

HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHRANSTALT HOLLABRUNN

Höhere Abteilung für Elektronik – Technische Informatik

Jahrgang: 5AHEL	Gegenstand: DIC	Lehrer: Professor Reisinger
Projektende: 22.03.2023	Projekt: 2. DIC Projekt - DTMF	
Datum der Abgabe: 16.03.2023	Schüler: Marvin Perzi	Unterschrift:

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	3
2	Versuchsaufbau 1	4
2.1	Erste Überlegung	4
2.2	Aufbau	4
2.3	Erster Entwurf der Band- und Tiefpässe.....	4
2.3.1	Bandpässe	4
2.3.1.1	Oberer Zweig (1633Hz)	5
2.3.1.2	Unterer Zweig (852Hz)	5
2.3.2	Tiefpässe	5
2.3.2.1	Oberer Zweig (1633Hz)	6
2.3.2.2	Unterer Zweig (852Hz)	6
2.4	Vorgangsweise.....	6
2.5	Messungen ohne „Taster“	7
2.5.1	Signalquellen – Zeitsignal	7
2.5.2	Addiertes Signal – Zeitbereich.....	8
2.5.3	Addiertes Signal – Spektrum	8
2.5.4	Oberer Zweig (1633Hz)	8
2.5.4.1	Nach Bandpass – Zeitbereich	8
2.5.4.2	Nach Bandpass – Spektrum.....	8
2.5.4.3	Nach Quadrierung – Zeitbereich	9
2.5.4.4	Nach Multiplikation mal 2 - Spektrum	10
1.1.1.1	Erklärung der verdoppelten Frequenz.....	10
2.5.5	Unterer Zweig (852Hz)	10
2.5.5.1	Nach Bandpass – Spektrum.....	10
2.5.5.2	Nach Verdopplung - Spektrum	11
2.5.6	Entscheider	11
2.5.7	Ausgang.....	12
3	Versuchsaufbau 2 - Messungen mit „Taster“	12
3.1	Aufbau	12
3.2	Nach Multiplizierer – Spektrum	13
3.3	Signale ohne Verstärkung.....	13
3.4	Unerwünschte hohe Frequenzen	14
3.5	Niedrigere Filterordnung	15
3.5.1	Einstellungen	16
3.5.2	Delay - Hohe Filterordnung.....	17
3.5.3	Delay - niedrige (und gleiche) Filterordnung	17
4	Endaufbau	17
4.1	Tiefpässe.....	17
4.1.1	Quadriertes Signal	18
4.1.2	Filtereinstellungen.....	19
4.1.3	Filterordnung.....	19
4.2	Symboldauer	19
4.3	Anpassung der Verstärkungsfaktoren.....	20
4.3.1	Zeitbereich nach Tiefpass.....	21
4.4	Zeitverlauf nach Verstärkung Mal 10	22
4.5	Zeitverlauf nach Entscheiderschwelle.....	22
4.6	Endaufbau	24
4.7	Endergebnis	24
5	Probe mit anderen „Tasten“	25

5.1	1477Hz und 770Hz	25
5.1.1	Einstellungen	25
5.1.2	Messungen	26
5.1.2.1	Spektrum – Nach Multiplizierer	26
5.1.2.2	Zeitsignal	26
5.2	1805Hz und 941Hz	26
5.2.1	Einstellungen	26
5.2.2	Messungen	27
5.2.2.1	Spektrum	27
5.2.2.2	Zeitsignal	27

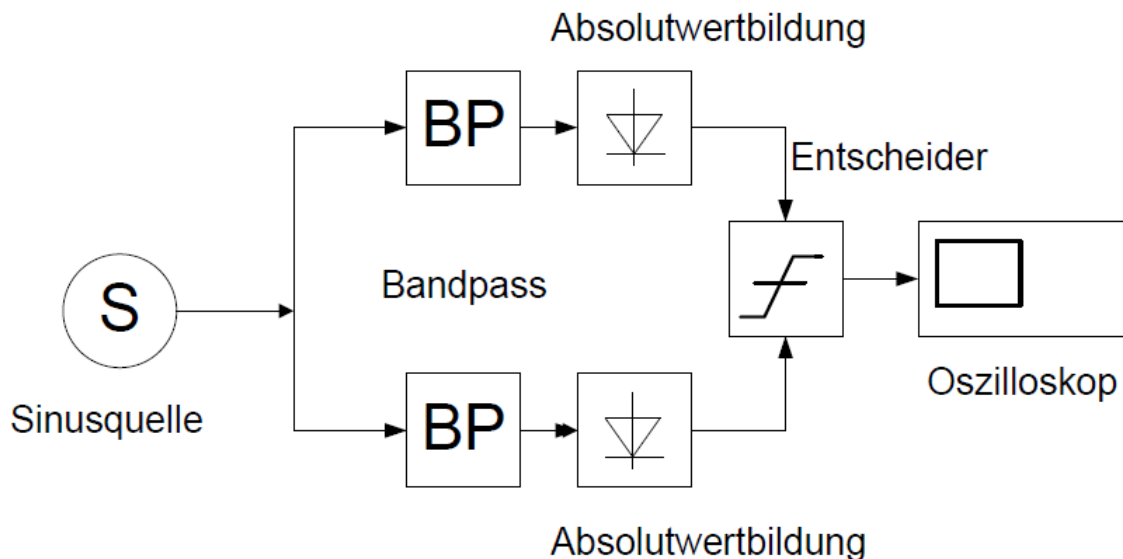
1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung besteht darin, ein analoges Modell des DTMF – Auswerters mit Simulink zu erstellen und zu simulieren.

Abtastrate: 16kSample / s

Symboldauer: 5ms

Das Modell soll anhand dieses Blockschaltbildes designt werden:



In dieser Aufgabenstellung soll die Funktionsweise eines Simulink-Modells erläutert werden und der Gesamtaufbau des Modells soll beschrieben werden. Die einzelnen Bandpass-Filter sollen dimensioniert werden, wobei darauf geachtet werden soll, dass sie eine möglichst geringe Ordnung haben, um den Rechenaufwand zu minimieren. Der Aufbau und die Funktionsweise des Entscheiders sollen erläutert werden und verschiedene Überlegungen sollen eine Rolle spielen. Schließlich soll nachgewiesen werden, dass die Ziffer erkannt wird, während benachbarte Ziffern nicht erkannt werden. Hierbei sollen das Spektrum und das Zeitsignal analysiert werden.

Als Katalognummer 12 ist folgende „Taste“ zu realisieren:

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz	1805 Hz
697 Hz	1	2	3	10	17
770 Hz	4	5	6	11	18
852 Hz	7	8	9	12	19
941 Hz	13	14	15	16	20
1039 Hz	21	22	23	24	25

2 Versuchsaufbau 1

2.1 Erste Überlegung

Zuerst wurden die Signalquellen hergenommen und entsprechend eingestellt. Um aus den 2 Signalen eines zu machen wird ein Addierelement verwendet. Dies entspricht dem „Tastendrucksignal“ bei analogen Telefonen. Damit dies aber nicht dauernd anliegt, wird ein „Taster“ benötigt mit dem man den Druck der Taste simuliert. Dieser wurde mithilfe eines Diskreten Rechteckimpulsgenerator, in Kombination mit einem Multipliziertem realisiert, aber noch nicht eingebaut.

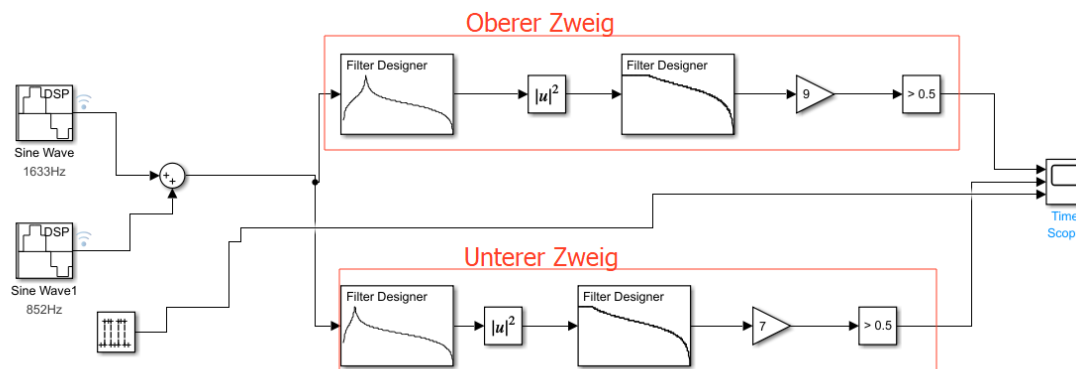
Auf der Leitung werden zuerst alle anderen Frequenzen, als die erste/zweite Frequenz aus der der Wahlton besteht mittels einem Bandpass weggefiltert. Anschließend wird um das Signal vergleichen zu können quadriert/der Betrag gebildet und dadurch entsteht ein Signal, dass nur eine positive Amplitude hat, und das man mit einem Vergleicherelement benutzen kann.

Anschließend werden auch alle höheren Frequenzen (Oberwellen/Störungen) weggefiltert und das Signal verstärkt, damit man nach den beiden Filtern wieder eine größere Amplitude bekommt und damit diese anschließend beim Vergleicherelement benutzt werden kann. **(Diese Überlegung erwies sich als nicht so optimal und wurde später geändert)**

Bei dem ersten Versuch wurde der Verstärkungsfaktor 2 und später 4 genommen. Wenn das Signal größer als die eingestellte Schwelle ist, wird High/1V am Oszi angezeigt. Der Rechteckimpuls wird ebenfalls am Oszi angezeigt, damit man sehen kann, ob das Ganze auch wirklich durch den Impuls ausgelöst wird.

2.2 Aufbau

Der erste Versuch war noch mit Fehlern behaftet und basierte auf falschen Überlegungen.



2.3 Erster Entwurf der Band- und Tiefpässe

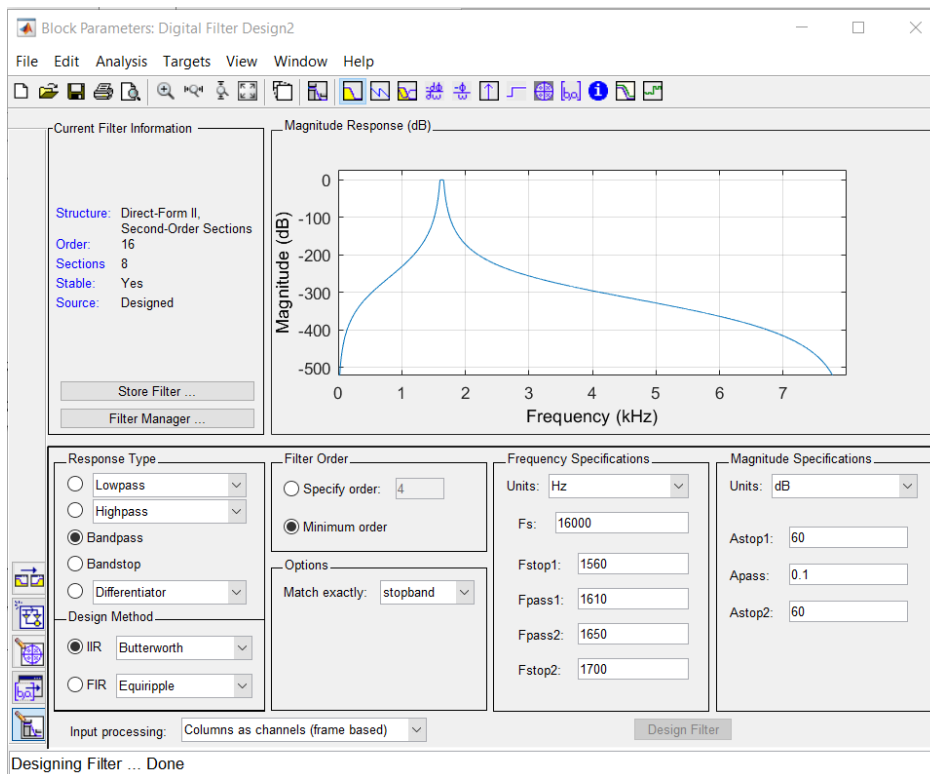
2.3.1 Bandpässe

Die Bandpässe wurden zuerst so gewählt, dass Fpass1 und Fstop1 zwischen der gewünschten Frequenz (1633Hz/852Hz) und den benachbarten (**niedrigeren**) Frequenzen liegen (mit Fpass näher bei der gewünschten Frequenz).

