

4 Erzeugung von Tonsignalen

4.1 Etwas Theorie: Sample, Samplefrequenz, Abtasten

Zeit in ms	u1(t)
0	0
1	3,09
2	5,88
3	8,09
4	9,51
5	10
6	9,51
7	8,09
8	5,88
9	3,09
10	0
11	-3,09
12	-5,88
13	-8,09
14	-9,51
15	-10
16	-9,51
17	-8,09
18	-5,88
19	-3,09
20	0
21	3,09
22	5,88

Konstruktion eines sinusförmigen Signals aus Einzelwerten



In der Soundkarte (allgemein: bei digitaler Signalerzeugung) werden analoge Signale aus einzelnen Werten, sogenannten Samples zusammengesetzt. Die Samples werden aus einem Speicher in äquidistanten Zeitabschnitten ausgelesen und an einen Digital-Analog-Umsetzer ausgegeben. Die Samplefrequenz gibt an, wieviele Werte pro Sekunde ausgegeben werden. Beispiel: Samplefrequenz 44,1KHz \rightarrow 44100 Samplewerte werden pro Sekunde ausgegeben.

Durch Interpolation wird aus Einzelwerten ein sinusförmiger Verlauf. Diese Interpolation übernimmt z.B. eine Tiefpass-Schaltung.

In der Tabelle links stehen die Samplewerte des rechts dargestellten Sinus.

Umgekehrt lässt sich natürlich auch ein analoges Signal mit einem Analog-Digitalumsetzer, der in gleichen Zeitabschnitten das Signal „abtastet“, wieder eine Zahlenkette, bei uns Array genannt, gewinnen. Dieses Verfahren wird bei jeder digitalen Speicherung von Sprache oder Musik angewendet.

Auch bei der Erzeugung eines Sinus-Signals oder Speicherung eines Signal mit Labview muss immer die Samplefrequenz (Häufigkeit der Speicherung) und die Anzahl der Samples (Werte) angegeben werden.

Wenn das erzeugte Sinussignal anschließend an eine Soundkarte ausgegeben wird, müssen die Samplefrequenz des erzeugten Sinus und die Samplefrequenz der Soundkarte übereinstimmen, sonst werden ungewollte Töne erzeugt.

4.2 Periodische Signalerzeugung mit Funktionsgenerator

Ein Funktionsgenerator erzeugt folgende Signalformen: Sinus, Rechteck, Dreieck, Sägezahn. Die Amplitude (Lautstärke) und die Frequenz sowie der Tastgrad des Rechtecks kann verändert werden. Die Samplefrequenz und die Anzahl der Samples werden als Konstanten festgelegt. Die Anzeige erfolgt mit einem Signalverlaufsgraph.

4.2.1 Handling-Anleitungen

Blockdiagramm: Signalverarbeitung → Signalverlaufserzeugung → einfacher Funktionsgenerator
Die Frequenz, die Amplitude und der Tastgrad (duty circle) erhalten je einen Schieberegler, bei der Frequenzanzeige und dem Tastgrad zusätzlich mit Zahlenanzeige.

Frontpanel: Modern → Numerisch → Schieberegler mit Zeiger

Rechte Maus auf den Regler → sichtbare Objekte
Zahlenanzeige

Die Abtastinfo erhält Konstanten (rechte Maus an den Anschluss → erstellen Konstante)

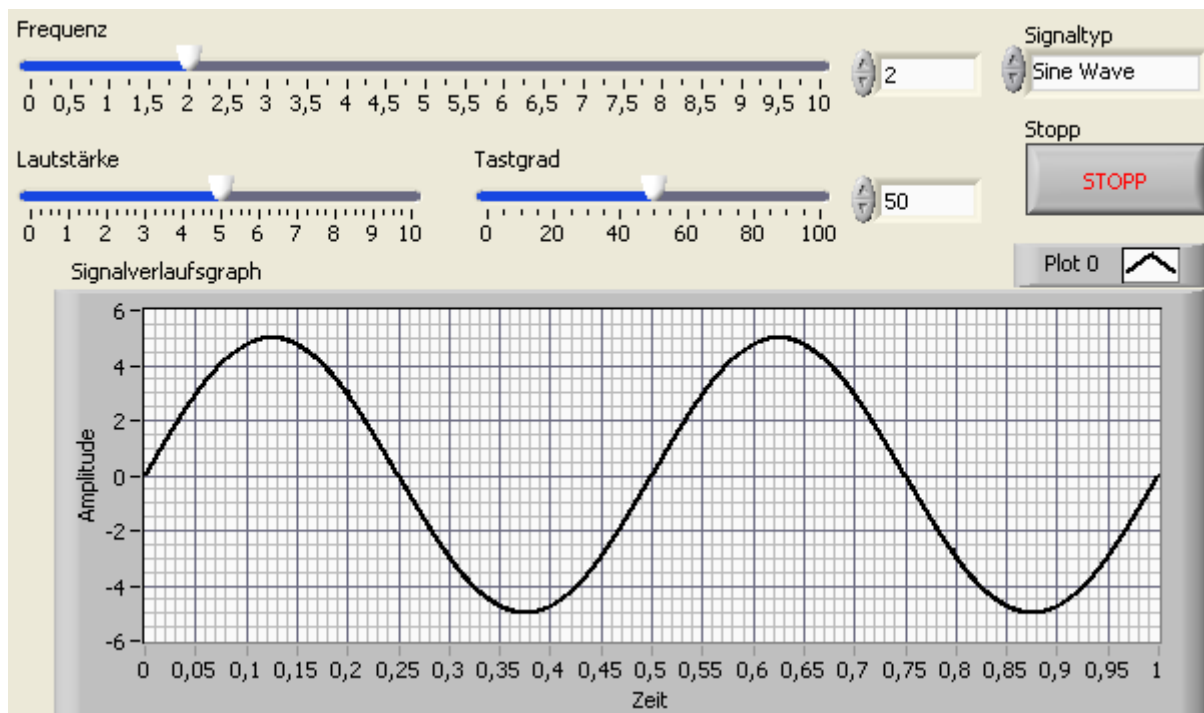
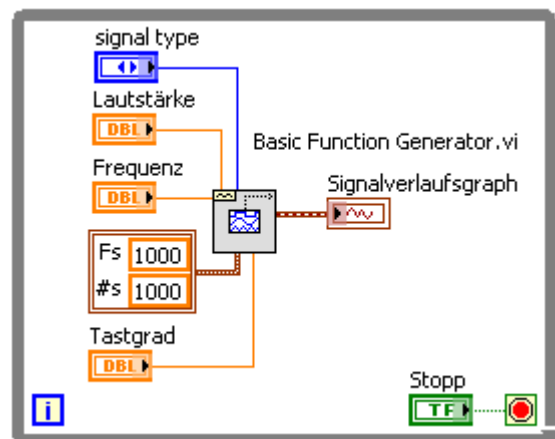
Bei beiden Werten der erstellten Konstante die Beschriftung sichtbar machen: Es handelt sich um die Samplefrequenz F_s und die Samplezahl $\#s$

Der Signaltyp-Eingang erhält ein Bedienelement.
(Automatisch wird ein Textring erzeugt)

Der Signalausgang erhält einen Signalverlaufsgraph.

