVIEW starten und ein VI wie folgt erstellen:

Leeres LabVIEW-VI öffnen, im "Blockdiagramm" mittels Kontextmenu (= rechte Maustaste) unter "Express" aus der Gruppe "Eingabe" das VI "DAQ-Assistent" einfügen. Es erscheint ein Fenster mit Menüs zur Konfiguration der Datenerfassung. Wählen Sie "Signale erfassen", "Analoge Erfassung", "Spannung", Device USB 6212 / Kanal ai4, dann "Fertigstellen".

Anschließend: Spannungsbereich  $\pm 10$  V, "Differenziell", Abtastfrequenz 100 kHz und die Samplezahl so wählen, dass bei einer Frequenz des TTL-Rechtecksignals von 200 Hz genau 3 Perioden erfasst werden<sup>1</sup>. Die Eingaben mit OK bestätigen.

Für Abtastrate und Samplezahl "Bedienelemente" an den entsprechenden Eingängen des DAQ-Assistenten einfügen. Dazu Klick mit rechter Maustaste auf den jeweiligen Anschluss, dann "Erstellen" wählen und die entsprechende Auswahl treffen.

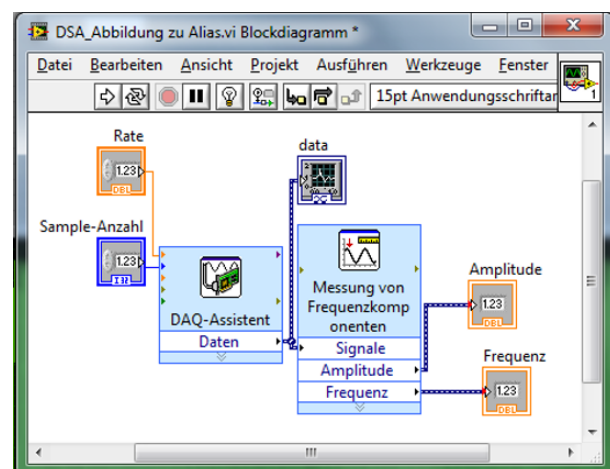
Auf die gleiche Weise am Ausgang "Daten" eine "Graphanzeige" ("Signalverlaufsgraph / Waveform-Graph") anschließen. Das Fenster erscheint damit gleichzeitig im Frontpanel und plottet später die erfassten Signalverläufe.

**Mit "STRG E" wird zwischen Frontpanel und Blockdiagramm hin und her gewechselt.**

Das Express-VI "Messung von Frequenzkomponenten"<sup>2</sup> aus der Gruppe "Analyse" in das Blockdiagramm einfügen und für die Bestimmung von Amplitude und Frequenz konfigurieren. Den Eingang "Signale" mit dem Ausgang "Daten" des DAQ-Assistenten verbinden. Dazu mit der linken Maustaste auf den Ausgang des DAQ-Assistent, dann auf den Eingang des "Frequenzkomponenten"-VIs.

Als Mauszeigersymbol erscheint dabei eine Drahtspule.

Die Ausgänge "Amplitude" und "Frequenz" im Frontpanel anzeigen lassen, also rechte Maustaste auf den entsprechenden Ausgangsanschluss, dann "Erstellen" und "Anzeigeelement".



<sup>1</sup> Die benötigte Samplezahl kann schon in der Vorbereitung bestimmt werden.


<sup>2</sup> "Frequenzkomponenten" ist ein unsinniges Wortungetüm. Frequenz ist eine Wiederholrate und hat keine "Komponenten". Diese unsinnige Wortschöpfung von NI sollten Sie selbst nicht benutzen.

**Nutzen Sie bei Problemen mit der Bedienung der Software die Möglichkeit zu fragen!**

#### 4.2 Amplitudenquantisierung (25 Min.)

An der BNC 2120 Anschlussbox das TTL-Signal des Signalgenerators mit BNC-Kabel an Eingangskanal AI 4 anschließen.


Ins Frontpanel wechseln. Dort die Anzeige- und Bedienelemente sinnvoll positionieren und den Signalverlaufs-Graph auf eine sinnvolle Größe ziehen.

Mit dem Button für wiederholte Ausführung  oben in der LabVIEW-Menuzeile das VI ausführen. Welche Amplitude wird angezeigt?

Die Anzeige der Frequenz im Frontpanel nutzen und am Signalgenerator der BNC-Box die Frequenz des Rechtecksignals verändern, bis sie etwa 200 Hz beträgt (+/- 5Hz Abweichung sind dabei zulässig). Dann die Ausführung stoppen.