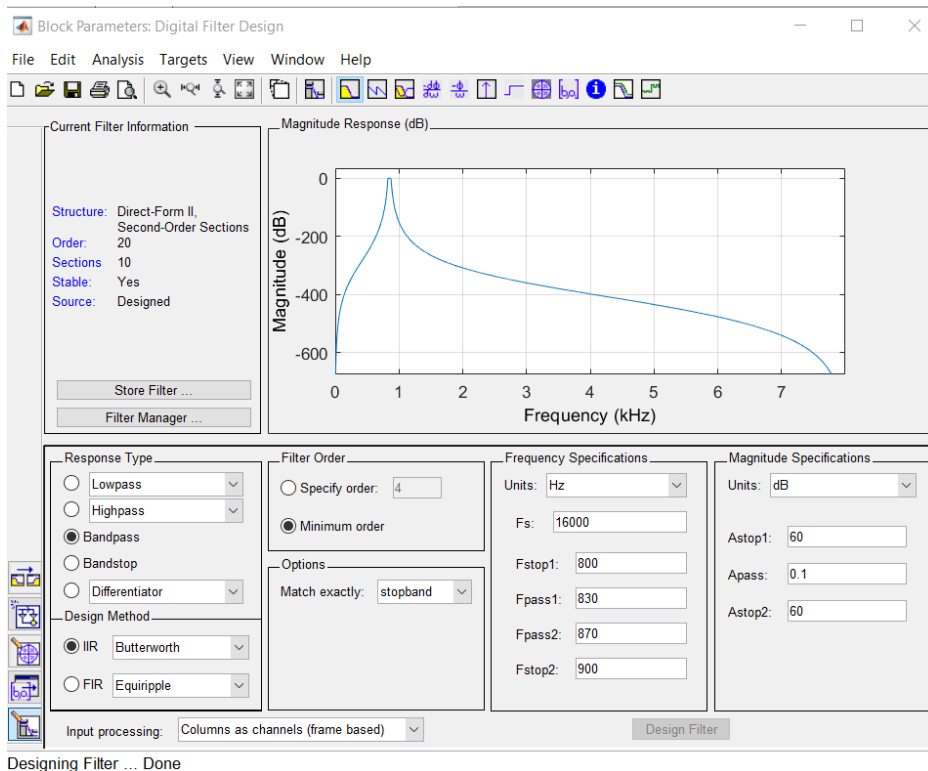
Fpass2 und Fstop2 wurden zuerst ebenfalls so gewählt, dass sie zwischen der gewünschten Frequenz (1633Hz/852Hz) und den benachbarten (höheren) Frequenzen liegen (mit Fpass näher bei der gewünschten Frequenz). **(Diese Überlegung war falsch und wurde später noch geändert.)**

Die Fstop Frequenzen sollten jedoch immer noch genug Abstand zu den Nachbarfrequenzen haben. Fs wurde wie in der Angabe gefordert auf 16000Hz gesetzt.

2.3.1.1 Oberer Zweig (1633Hz)



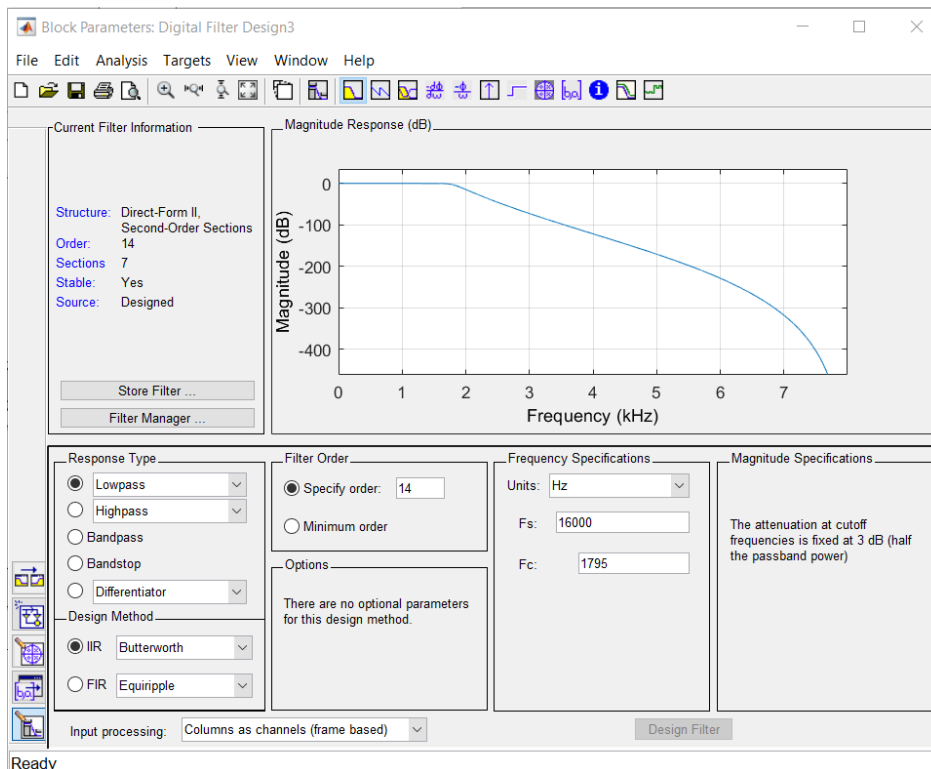
2.3.1.2 Unterer Zweig (852Hz)



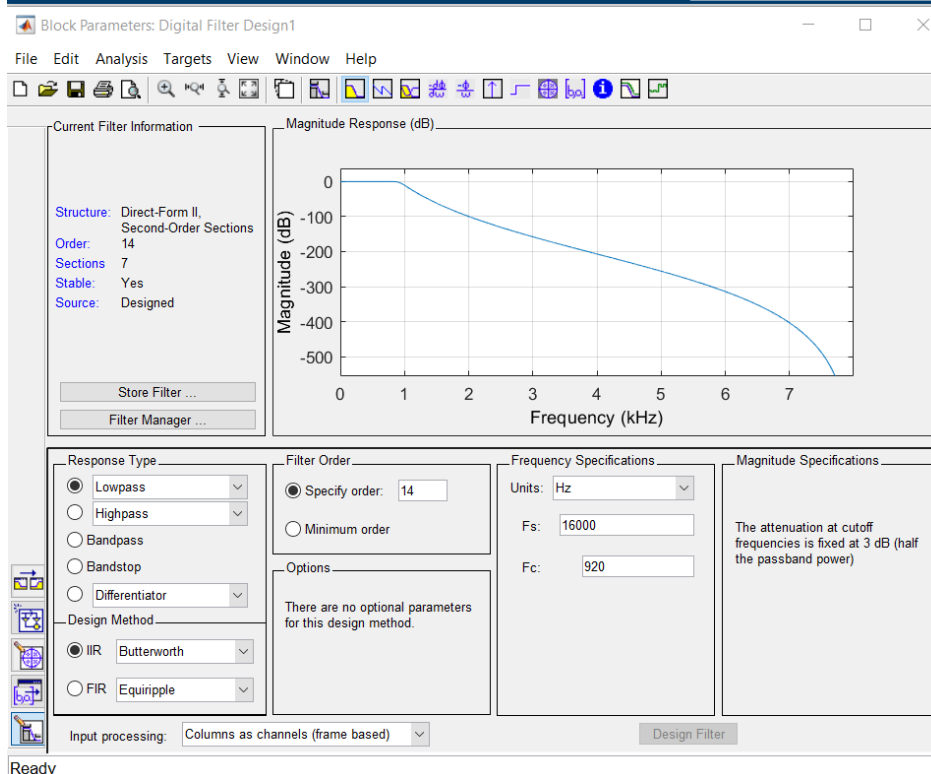
2.3.2 Tiefpässe

Die Grenzfrequenz f_c (bei -3dB) wurde hier ebenfalls zwischen der gewünschten Frequenz (1633Hz/852Hz) und den benachbarten Frequenzen gesetzt. D.h. wenn man diese genau auf die gewünschte Frequenz setzten würde, wäre dort schon 3dB Dämpfung. F_s wurde wie in der Angabe gefordert auf 16000Hz gesetzt.

2.3.2.1 Oberer Zweig (1633Hz)



2.3.2.2 Unterer Zweig (852Hz)

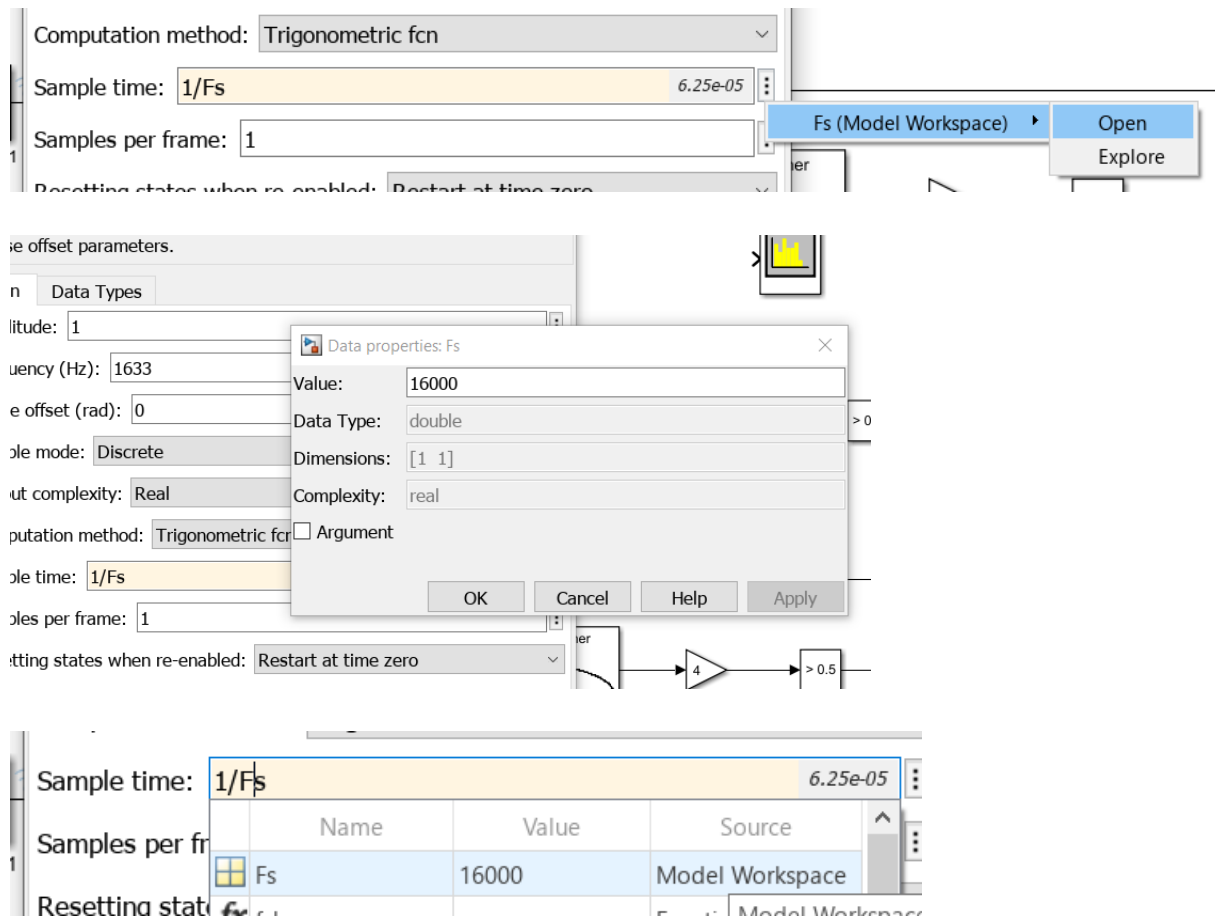


2.4 Vorgangsweise

Zuerst wurde die Schaltung ohne den Taster (ohne Multipliziererteil, mit Impulsgenerator) aufgebaut, damit man die beiden Filter leichter anpassen und überprüfen kann.