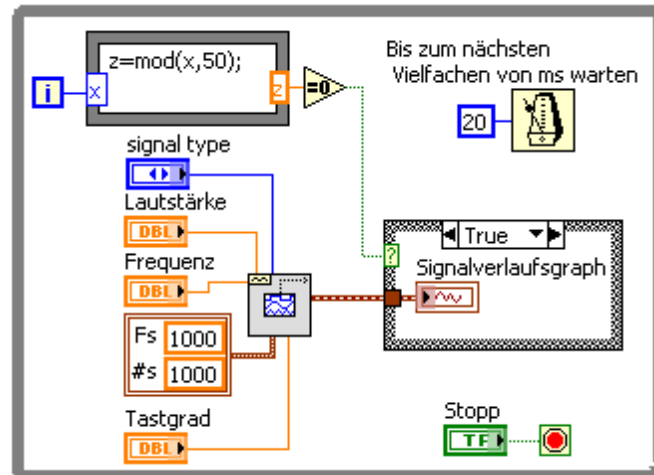
Mit Werkzeugpalette → Pinsel → Hintergrundfarbe weiß wählen,

Mit Rechtsklick auf Signalverlaufsgraph → Eigenschaften → Plots die Farbe und Stärke der Signallinie ändern und bei Eigenschaften → Skalen bei der X-Achse und der Y-Achse die Farben bei Haupt- und Feingitter ändern.



Test: Nur bei ganzzahligen Vielfachen der Frequenz vom Graph-Fenster-Endwert erhalten Sie ein stehendes Bild. (z.B. Fensterendwert 1. Frequenz 1, 2, 3 .. → stehendes Bild)

4.3 Graph-Schnappschuss jede Sekunde

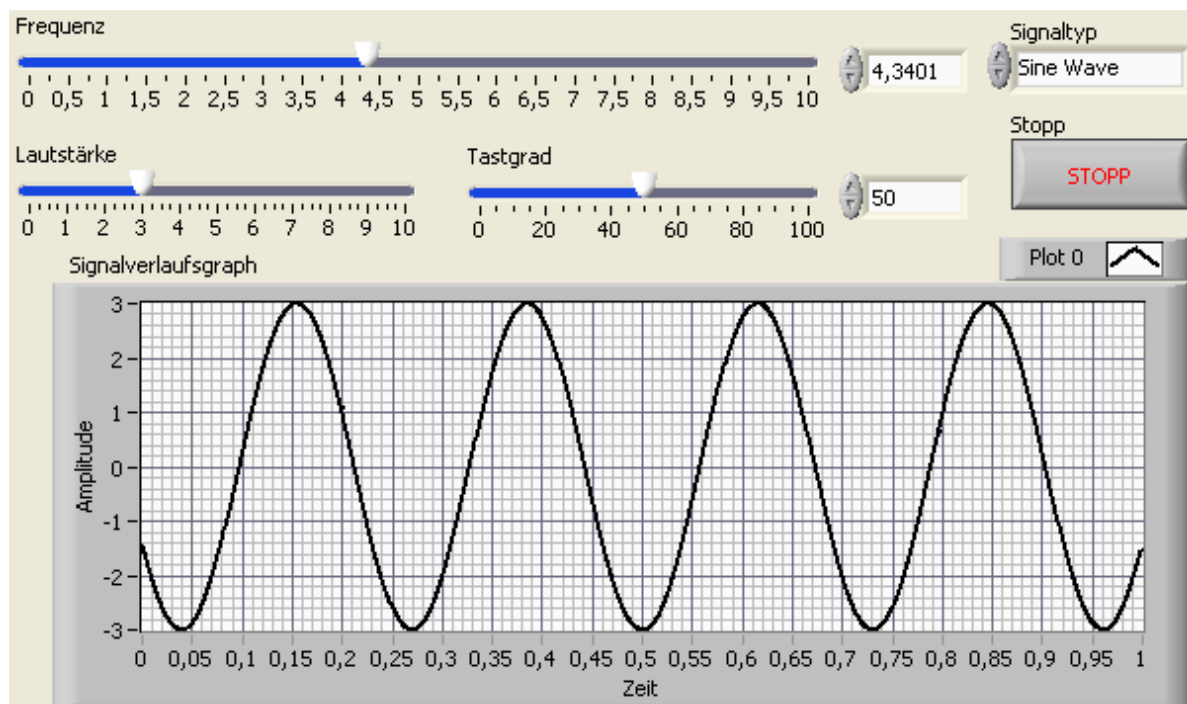


Erklärung, wie die obenstehende Lösung funktioniert.:

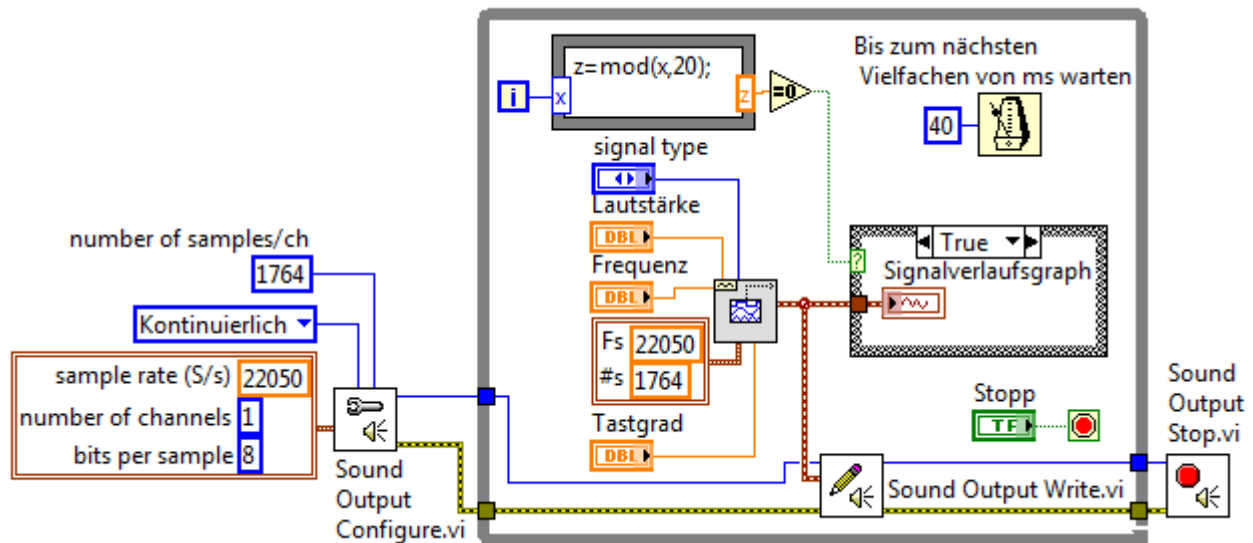
Die Funktion $z = \text{mod}(x, 50)$ berechnet den Rest, der beim Teilen von x durch 50 entsteht. Wenn $z=0$ ist, wurde die Schleife 50 mal durchlaufen ($i=50, 100, 150$, usw.)

Sinn: Der Signalverlaufsgraph wird nur bei jedem 50. Schleifendurchlauf aktualisiert.

Dadurch wird nach $50 \times 20 \text{ ms} = 1 \text{ s}$ der Graph neu gezeichnet und man erhält ein kurzzeitig stehendes Bild bei jeder beliebigen Frequenz.