Als Linientyp im Waveform-Graph einen Marker (ohne Linie!) wählen (in der Grafik: rechte-Maus-Taste + Eigenschaften + "Plots"). Anschließend unter "Anzeigeformat" für die y-Achse "Standardbearbeitungsmodus" und 6-stellige Anzeige wählen.

Dieses Bild speichern. Dazu im Signalverlaufs-Graphen per rechte-Maustaste "Exportieren" und "Vereinfachtes-Bild-exportieren" wählen und den Inhalt als Grafikdatei abspeichern.

Zoom-Funktion des Waveform-Graphen aktivieren. Dazu das Kontextmenu anzeigen lassen (rechte Taste im Diagramm) und "Sichtbare Objekte", "Graph-Palette" wählen . Nur Vertikal-Zoom benutzen und auf die oberen Kanten des Rechtecksignals einzoomen (**nicht zeitlich zoomen!**). Nach und nach immer stärker vergrößern und zwar so, dass jeweils immer möglichst viele Messpunkte des Zeitverlaufs sichtbar bleiben.

Nach und nach wird dadurch die Quantisierung immer deutlicher. So einzoomen, dass etwa 10 Quantisierungsstufen in der Grafik dargestellt werden.

Auch dieses Bild speichern (Vorgehen wie zuvor) und die Stufenhöhe ermitteln – im Umdruck "ELMESS-Labor\_Regularien und Hinweise\_2021.pdf" steht, wie dabei vorzugehen ist.

#### ***Umgang mit dem Ergebnis***

Es gibt Unterschiede zwischen den Laborplätzen, aber typisch ist als Ergebnis hier so etwas wie  $q = 328 \mu V \pm 5 \mu V$ . Der erwartete Wert (siehe Datenblatt NI-USB-6212 und Vorbereitungsfrage 1) liegt somit **nicht** im Unsicherheitsbereich der Messung.

Das ist im Bericht zu diskutieren (siehe "NI-DAQ-USB6212-User Manual", Kapitel "Analog Input Range").

## 5 Aliaseffekt und Signalspektrum

### 5.1 Versuchsaufbau

An der BNC 2120 Anschlussbox das Sinussignal des Signalgenerators mit BNC-Kabel an Eingangskanal AI 4 anschließen.

Im Frontpanel Ihres VI die Abtastfrequenz gleich  $50\text{ kHz}$  und die Samplezahl so einstellen, dass die Messdauer  $50\text{ ms}$  beträgt. Im Signalverlaufsgraph eine **Darstellung mit Marker und Linie** wählen.

### 5.2 Hervorrufen des Aliaseffekts (25 Min.)

Mit dem Button für wiederholte Ausführung oben in der LabVIEW-Menuzeile das VI ausführen. An der BNC-Box die Amplitude auf einen Wert zwischen 1,5 und 2 Volt einstellen und die Frequenz mit dem entsprechenden Potentiometer auf etwa  $900\text{ Hz}$  ( $\pm 5\text{ Hz}$ ) einstellen. Bild speichern, die Werte in den Anzeigeelementen des Frontpanel protokollieren.

Bei gleichbleibendem Messsignal die Abtastrate auf  $1,7\text{ kHz}$  ändern, aber die Messzeit beibehalten (also die Samplezahl geeignet anpassen).

Welche Frequenz wird nun bei "Messung von Frequenzkomponenten" ausgegeben?

Den dargestellten Signalverlauf speichern.

Ohne Protokoll: Stellen Sie  $f_s = 1\text{ kHz}$  ein.

Sie bekommen ein  $100\text{ Hz}$  – Sinussignal angezeigt. Nichts lässt erkennen, dass das tatsächliche Signal ein völlig anderes ist. Merke: Der Alias-Effekt kann wirklich tückisch sein!

### 5.3 Amplitudenspektrum (25 Min.)

#### 5.3.1 Schaltung und Programmierung

Für die Berechnung und Anzeige eines Spektrums setzen wir das Picoscope ein, das schon aus dem Versuch DAQ-USB bekannt ist. Das Picoscope via USB an den PC anschließen, Software starten, den Ausgang AO 0 der BNC-Box an Eingangskanal A anschließen (direktes BNC-Kabel, kein Tastkopf).

An der BNC 2120-Anschlussbox bleibt weiter das Sinussignal der Frequenz  $900\text{ Hz}$  an AI 4.

Die Abtastrate des Eingabe-DAQ-Assistenten auf  $10\text{ kHz}$  einstellen, Samplezahl 10000.