Für F_s wurde eine Variable erstellt die den Wert 16000 hat.

Anschließend wurde für alle Elemente die gegebene Abtastzeit/-zeit eingestellt:

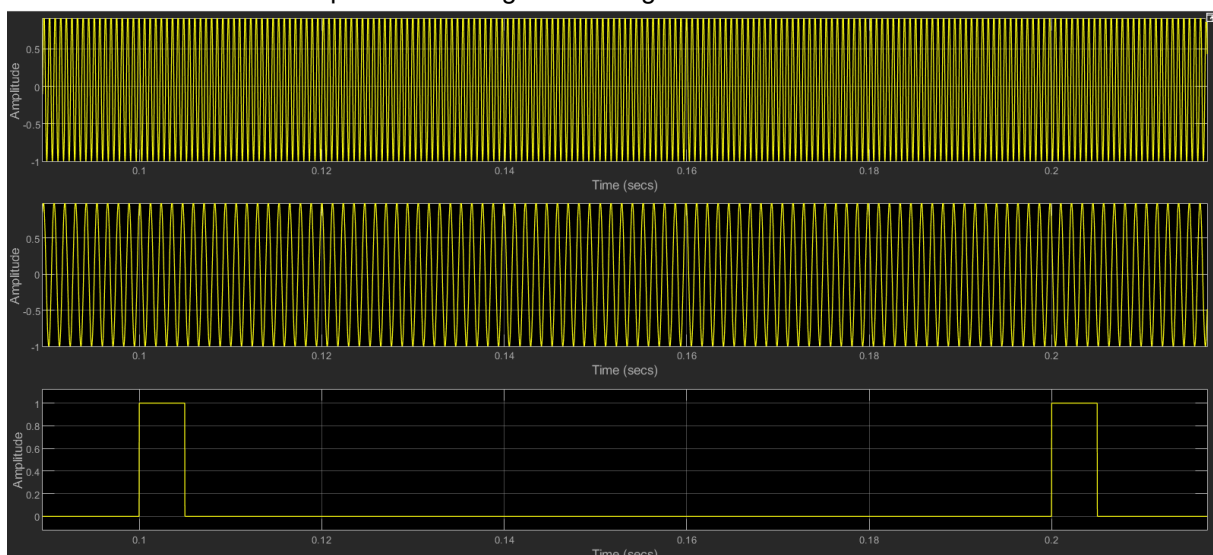


Mit dem Oszi und dem Spektrum Analysator wurden die jeweiligen Signale gemessen.

2.5 Messungen ohne „Taster“

2.5.1 Signalquellen – Zeitsignal

Hier sieht man das die entsprechenden Signale erzeugt werden.



Im Bezug auf das Blockschaltbild gilt folgendes -

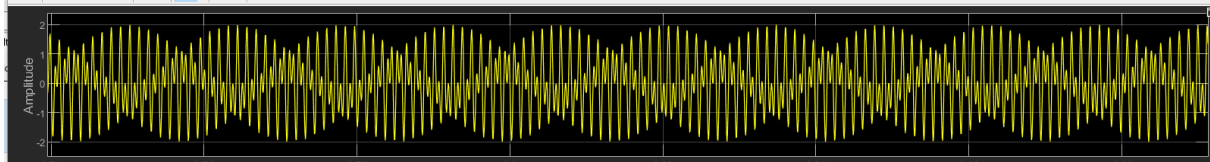
Oben: Sine Wave (Signal 1 – 1633Hz)

Mitte: Sine Wave1 (Signal 2 – 852Hz)

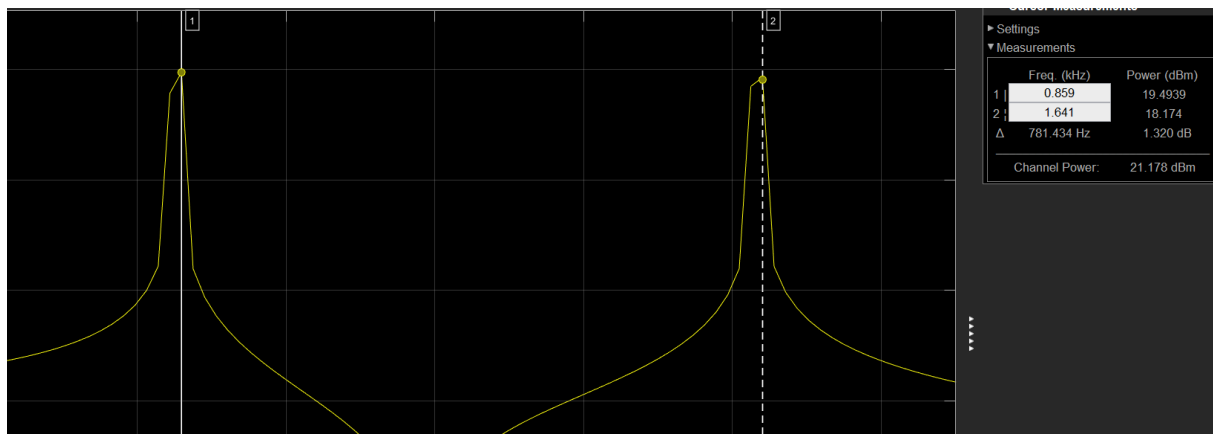
Unten: Rechteckimpuls

2.5.2 Addiertes Signal – Zeitbereich

Anschließend werden die Signale mit dem Addierelement summiert:



2.5.3 Addiertes Signal – Spektrum

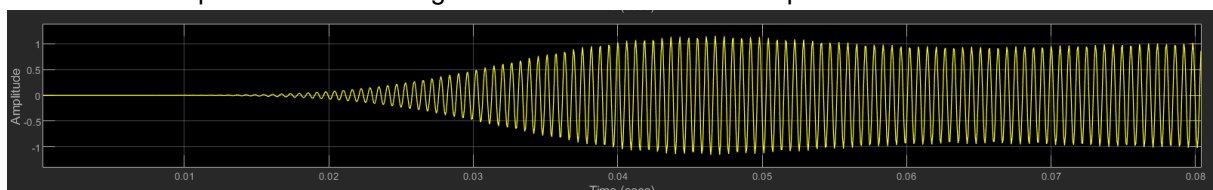


Mit dem Spektrumanalysator kann man sehen, dass das addierte Signal aus den beiden gewünschten Frequenzen besteht (Cursor 1 und 2; mit etwas Toleranz).

2.5.4 Oberer Zweig (1633Hz)

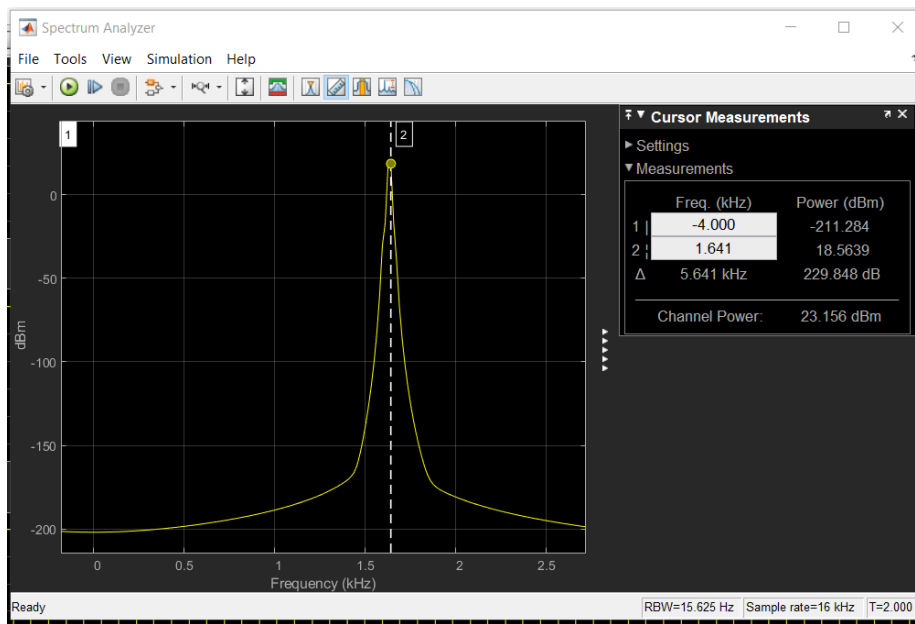
2.5.4.1 Nach Bandpass – Zeitbereich

Nach dem Bandpass besteht das Signal wieder nur aus einer Frequenz.

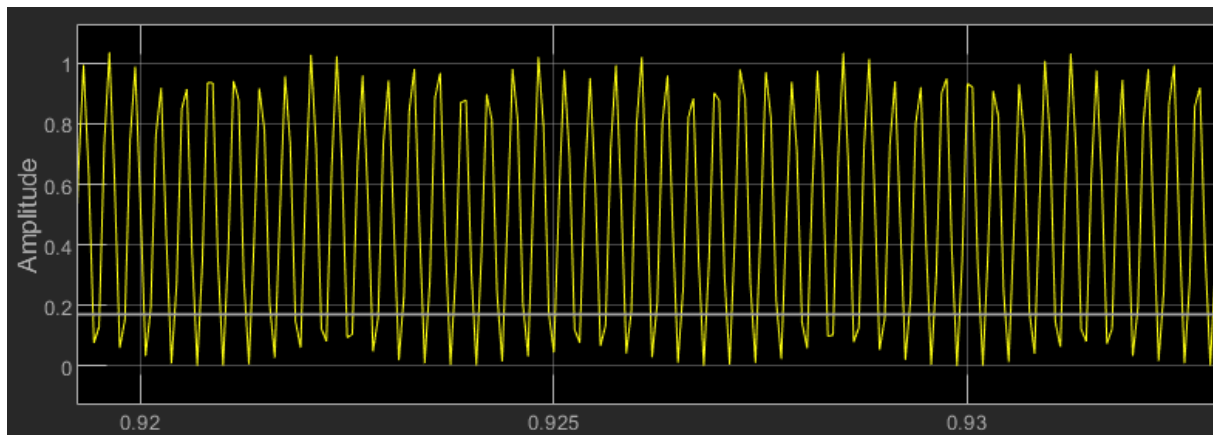


2.5.4.2 Nach Bandpass – Spektrum

Mit dem Spektrumanalysator kann man sehen, dass das Signal wirklich nur mehr aus einer Frequenz (~1633Hz) besteht:

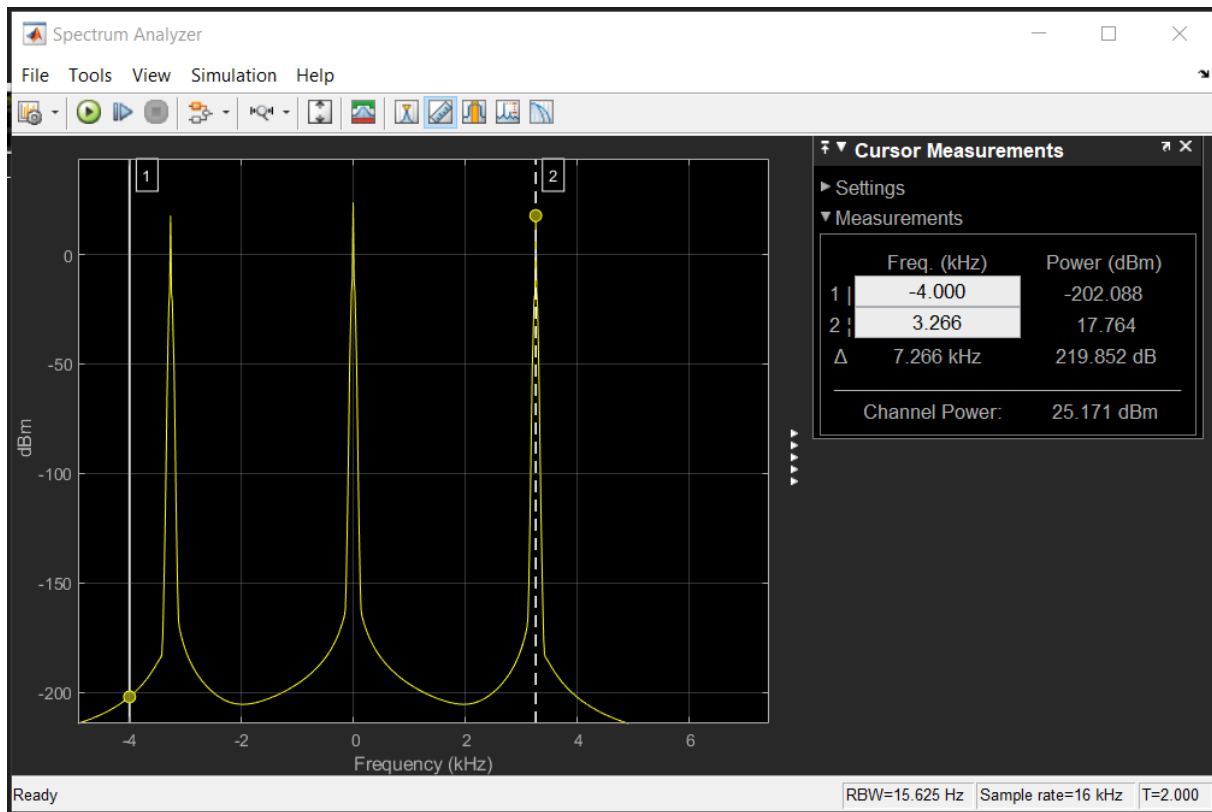


2.5.4.3 Nach Quadrierung – Zeitbereich



Das Signal hat jetzt nur mehr positive Amplituden.

2.5.4.4 Nach Multiplikation mal 2 - Spektrum



Das Signal hat jetzt statt 1633Hz die doppelte Frequenz (3266Hz, Cursor 2).

1.1.1.1 Erklärung der verdoppelten Frequenz

Die Frequenzverdopplung lässt sich durch die Quadrierung erklären:

Mathematisch ausgedrückt, ist das ursprüngliche Signal gegeben durch:

$$x(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

wobei A die Amplitude, f die Frequenz, t die Zeit und ϕ der Phasenwinkel sind. Dann kann das Quadrat des Betrags des Signals wie folgt ausgedrückt werden:

$$|x(t)|^2 = A^2 \sin^2(2\pi f t + \phi)$$

Durch Verwendung der Identität $\sin^2(x) = \frac{1}{2}(1 - \cos(2x))$ können wir diesen Ausdruck vereinfachen:

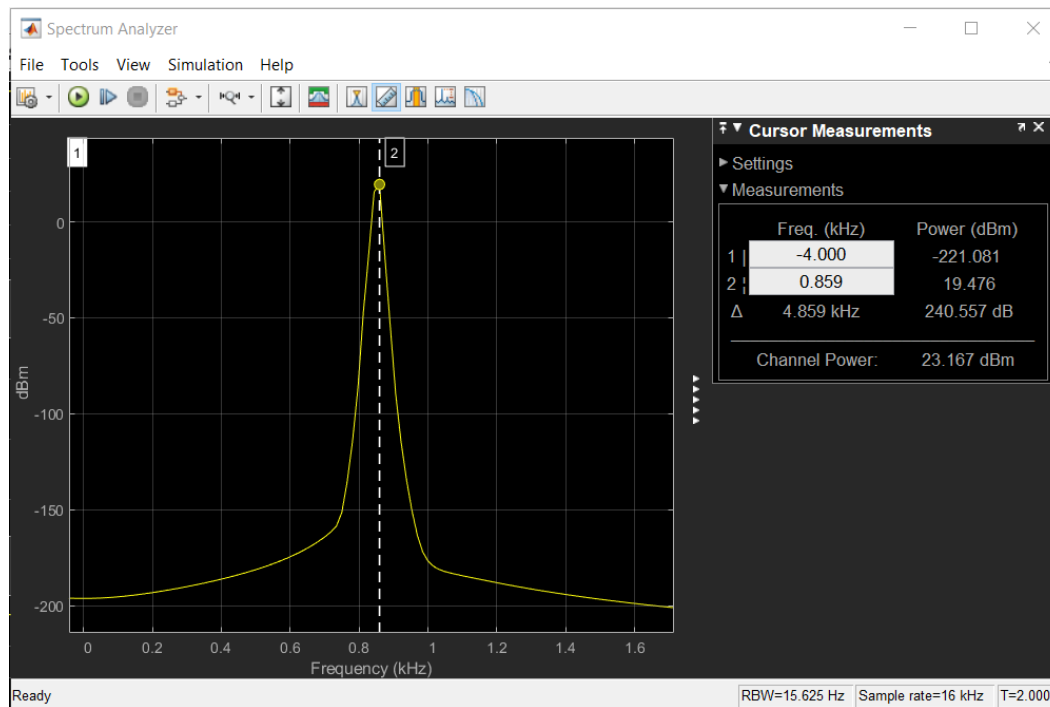
$$|x(t)|^2 = \frac{A^2}{2}(1 - \cos(4\pi f t + 2\phi))$$

Dieses neue Signal ist immer noch ein Sinussignal, aber mit doppelter Frequenz des ursprünglichen Signals und einer Verschiebung von $A^2/2$ in seiner Amplitude aufgrund des DC-Terms. Der Phasenwinkel ist auch um 2ϕ verschoben.

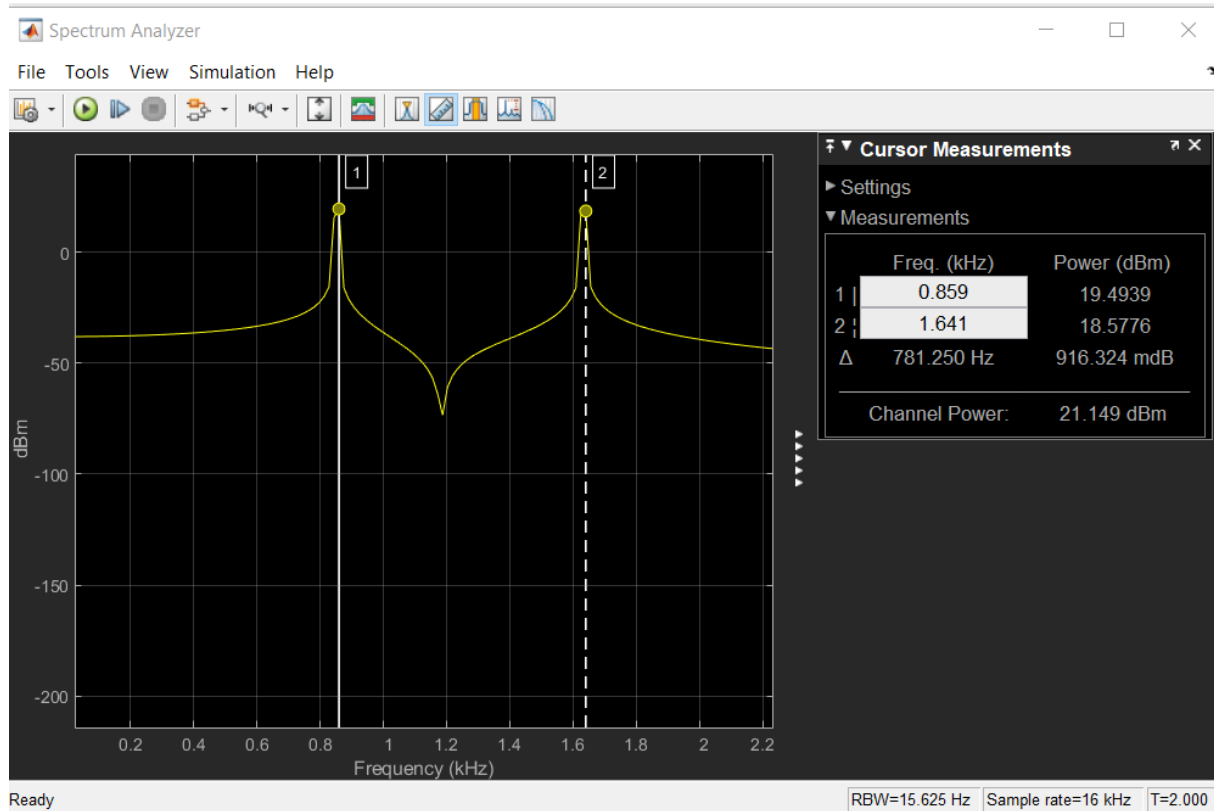
2.5.5 Unterer Zweig (852Hz)

2.5.5.1 Nach Bandpass – Spektrum

Das Zeitsignal wurde weggelassen. Mit dem Spektrumanalysator kann man sehen, dass das Signal wirklich nur mehr aus einer Frequenz (~852Hz) besteht:



2.5.5.2 Nach Verdopplung - Spektrum

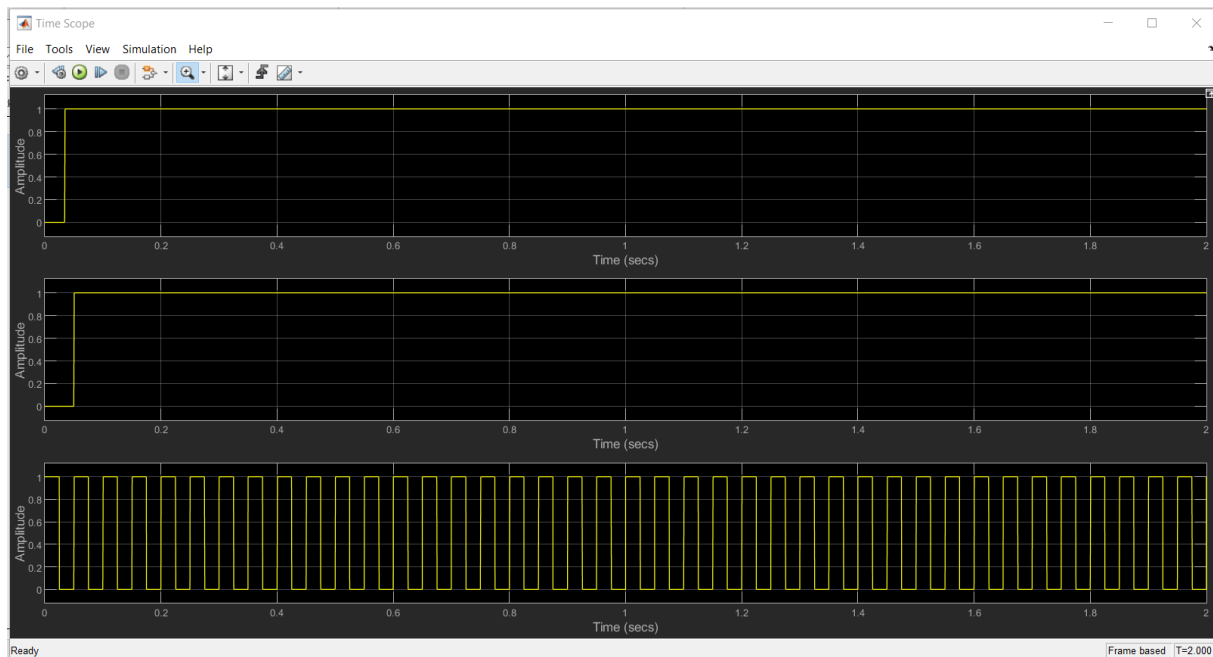


Auch hier hat sich die Frequenz durch die Quadrierung verdoppelt.