4.4 Erzeugte Töne mit der Soundkarte hörbar machen

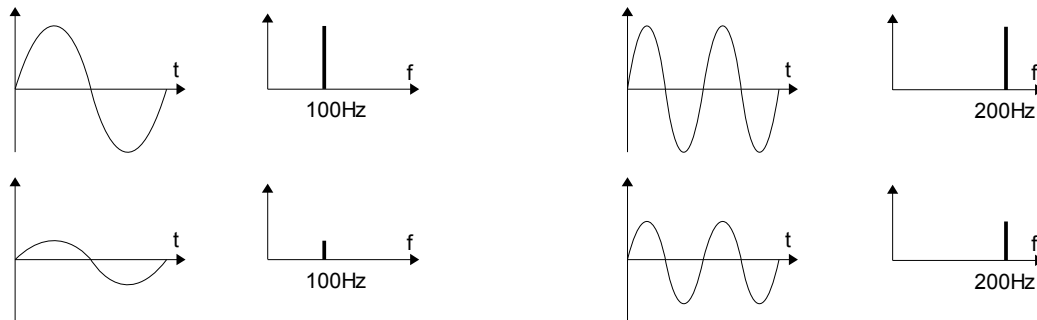


Bei Programmierung → Audio & Grafik → Audio finden Sie die Soundkomponenten
Folgende Anpassungen vornehmen:

- Fs (Funktionsgenerator) = Sample rate Soundkarte
- Sampleanzahl: Fs sollte durch Sampleanzahl teilbar sein (oder mit Rest 0,5), sonst entstehen ungewollte Störgeräusche.
z.B. 1764 Samples bei einer Samplefrequenz von 22050Hz
- 8 Bit per Sample, 1 Kanal
- Frequenzbereich 10 Hz bis 10.000Hz, Schieber-anzeige logarithmisch
- Lautstärke max. 1, Tastgrad max. 100%
- Kontinuierliche Signalerzeugung (→ keine Störungen beim Ändern der Frequenz)
- Signalverlaufsgraph Zeit-Achse: max. 0,02s → 4 Perioden sichtbar bei 200Hz
- Beim Öffnen der Datei und der erstmaligen Ausführung sollen folgende Standard-Werte eingestellt sein (Rechte Maus auf Objekt → Datenoperationen → aktuellen Wert als Standard setzen):
 - $f=200\text{Hz}$
 - Lautstärke 0,4
 - Tastgrad 50%
 - Sine Wave
- Testen und beschreiben Sie den Höreindruck bei den verschiedenen Kurvenformen. ($f=200\text{Hz}$).
Verändern Sie dabei auch den Tastgrad des Rechtecksignals.

Ergebnisse und beschriebene Höreindrücke bei 4.5 mit zugehörigen Spektren.

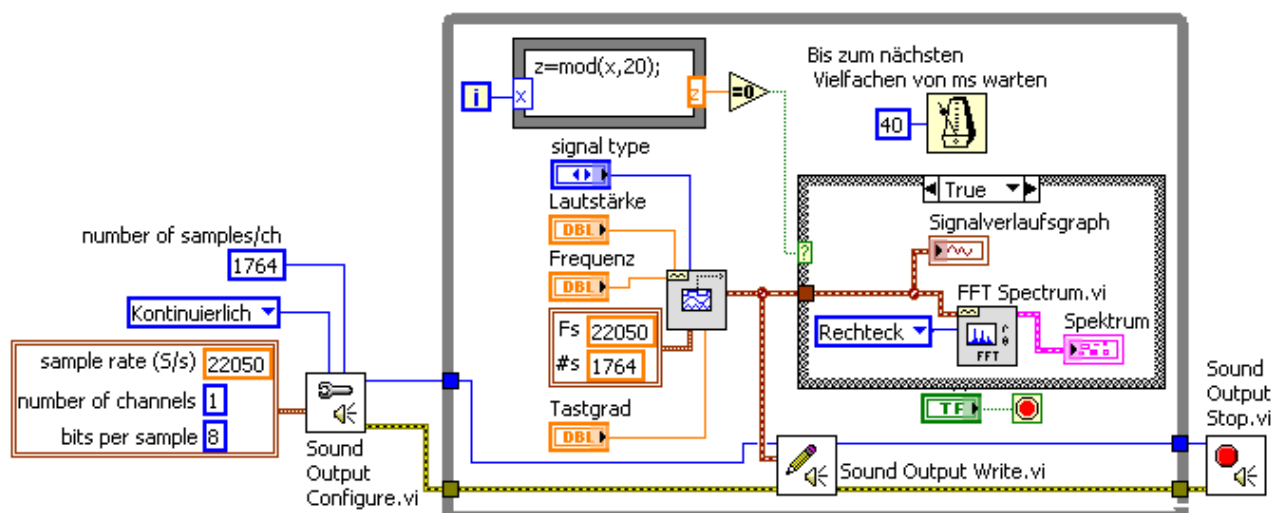
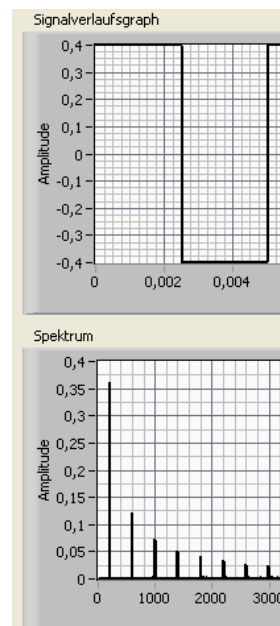
4.5 Spektrum von Signalen



Ein Spektrum zeigt an, welche Frequenzen in welcher „Intensität“ in einem Signal vorhanden sind. An der X-Achse steht die Frequenz f ! Es gibt ein mathematisches Verfahren (FFT = Fast Fourier Transform = schnelle Fourier-Transformation), mit dem errechnet werden kann welche Frequenzen in einem Signal enthalten sind. Die Berechnung wird umso „genauer“, je mehr Perioden des Signals zur Verfügung stehen. Daher sollten für eine gute Darstellung des Spektrums immer mehrere Perioden eines Signals erzeugt und dargestellt werden.