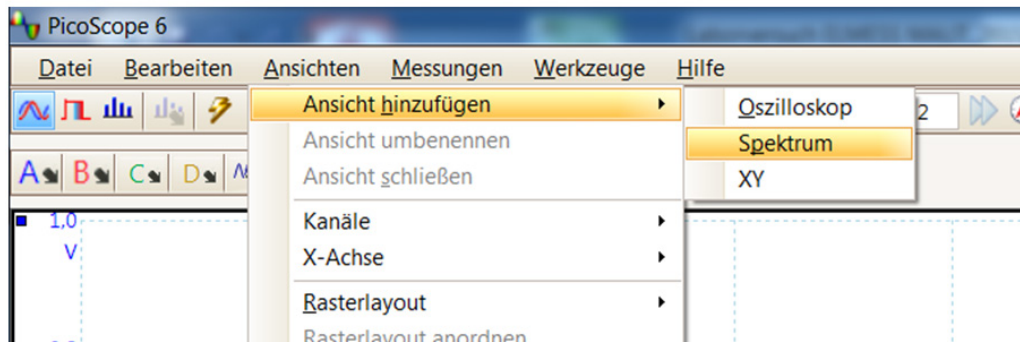
Im VI einen DAQ-Assistenten für die Signalausgabe mit folgenden Einstellungen hinzufügen: "Signale erzeugen", "Analoge Ausgabe", "Spannung", Device USB 6212 / Kanal "ao0", und Schaltfläche "Fertigstellen" klicken. Signalausgangsbereich  $\pm 10\text{ V}$ , übrige Einträge nicht verändern.

Im Blockdiagramm des VI den Ausgang "Daten" des DAQ-Assistenten für das Lesen von AI 4 mit dem Eingang "Daten" des Ausgabeassistenten verbinden und so das mit LabVIEW gemessene Signal direkt am Analogausgang wieder ausgeben.

### 5.3.2 Signalspektrum

Mit dem Picoscope das Signal des Ausgangs AO 0 der BNC 2120-Anschlussbox aufnehmen (Messbereich  $\pm 2V$ , Zeitbasis 100 ms/div, 30000 Samples).

Das Spektrum eines aufgezeichneten Signals wird über das Menu "Ansichten" eingeblendet.



Lassen Sie mittels "Eigenschaften ansehen" im Menu "Ansichten" die Eckdaten der Messung am rechten Bildrand anzeigen. Darin ist z. B. die verwendete Abtastrate aufgeführt.

Die **Parameter des Spektrums** sind über das entsprechende Menusymbol erreichbar, das eingeblendet wird, sobald eine Spektrumansicht gewählt wird.

Hier wird die Zahl der Abtastwerte, die für die FFT genutzt werden, gewählt, was gleichzeitig auch die Auflösung des Spektrums festlegt ("Spektrum-Bins").

#### Einstellungen:

- Spektrum-Bins = 16384
- Fensterfunktion = "Rechteck"
- Skalieren = "linear", sowohl für die y-als auch für die x-Achse.

Im Menu der Fußzeile Trigger "Einzeln" einstellen, Triggerpunkt (gelbe Raute in der Zeitverlaufsansicht) an den linken Rand des Diagramms verschieben.

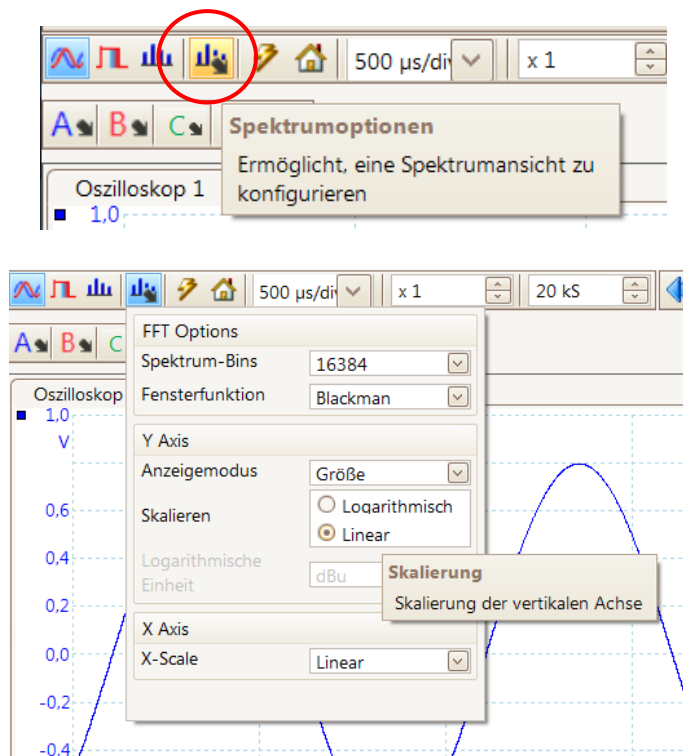
#### Durchführung:

Erst die Messung des Picoscope starten, dann einen Einzeldurchlauf des LabVIEW-VI.