2.5.6 Entscheider

Es wurde der Entscheider aus dem Beispiel-DIC-Projekt genommen und die Schwelle, aus der Überlegung, dass die Amplitude (die Anfangs 1 ist) bei der gewünschten Frequenz nicht so stark gedämpft wird, auf 0.5 gesetzt. Dies wird später aber noch geändert.

2.5.7 Ausgang



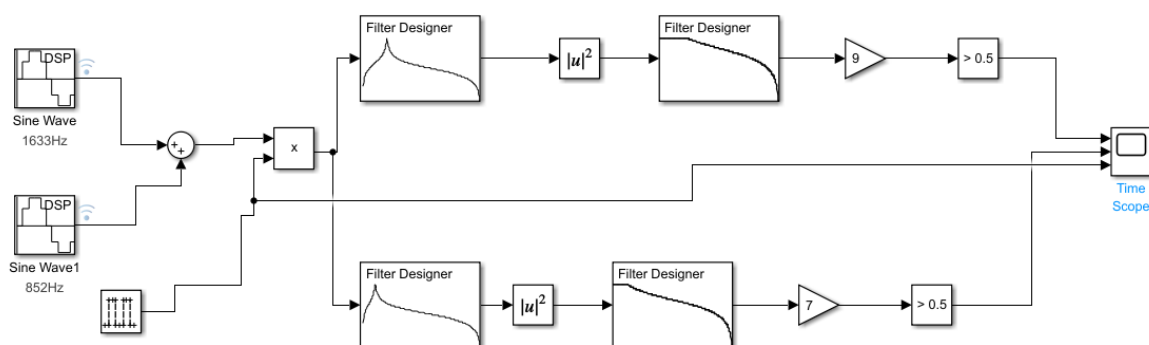
Da die Signale/Tasten jetzt immer eingeschalten/„gedrückt“ sind, wird der Tastendruck als immer an/High erkannt.

3 Versuchsaufbau 2 - Messungen mit „Taster“

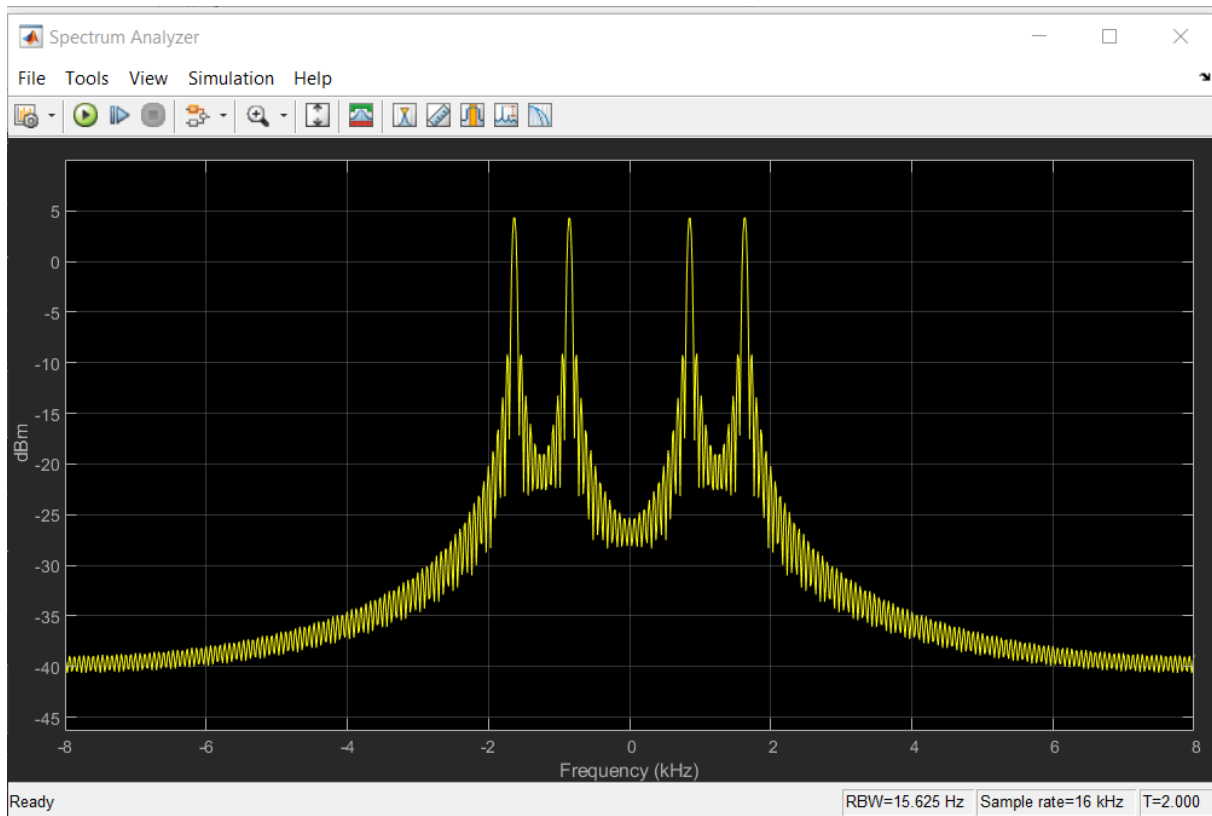
Auch dieser Aufbau hatte noch Fehler eingebaut.

3.1 Aufbau

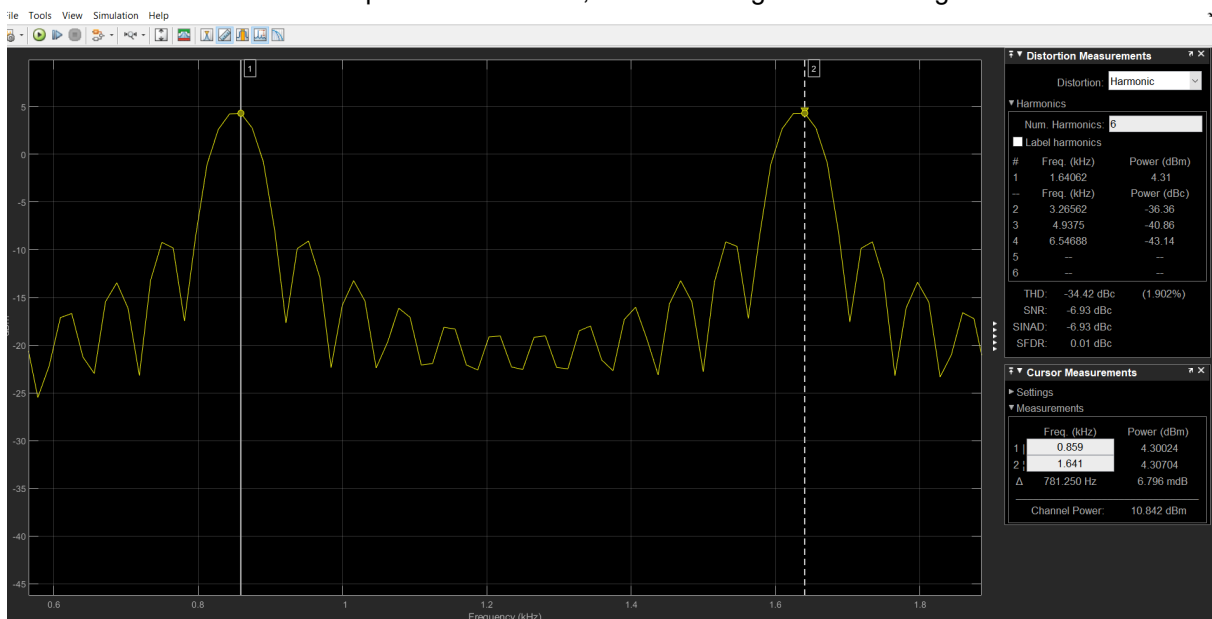
Anschließend wurde der Multiplizierer eingebaut und entsprechend verbunden und Signale gemessen. Der Impulsgenerator generiert nun periodisch einen 5ms langen „Tastendruck“ (=High Signal, 1V) und ist sonst immer Low/0V und de-/aktiviert die generierten Signale. Das Multiplizierte Signal wird anschließend auf die zwei Kanäle verteilt.



3.2 Nach Multiplizierer – Spektrum

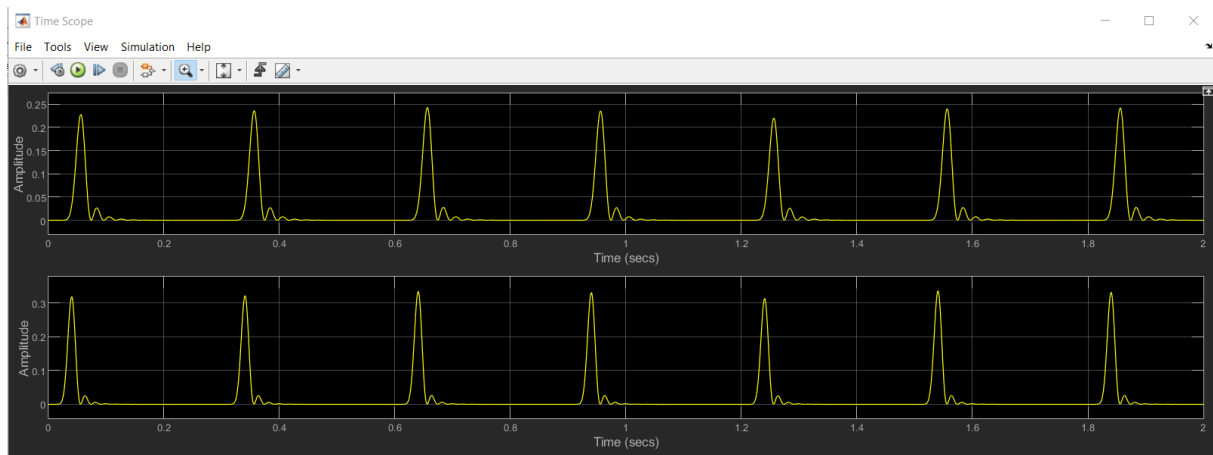


Auch hier sind die Beiden Frequenzen als Peaks, nur ist das Signal mehr Welligkeit hat.



3.3 Signale ohne Verstärkung

Anschließend wurden die geschalteten Signale angeschaut.



Oben: Sine Wave (Signal 1 – 1633Hz)