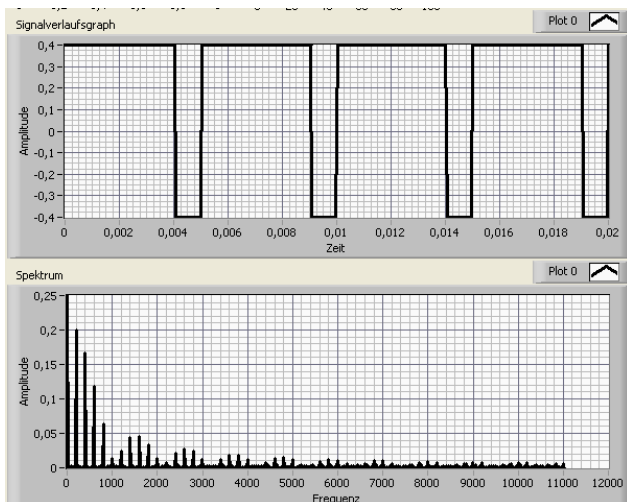
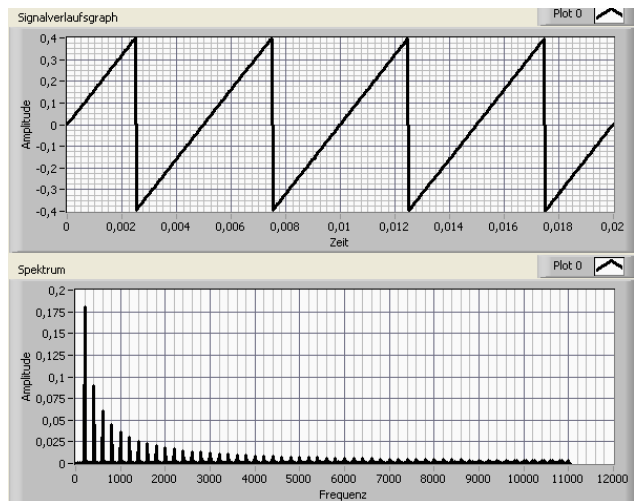
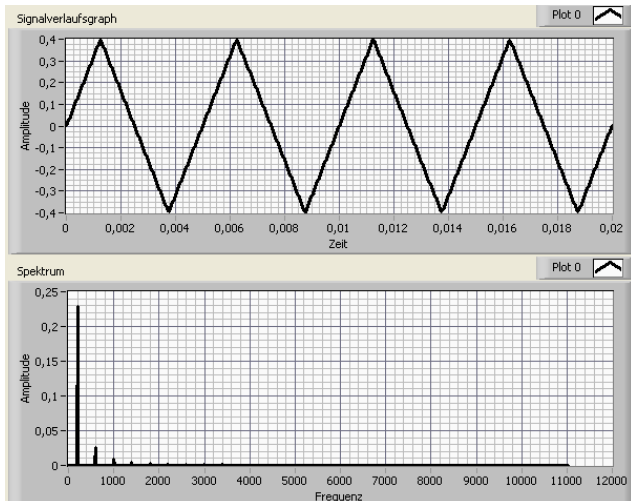
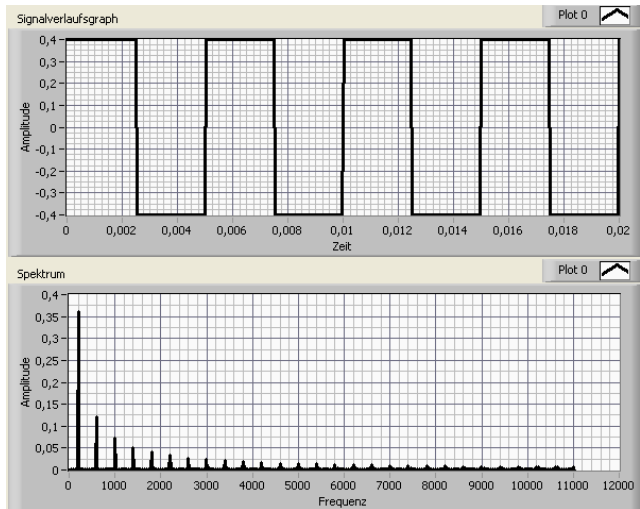
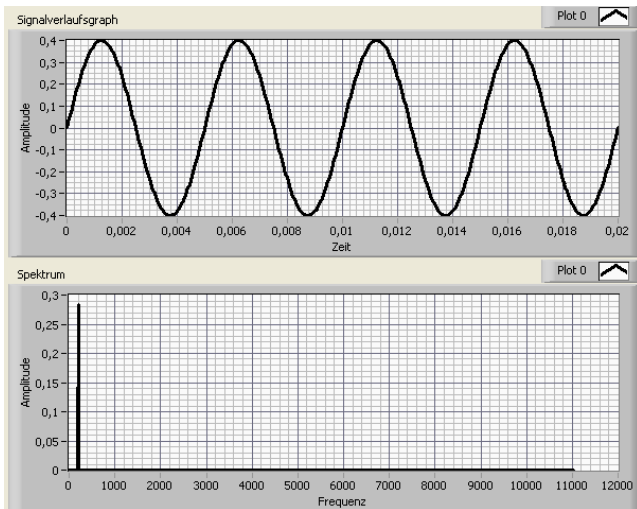
Das Spektrum des nebenstehenden Signals zeigt z.B., dass in einem Rechtecksignal von 200Hz offenbar sehr viele sinusförmige Frequenzen enthalten sind (200Hz, 600Hz, 1000Hz, 1400Hz...) wobei die Amplitude der höheren Frequenzen („Oberwellen“) immer weiter abnimmt.

Diese hohen Frequenzen hört man auch: Ein Rechteck von 200Hz hört sich viel „höher“ an als ein Sinus von 400Hz.



- Signalverarbeitung → Signalverlaufsmessungen → FFT-Spektrum (Betrag, Phase)
- am Anschluss Fenster eine Konstante erstellen und „Rechteck auswählen“
- einen 2. Signalverlaufsgraphen an den Ausgang Betrag anschließen und diesen „Spektrum“ nennen.

4.5.1 Ergebnisse: unterschiedliche Signalformen mit Spektren



4.6 Zwei sinusförmige Frequenzen addieren

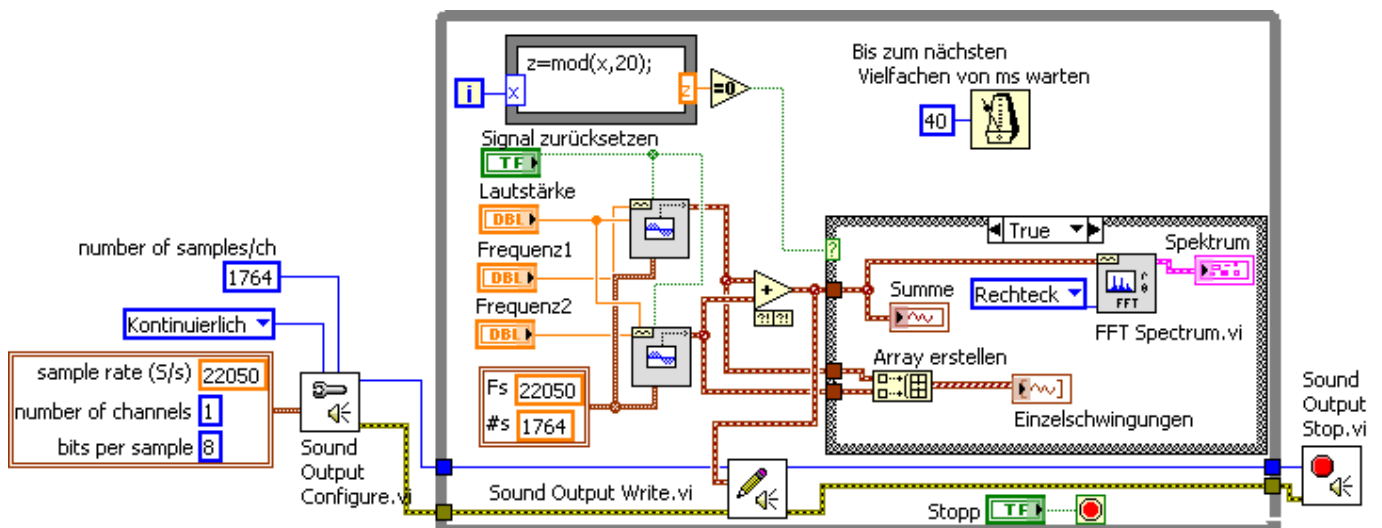
Bauen Sie nacheinander das letzte Blockschaltbild um und testen Sie immer wieder einzeln die Auswirkungen Ihrer Änderungen.