Im Zeitverlauf des Picoscope auf wenige Perioden einzoomen, beim Spektrum auf den Frequenzbereich 0 – 5000 Hz.

Bilder des Zeitverlaufs und des Spektrums speichern.

Bei welcher Frequenz bzw. welchen Frequenzen werden erhöhte Amplituden angezeigt? (ggf. durch Einzoomen genauer bestimmen – mit Abschätzung der Unsicherheit)



### 5.3.3 Spektrum mit Aliaseffekt

Abtastrate in LabVIEW auf 1700 Hz, Samplezahl auf 1400 reduzieren und die Messung wie vorher erneut durchführen. Ergebnisse wie vorher dokumentieren.

## 5.4 Spektrum eines Rechtecksignals (20 Min.)

Gleicher Schaltungs- und Messaufbau, aber am Signalgenerator statt des Sinussignals nun das **Rechtecksignal** abgreifen. Im VI die Abtastrate gleich 11400 Hz und Samplezahl gleich 1000 setzen. Signalfrequenz auf 1200 Hz ( $\pm 5\text{Hz}$ ) einstellen.

Dann das VI stoppen und die Samplezahl auf 10000 erhöhen.

Als Messbereich am Picoscope " $\pm 10\text{ V}$ " wählen, Zeitbasis und Samplezahl wie in 5.3.2. Messung wie in Abschnitt 5.3.2 durchführen und das Signal des Ausgangs AO 0 der BNC 2120-Anschlussbox sowie das zugehörige Spektrum darstellen. Zoom zunächst so, dass der Peak bei 1200 Hz die volle Diagrammhöhe einnimmt und die Frequenzen von 0 bis 12 kHz dargestellt werden.

Anschließend die Frequenzen aller Peaks mit erkennbar hervortretender Amplitude durch weiteres Einzoomen feststellen und protokollieren.

## 6 Bericht

Über den Versuch ist ein Bericht anzufertigen, der als PDF-Datei über die entsprechende AULIS-Übungseinheit eingereicht wird. Dabei sind die bereitgestellten Hinweise zu Struktur und Inhalt solcher Berichte zu beachten.

Vorbereitung und Protokoll werden gescannt oder mit guter Qualität fotografiert und als Anhang in die PDF-Datei eingefügt. Die Dateigröße ist auf max. 10 MB zu begrenzen.

**Zwei zusätzliche Aspekte sind im Bericht zu behandeln:**

- Der Zeitverlauf bei  $f_S = 1,7\text{ kHz}$  stellt eine Schwebung dar. Schwebungen entstehen durch Überlagerung (Summe) zweier Sinusschwingungen mit nah beieinander liegenden Frequenzen. Aufgrund des Additionstheorems  $\sin(x + y) + \sin(x - y) = 2 \sin x \cos y$  ist die Summe auch als Produkt zweier Sinusschwingungen darstellbar, einer "Trägerschwingung" (hier:  $\sin x$ ) mit hoher Frequenz und einer "Einhüllenden" (hier:  $\cos y$ ) mit geringerer Frequenz.

Bei der vorliegenden Schwebung ermittelt man als Periodendauer der Einhüllenden etwa  $T_E = 20\text{ ms}$  und für die Trägerschwingung  $T_T = 2 T_S$  (doppelte Abtastzeit). Wie lauten die zugehörigen Frequenzen?

Leiten Sie aus dem Additionstheorem her, wie sich die Frequenzen der beiden Schwingungen, die sich hier additiv überlagern, aus dem Träger und der Einhüllenden berechnen lassen und geben Sie diese Frequenzen an. Stellen Sie einen Bezug zu dem, was Sie über die Frequenzen von Aliasschwingungen wissen, her.

- Der Zeitverlauf in 5.3.2 zeigt einen stufenförmigen Verlauf. Erklären Sie kurz die Ursache dieser Stufen.

**(Abgabe 14 Tage nach dem Versuch, Weihnachtspause ausgenommen)**