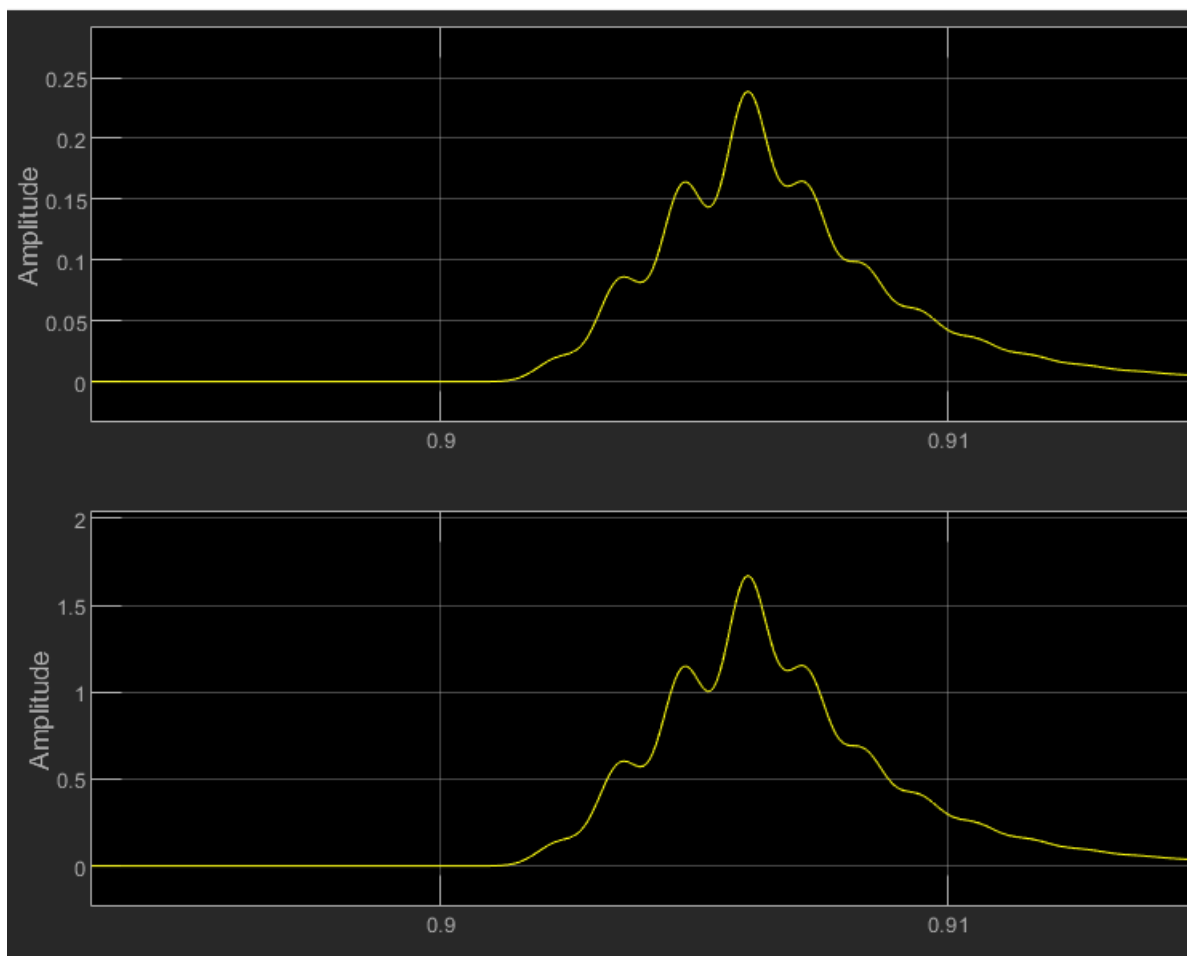
Mitte: Sine Wave1 (Signal 2 – 852Hz)

Es ist zu sehen, dass die Amplituden kurz nach dem Schalten immer auf ~0.25V ansteigen.

Da als Schwellenwert 0.5 genommen wurde, wurde entschieden die Verstärkung von 2 auf 4 zu ändern, damit dieser Wert auch sicher, und für die später folgende Und-Verknüpfung (Entscheiderlogik) genügend lang, erreicht wird.

3.4 Unerwünschte hohe Frequenzen

Zu diesem Zeitpunkt wurde auch bemerkt, dass die Tiefpässe falsch eingestellt wurden und es noch unerwünschte hohe Frequenzen gab, die um die Entscheidungsschwellen herum schwanken können:



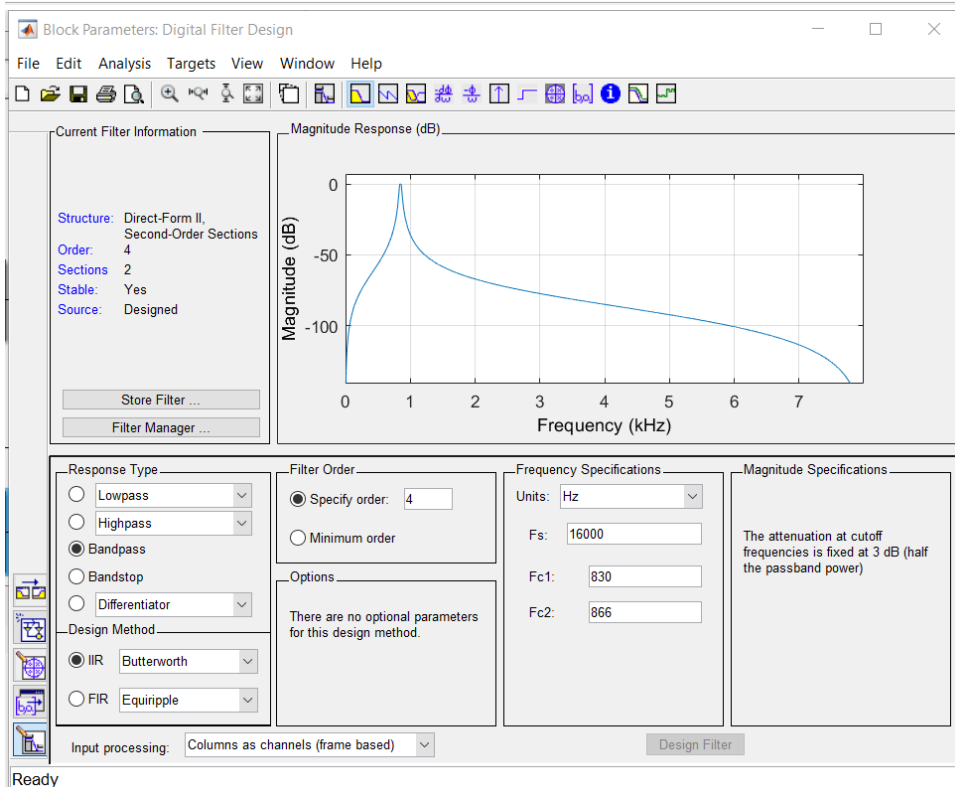
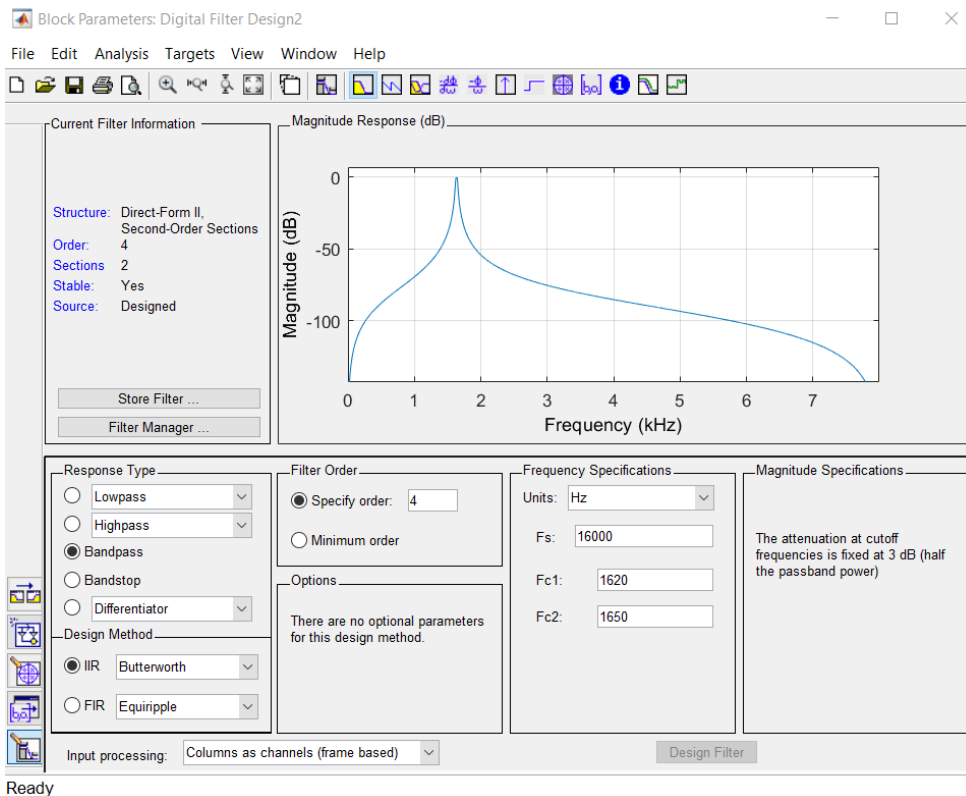
Oben: Signal ohne Verstärkung

Unten: Signal mit Verstärkung

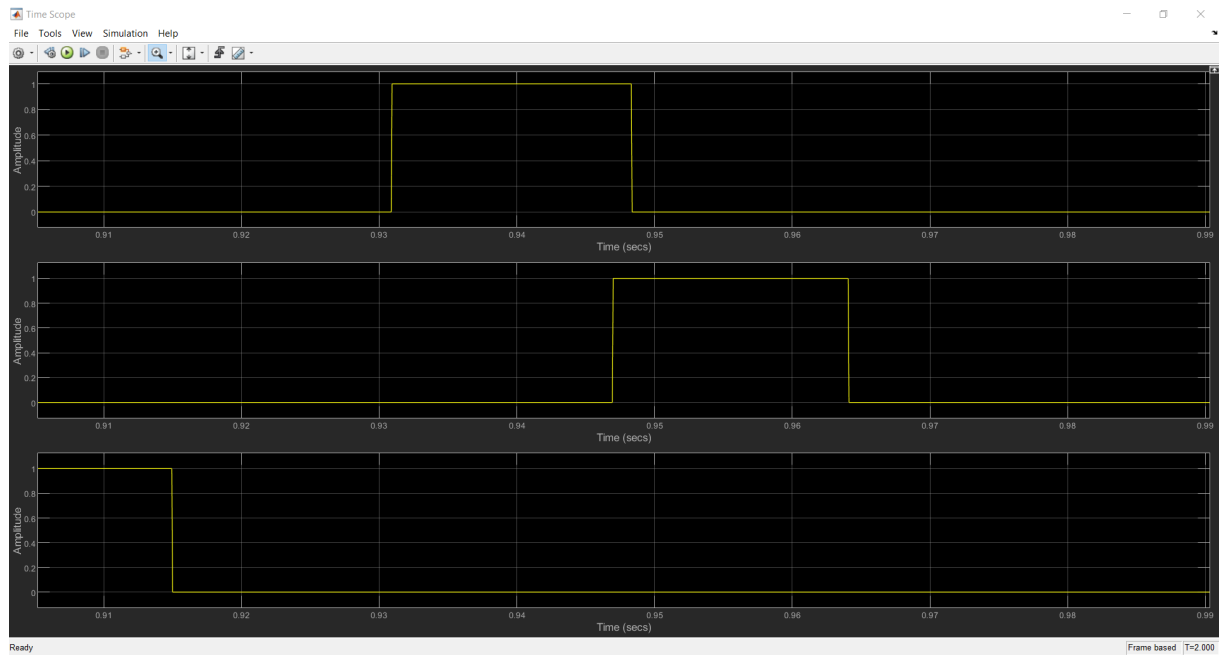
3.5 Niedrigere Filterordnung

Es wurde auch mit den Filtereinstellungen herumgespielt, um diese auf eine niedrigere Ordnung zu bringen und damit diese schneller sind. Wenn beide Zweige dann auch noch die gleichen Filterordnungen haben, brauchen diese gleich lange und die Entscheiderlogik (Und-Verknüpfung) kann damit arbeiten.