- Funktionsgenerator durch Sinusgenerator ersetzen, Eingabe Signalart und Tastgrad entfernen.
- Sinusgenerator mit Frequenzeingabe kopieren → 2 Sinusgeneratoren
Lautstärke und Sampleinfo gemeinsam
Beide Signale sollen addiert und die Summe in einem Graph angezeigt werden
- Zusätzlich werden die Signale der beiden Sinusgeneratoren einzeln in einem gemeinsamen Graph angezeigt,
Dazu muss ein Array erstellt werden, das die Werte beider Sinusgeneratoren in einer gemeinsamen „Tabelle“ zusammenfasst.
(Aus einer Spalte Sinus-Werte werden 2 Spalten Sinuswerte)

Um die entstehenden Kurven besser darstellen zu können, nehmen Sie folgende Einstellungen vor:

- 1764 Samples bei einer Samplefrequenz von 22050Hz
- 40ms warten bis zur nächsten Berechnung
- Anzeigezeit in den Zeit-Graphen max. 0,08
Im Spektrum max. 2000Hz

Testen Sie mit zwei sehr nahe beieinander liegenden Frequenzen,
z.B. 1. Frequenz: 400Hz 2. Frequenz: 401 bis 405Hz



Bei Veränderung der Frequenz verschiebt sich die Phasenlage der beiden Sinusgeneratoren leicht, daher kann es vorkommen, dass sich beide auslöschen wenn man beide wieder auf die gleiche Frequenz einstellt.

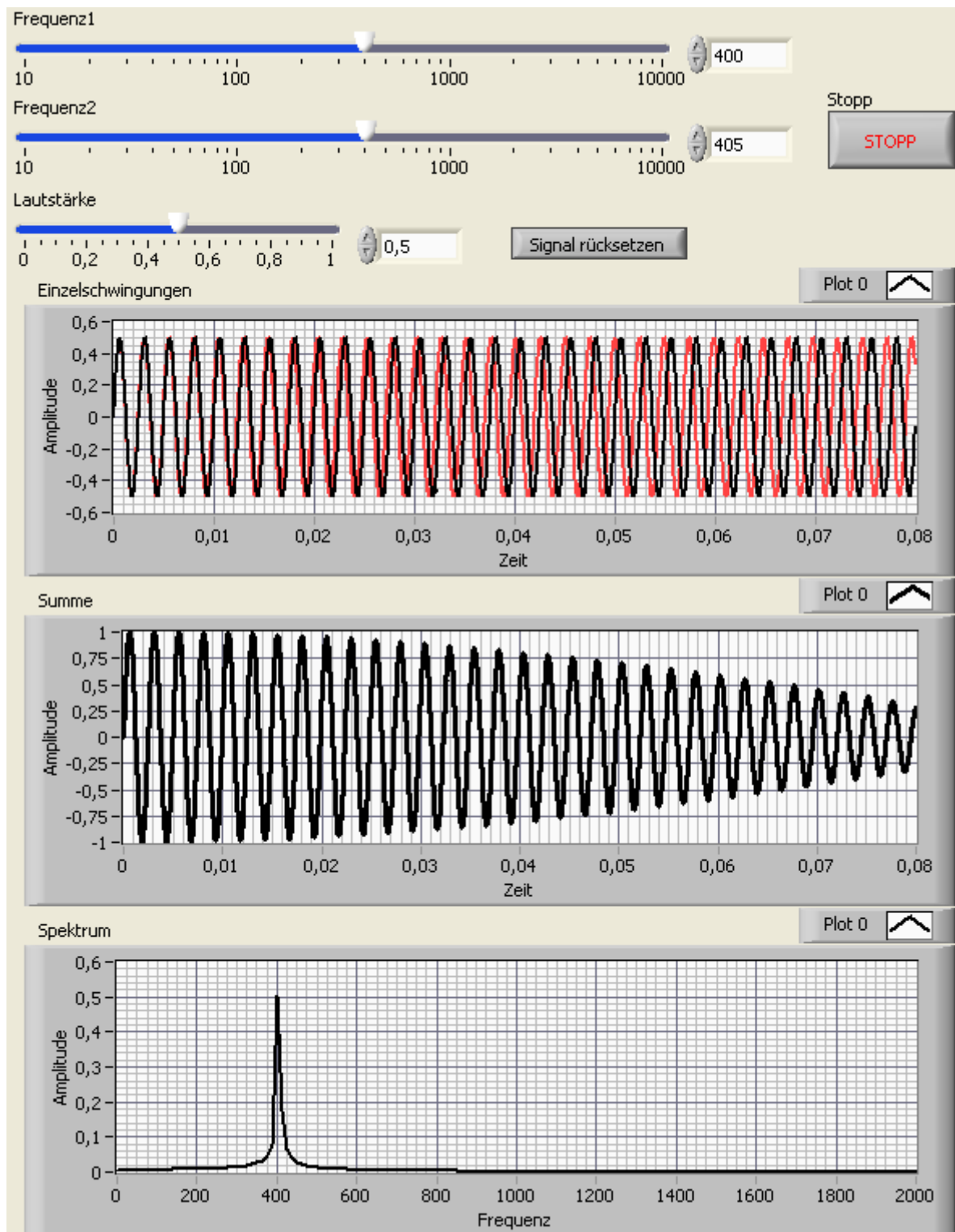
- In solchen und ähnlichen Störfällen kann mit dem Taster „Signal zurücksetzen“ die Phasenlage wieder in Einklang gebracht werden.

4.6.1 Ergebnis:

Liegen die beiden zu addierenden Frequenzen dicht beieinander, so löschen sich in kurzen Zeitabständen immer wieder aus. Dies nennt man „Schwebung“.

Bei den Einzelschwingungen sieht man: Zu Beginn sind beide Frequenzen fast gleich. Nach einigen Perioden sieht man jedoch, dass die Frequenz2 (rot) höher ist.

Im Spektrum kann man die beiden Linien noch nicht sehen, da sie zu nahe beieinander liegen.