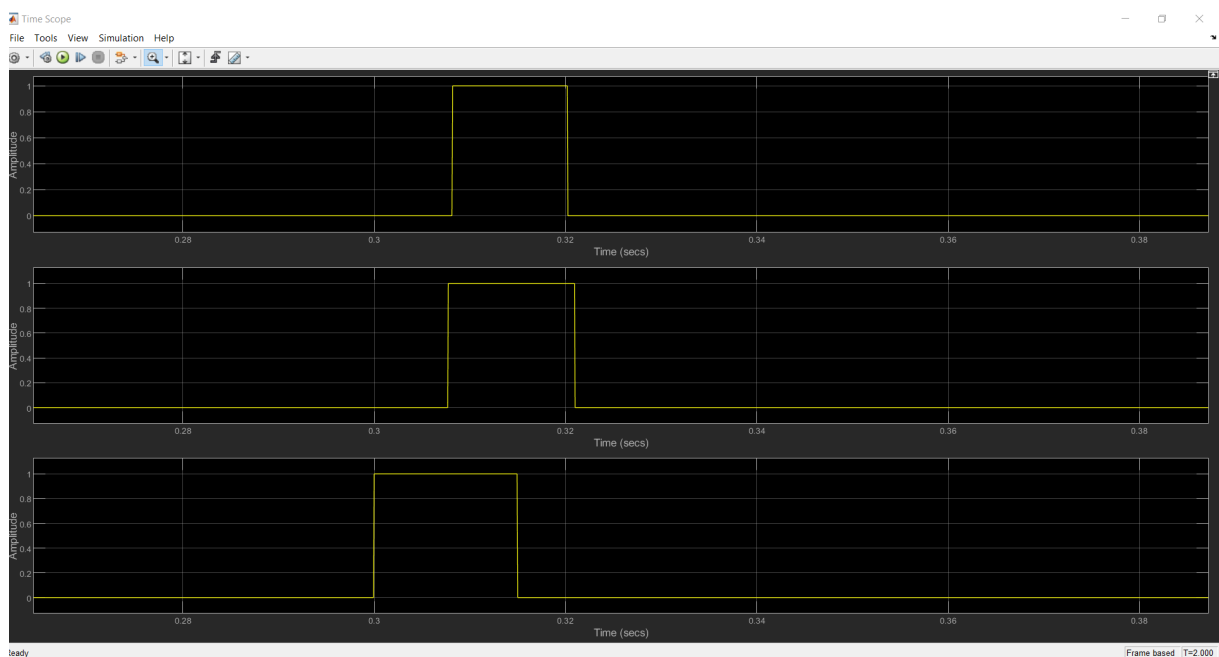
3.5.1 Einstellungen



3.5.2 Delay - Hohe Filterordnung



3.5.3 Delay - niedrige (und gleiche) Filterordnung



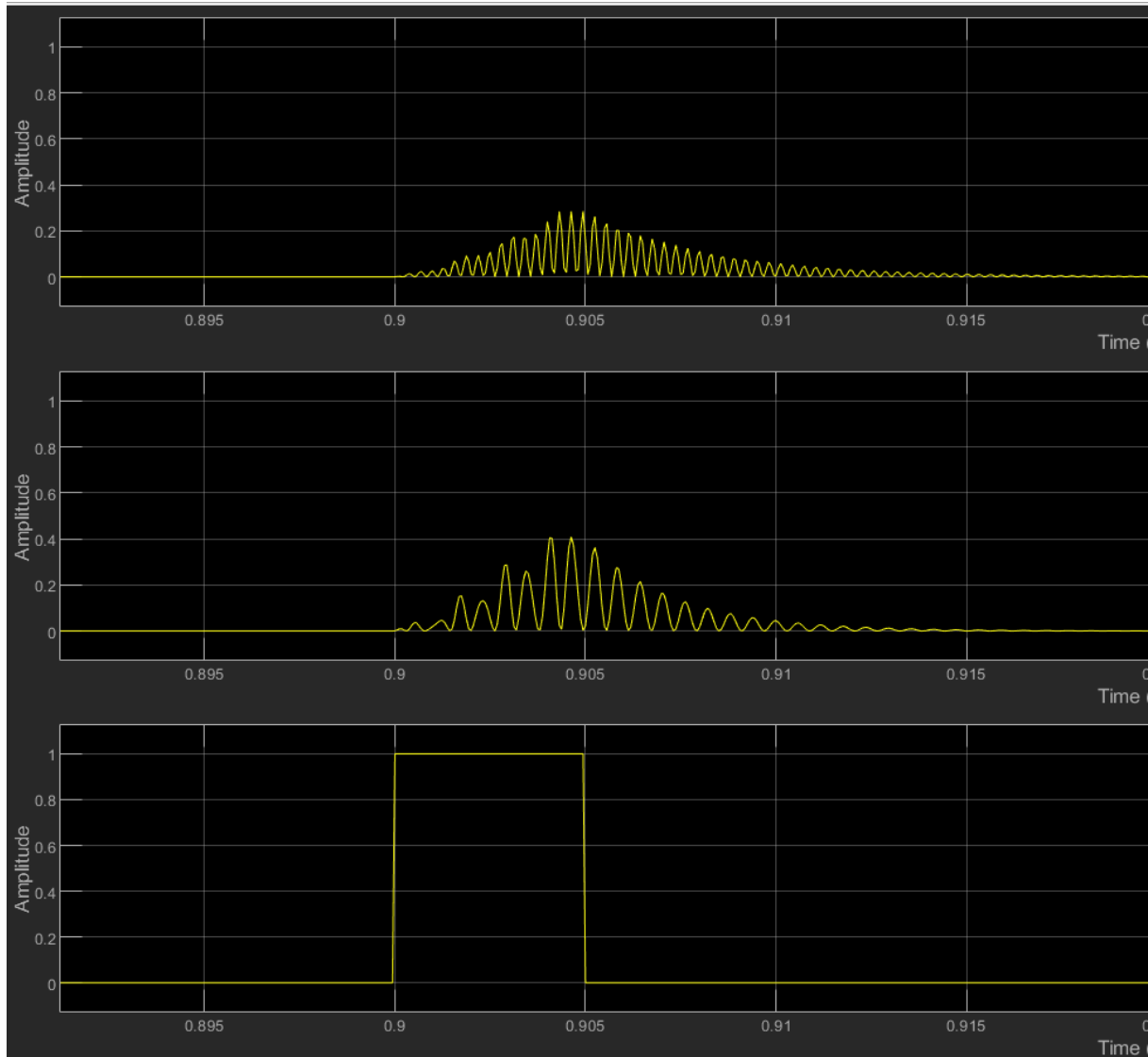
Man kann sehen, dass die „Tastendrucke“ schneller erkannt werden, da die Filter nicht so lange berechnen benötigen.

4 Endaufbau

4.1 Tiefpässe

Da es durch die Quadrierung sowieso einen konstanten Gleichanteil (der 0Hz hat) im Signal gibt, wurden die Tiefpässe geändert und auf eine Grenzfrequenz von 5Hz gelegt und mit diesem Gleichanteil dann die Entscheiderlogik gebaut.

4.1.1 Quadriertes Signal

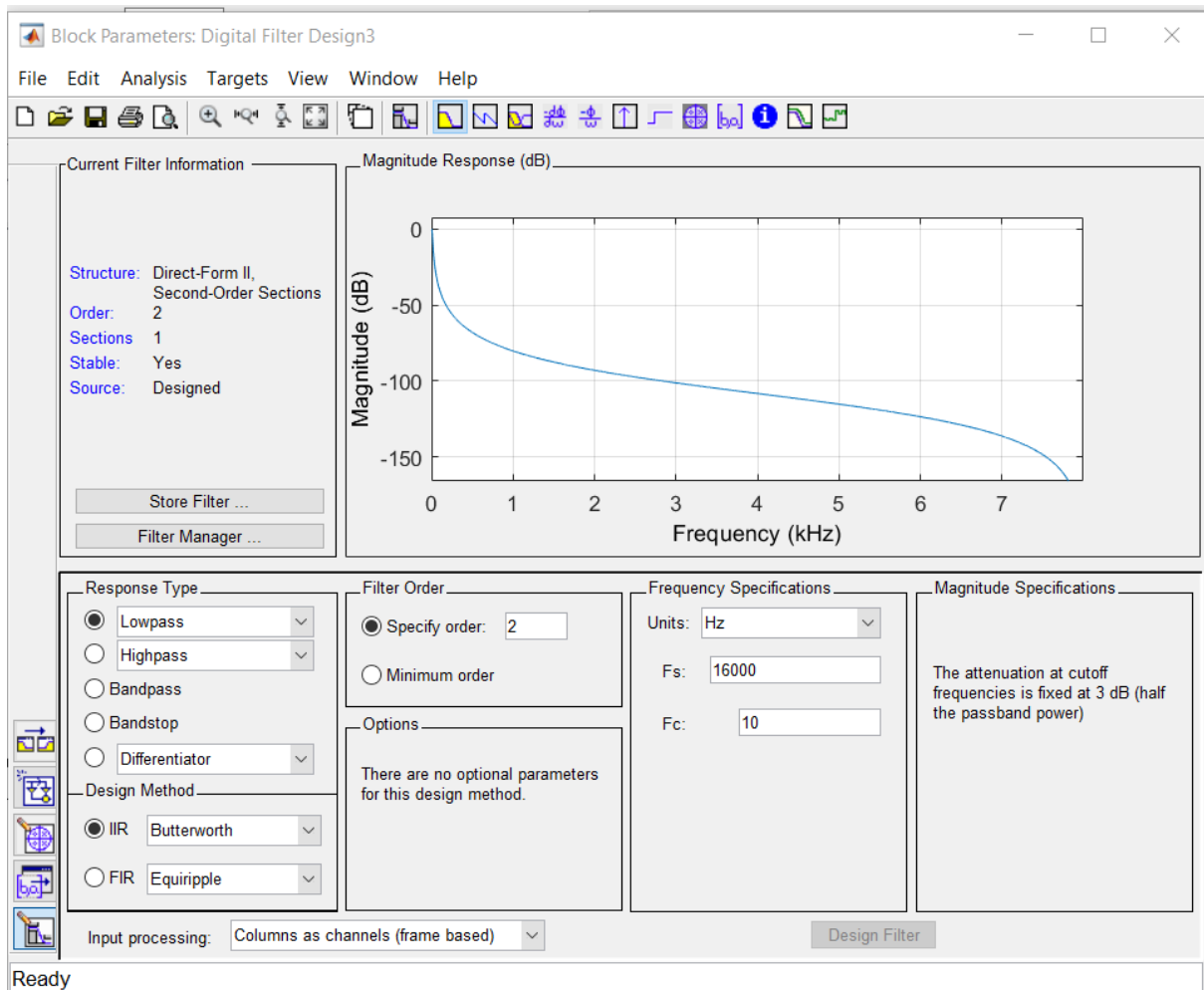


Oben: Quadrierte Sine Wave (Signal 1 – 1633Hz)

Mitte: Quadrierte Sine Wave1 (Signal 2 – 852Hz)

Unten: Rechteckimpuls

4.1.2 Filtereinstellungen



4.1.3 Filterordnung

Die vier Filter wurden mit der Option „Specify Order“ auf Ordnung 2 gestellt. Die wurde getan, damit die beiden Signale für die spätere Und-Verknüpfung gleich lange verzögert sind und die Filter eine möglichst niedrige Ordnung haben. Sonst würde die Gefahr bestehen, dass die beiden Signale nach den Filtern so stark zeitlich verschoben sind, dass sie durch die Entscheidungslogik nicht erkannt werden.

4.2 Symboldauer

Da in der Aufgabenstellung spezifiziert ist, dass die Symboldauer (Länge) des Impuls 5ms lang sein soll und dies noch nicht richtig eingestellt wurde, wurde dies gemacht.

Da die Abtastrate (fs) 16kSample / s ist:

$$T_s = \frac{1}{F_s} = \frac{1}{16000} = 625\mu s$$

$$n_{pulse\ width} = \frac{T_{Symbol}}{T_s} = \frac{5ms}{625\mu s} = 80$$

Daher wird die Pulse Width auf 80 Samples gestellt, damit eine Symboldauer von 5ms erreicht wird.