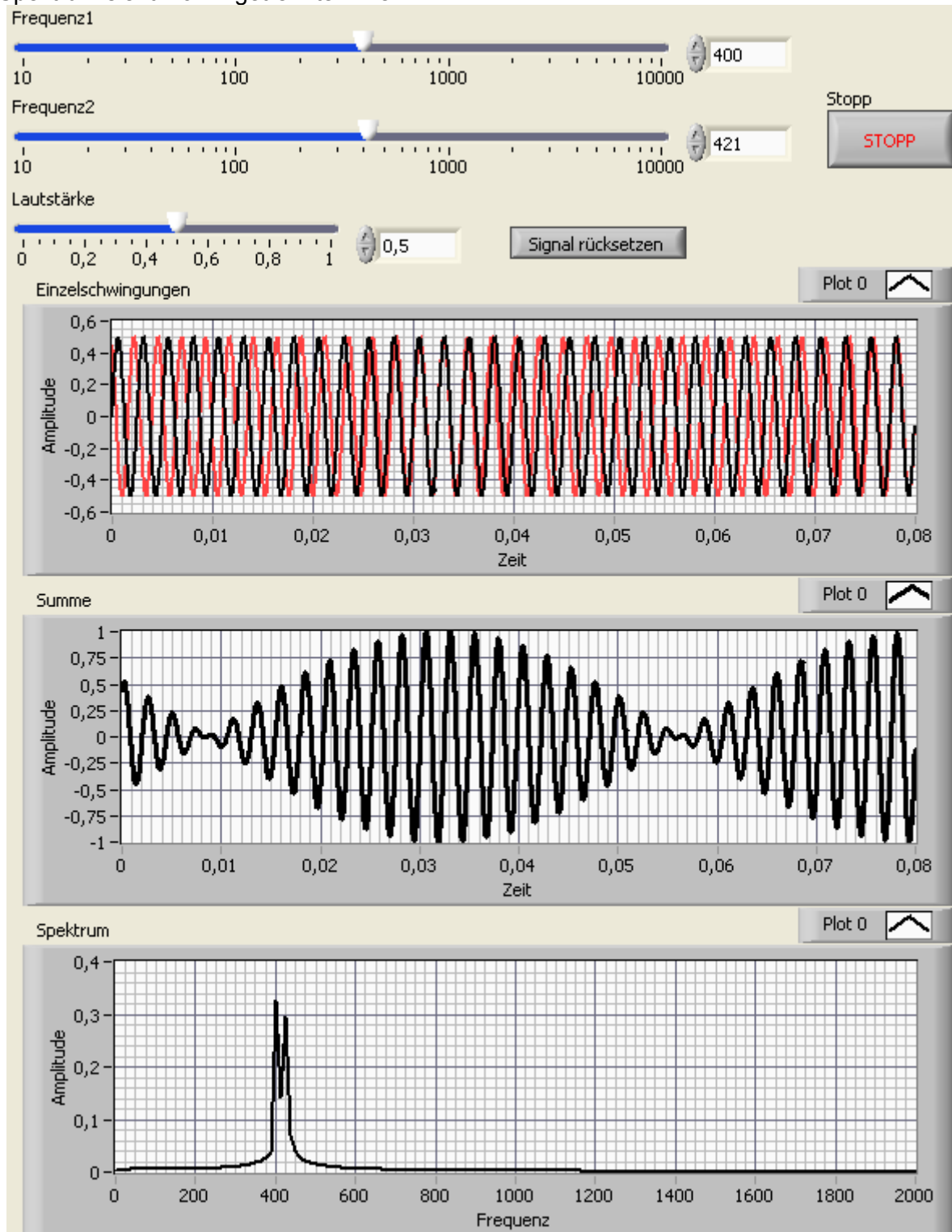


4.6.2 Ergebnis bei 400Hz/421Hz

Im Summen-Diagramm sieht man nun die Schwebung.

An den Stellen, an denen die Summenamplitude 0 ist, löschen sich die beiden Kurven gegenseitig aus, weil die Kurven 180° gegenphasig verlaufen. Die „Nulldurchgänge“ der Hüllkurve sind im Abstand $1/21\text{Hz} = 0,047\text{s}$ zu sehen. (Am besten hört man die Nulldurchgänge (bei 400/401Hz im Abstand von 1s.)

Im Spektrum sieht man 2 getrennte Linien.



4.7 Mehrere sinusförmige Spannungen mit festgelegten Frequenzen und festgelegten Amplituden zu einer Rechteckspannung addieren (Fourier-Synthese)

Wir überprüfen die These, ob es stimmt, dass in einer rechteckförmigen Spannung unendlich viele Sinusschwingungen enthalten sind, indem wir umgekehrt aus unendlich vielen Sinusschwingungen ein Rechtecksignal zusammensetzen.

Die folgenden Formeln zeigen, welche Frequenzen mit welchen Amplituden addiert werden müssen:

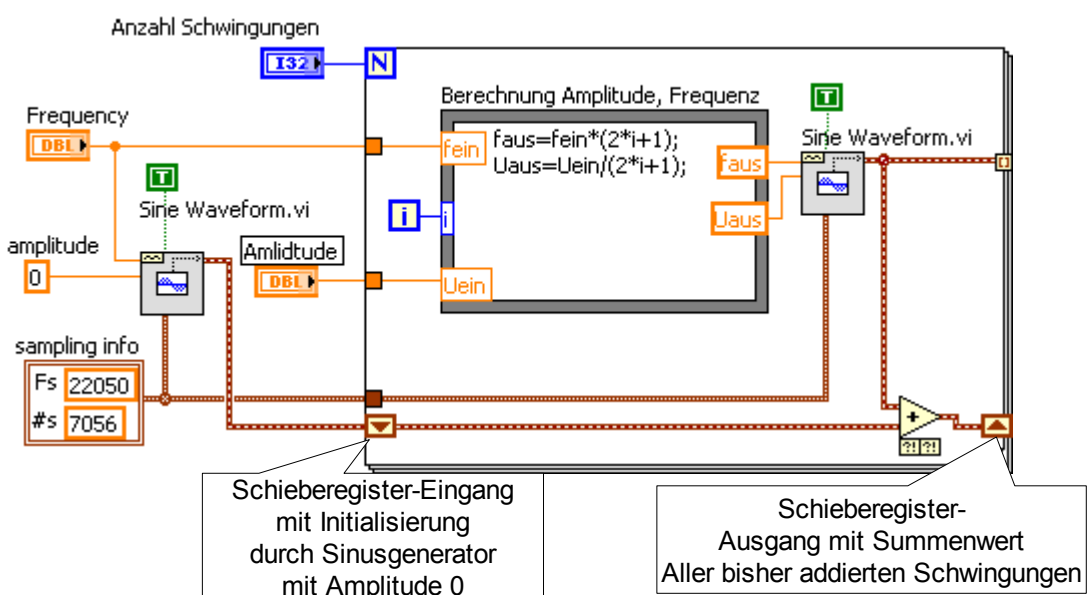
$$\sum_{i=0}^{N-1} \frac{U}{2 \cdot i + 1} \cdot \sin((2 \cdot i + 1) \omega \cdot t) =$$

$$\frac{1}{1} \cdot \hat{U} \cdot \sin(1 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{3} \cdot \hat{U} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{5} \cdot \hat{U} \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{7} \cdot \hat{U} \cdot \sin(7 \cdot \omega \cdot t) + \dots$$

Beispiel: Sinus 1V, 1 kHz addieren mit
Sinus 1/3V, 3 kHz addieren mit
Sinus 1/5V, 5 kHz usw.

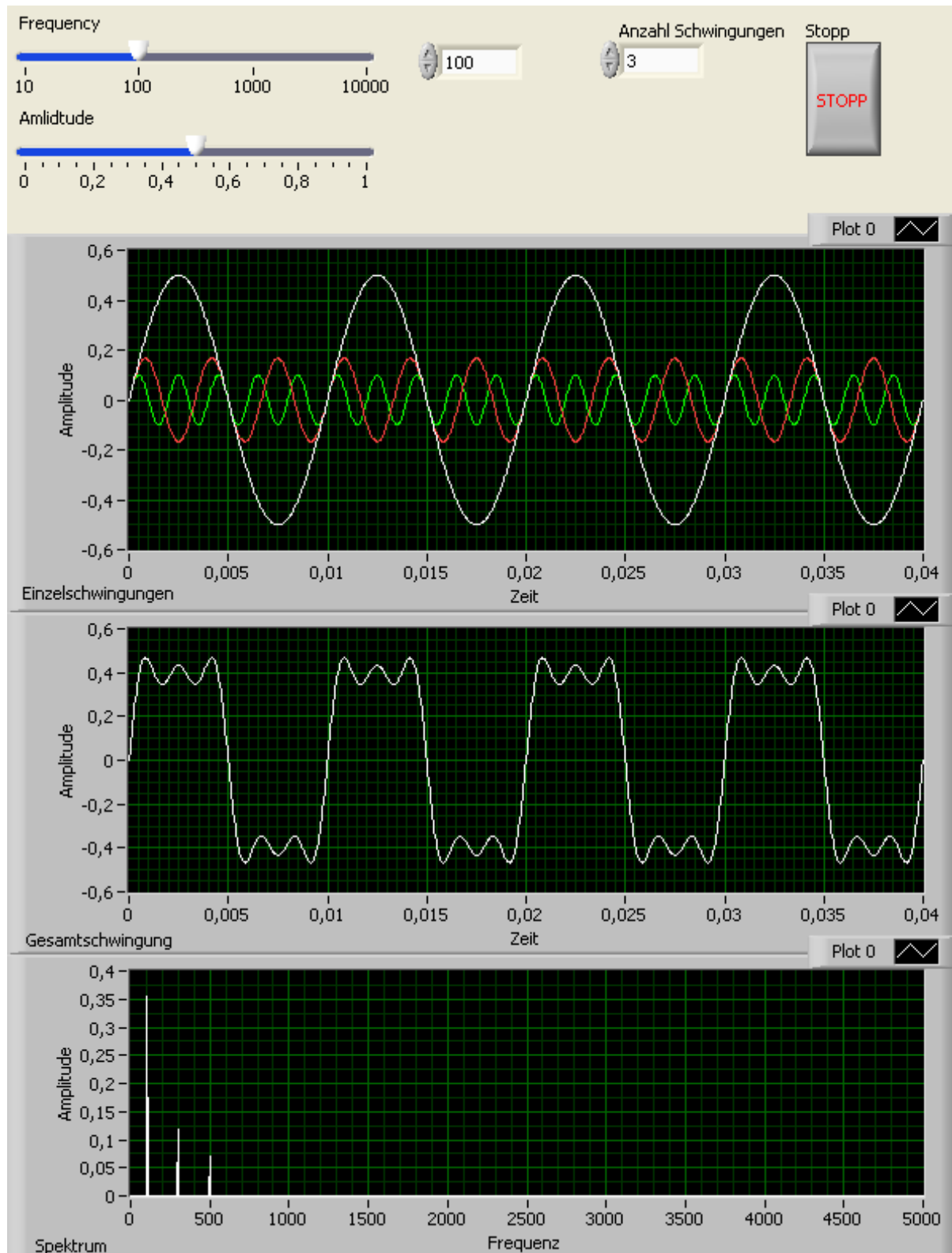
Programmiertechnische Lösung:

- Verwenden Sie als Grundlage das VI „Spektrum von Signalen“
- Wir addieren nun in einer For-Schleife die Sinusschwingungen
- Ein „Schieberegister“ merkt sich den letzten Additionswert:
Also: 0 addieren mit erstem Sinus, → Wert im Schieberegister merken,
Wert aus Schieberegister mit zweitem Sinus addieren und wieder merken,
Wert aus Schieberegister mit drittem Sinus addieren und wieder merken, usw.
- Das Schieberegister muss zu Beginn initialisiert werden. Dies geschieht am Einfachsten, indem ein weiterer Sinusgenerator mit der Amplitude 0 und sonst gleichen Werten wie der andere Sinusgenerator an den Eingang geschaltet wird.
- Die Berechnung der Amplitude $U / (2 \cdot i + 1)$ und der Frequenz $((2 \cdot i + 1)$ erfolgt in einem Formelknoten.

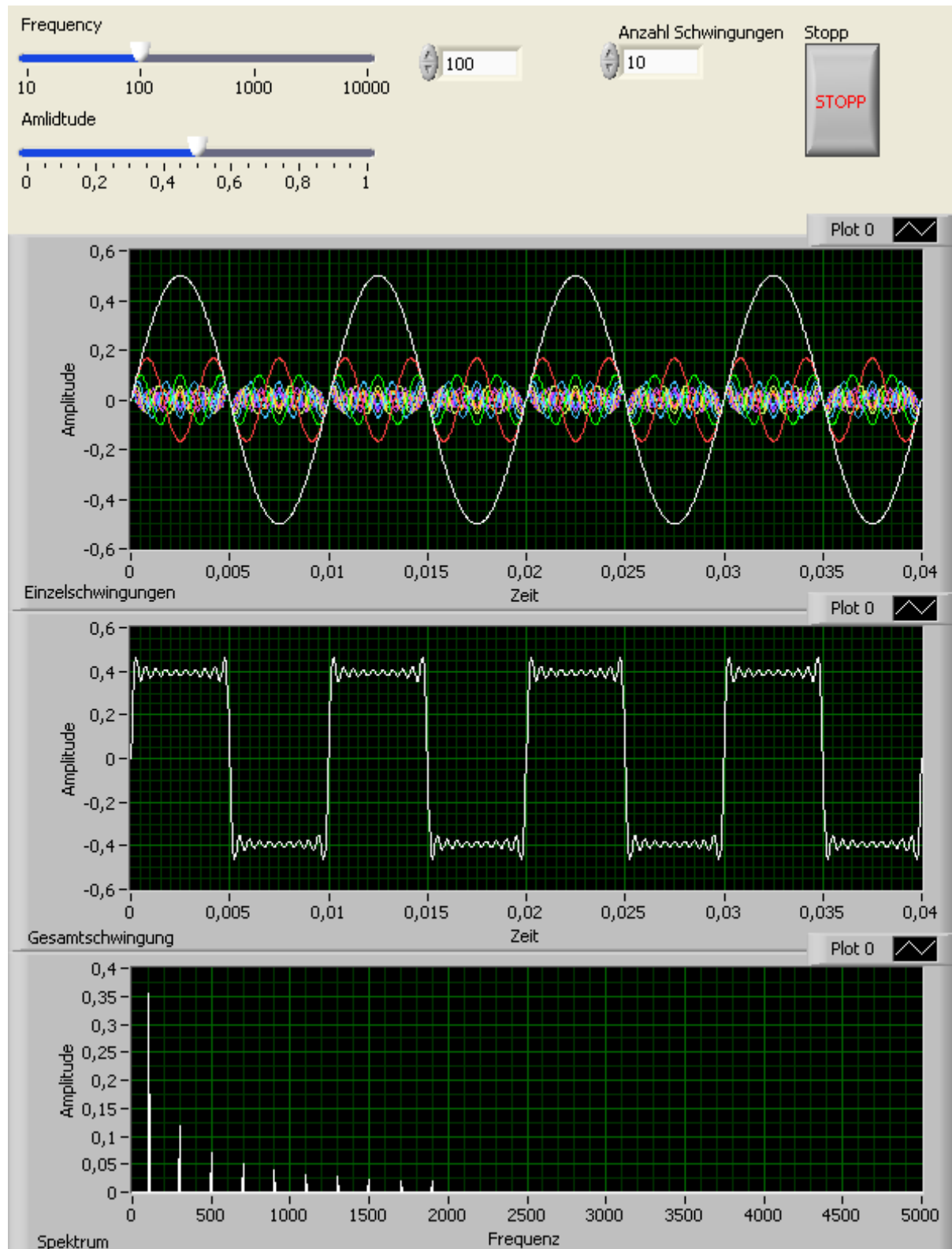


- Das Signal des Sinusgenerators muss nach jeder Periode zurückgesetzt werden.

4.7.1 Ergebnisse Rechteck aus 3 Sinusschwingungen



4.7.2 Ergebnisse Rechteck aus 10 Sinusschwingungen



4.8 Fourier-Synthese mit Rechteck, Dreieck, und Sägezahn

Rechteck:

$$\sum_{i=0}^{N-1} \frac{U}{2 \cdot i + 1} \cdot \sin((2 \cdot i + 1) \omega \cdot t) =$$

$$\frac{1}{1} \cdot \hat{U} \cdot \sin(1 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{3} \cdot \hat{U} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{5} \cdot \hat{U} \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{7} \cdot \hat{U} \cdot \sin(7 \cdot \omega \cdot t) + \dots$$

Dreieck:

$$\sum_{i=0}^{N-1} (-1)^i \frac{U}{(2 \cdot i + 1)^2} \cdot \sin((2 \cdot i + 1) \omega \cdot t) =$$

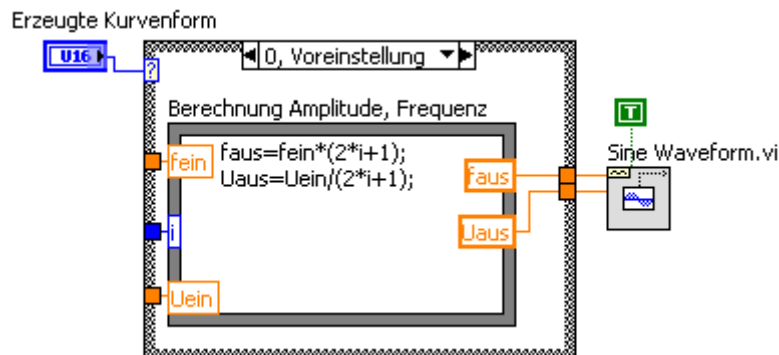
$$\frac{1}{1^2} \cdot \hat{U} \cdot \sin(1 \cdot \omega \cdot t) - \frac{1}{3^2} \cdot \hat{U} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{5^2} \cdot \hat{U} \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t) - \frac{1}{7^2} \cdot \hat{U} \cdot \sin(7 \cdot \omega \cdot t) + \dots$$

Sägezahn:

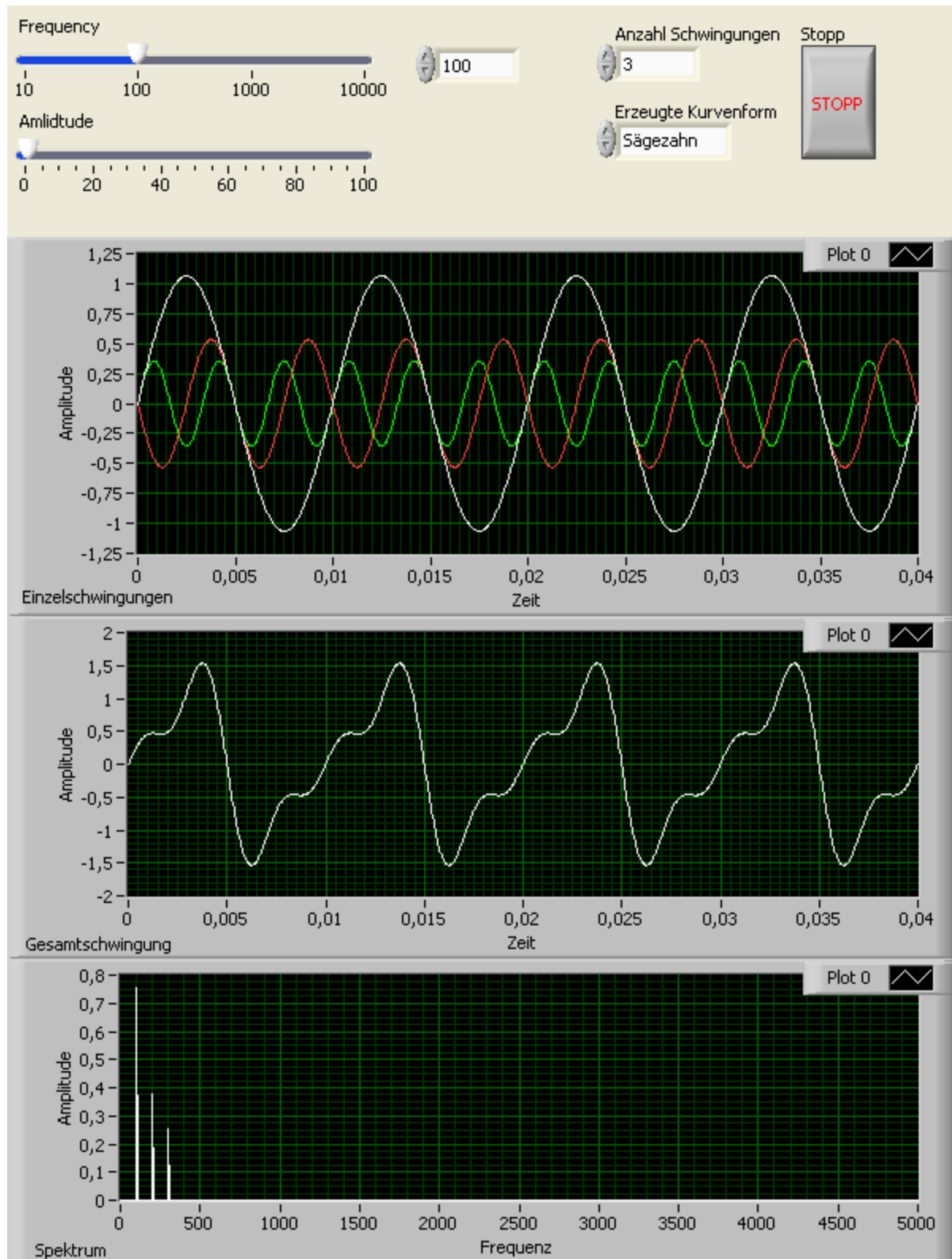
$$\sum_{i=0}^{N-1} (-1)^i \frac{U}{(i+1)} \cdot \sin((i+1) \omega \cdot t) =$$

$$\frac{1}{1} \cdot \hat{U} \cdot \sin(1 \cdot \omega \cdot t) - \frac{1}{2} \cdot \hat{U} \cdot \sin(2 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{3} \cdot \hat{U} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t) - \frac{1}{4} \cdot \hat{U} \cdot \sin(4 \cdot \omega \cdot t) + \dots$$

Die Wahl der Kurvenform erfolgt mit einer Case-Struktur:



4.8.1 Ergebnisse Sägezahn aus 3 Sinusschwingungen



4.8.2 Ergebnisse Dreieck aus 3 Sinusschwingungen