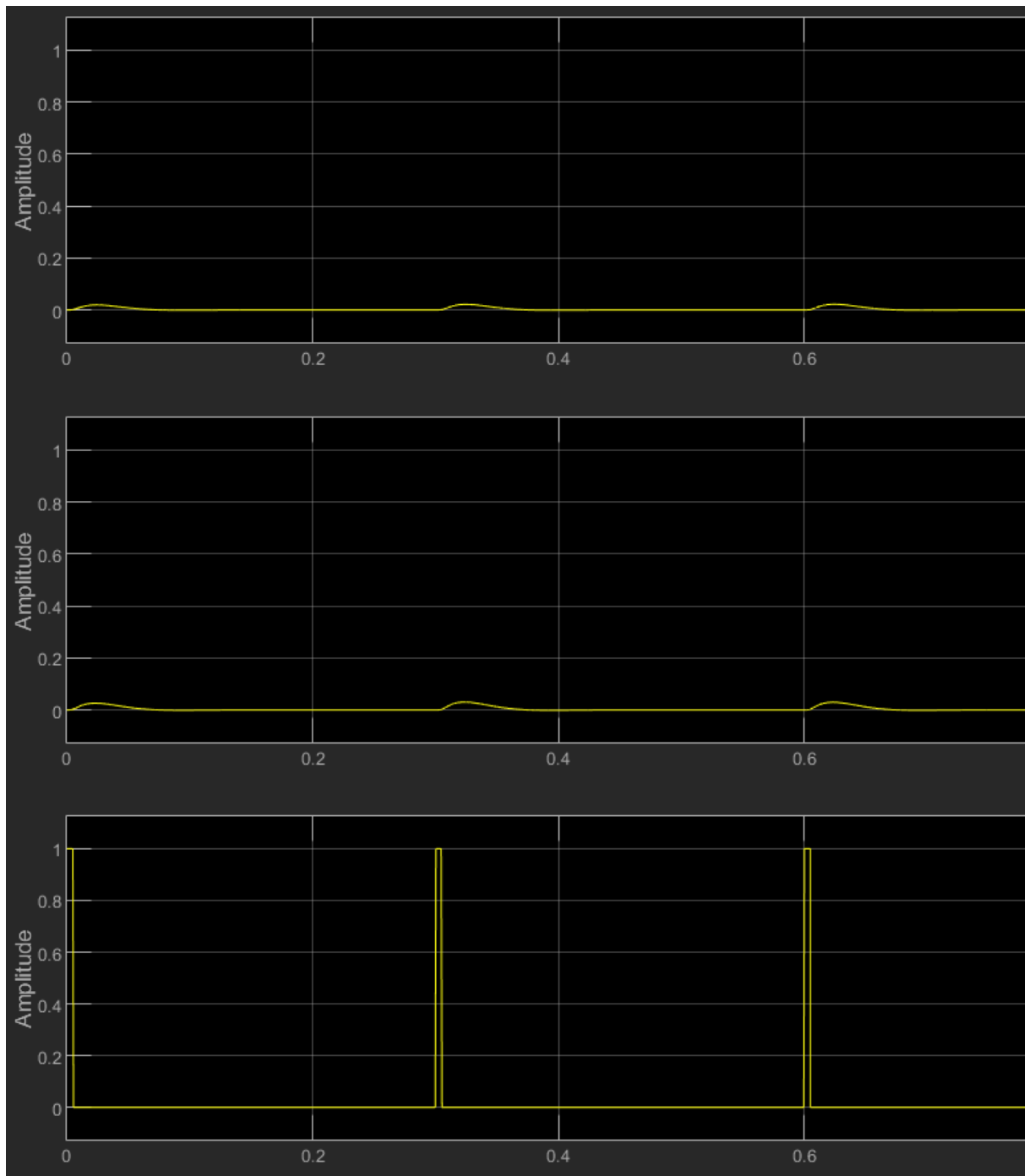
The screenshot shows a configuration window for a pulse signal. It contains the following fields and controls:

- Pulse type:** A dropdown menu set to "Sample based".
- Time (t):** A dropdown menu set to "Use simulation time".
- Amplitude:** A text input field containing the value "1".
- Period (number of samples):** A text input field containing the value "4800".
- Pulse width (number of samples):** A text input field containing the value "80".
- Phase delay (number of samples):** A text input field containing the value "0".
- Sample time:** A text input field containing the expression "1/Fs". To the right of the input field, the value "6.25e-05" is displayed.
- Interpret vector parameters as 1-D:** A checkbox that is checked.
- Buttons:** At the bottom, there are four buttons: "OK" (highlighted with a blue border), "Cancel", "Help", and "Apply".

4.3 Anpassung der Verstärkungsfaktoren

Da durch die Änderung der Symboldauer und der Filter die Schaltung nicht mehr funktionierte, wurden die Zweige noch einmal gemessen und die Filter und die Verstärkungsfaktoren angepasst.

4.3.1 Zeitbereich nach Tiefpass



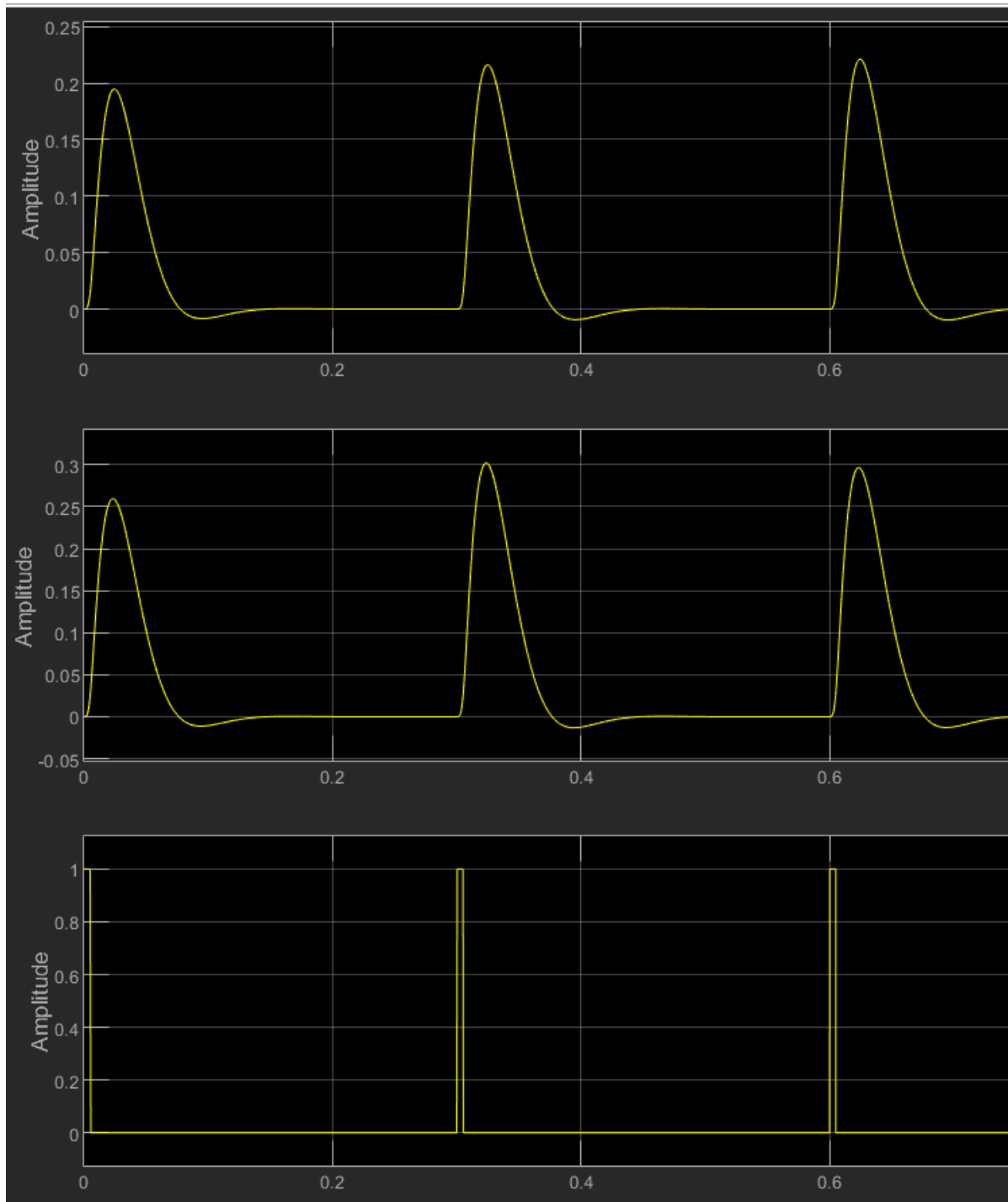
Oben: Gefilterte Sine Wave (Signal 1 – 1633Hz)

Mitte: Gefilterte Sine Wave1 (Signal 2 – 852Hz)

Unten: Rechteckimpuls

Die gefilterten Signale sind nun um einiges schwächer als zuvor. Daher wurde der Verstärkungsfaktor auf 10 erhöht und die Entscheiderschwelle auf 0.1 angepasst.

4.4 Zeitverlauf nach Verstärkung Mal 10



Oben: Verstärktes Signal von Sine Wave (Signal 1 – 1633Hz)

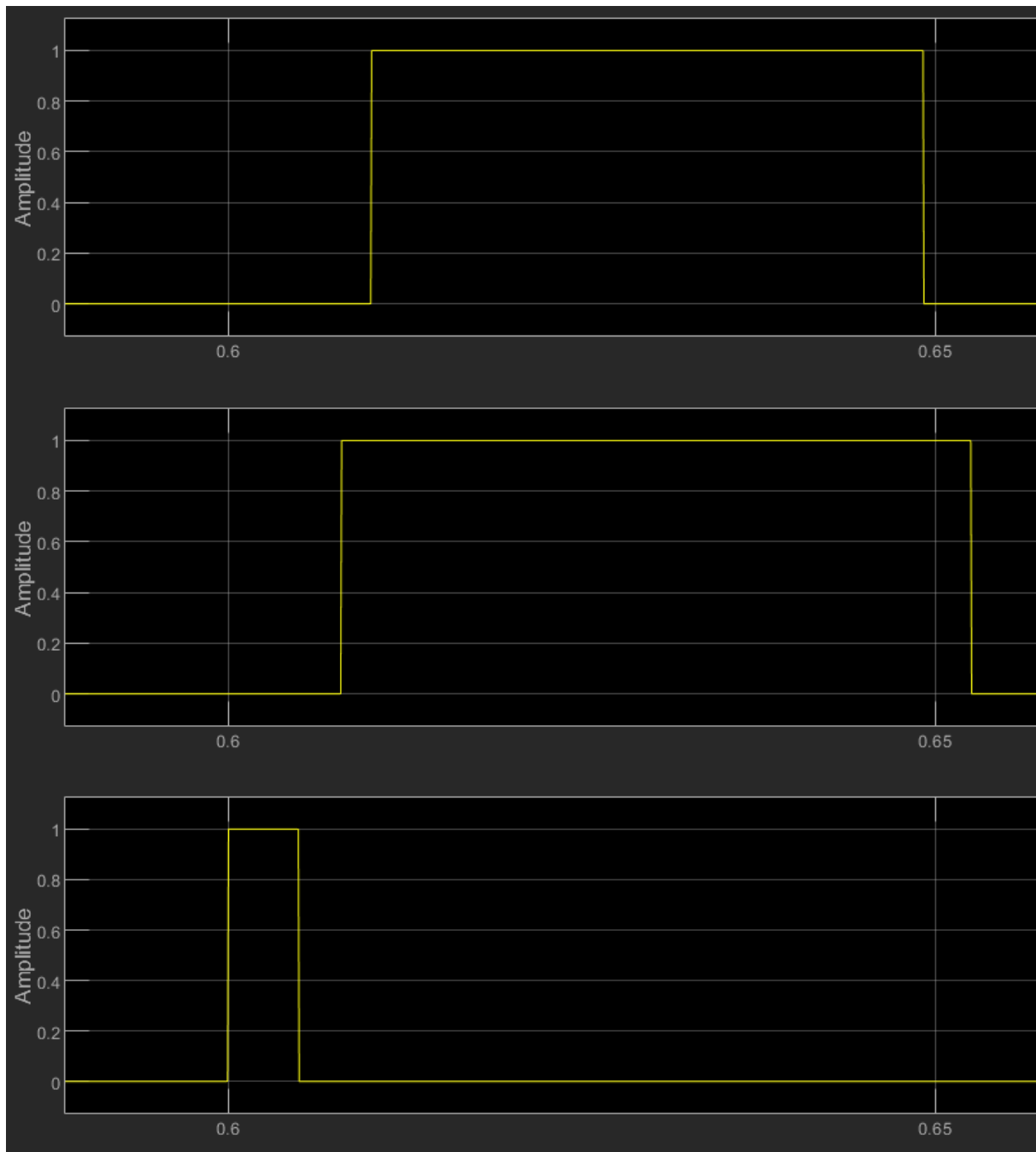
Mitte: Verstärktes Signal von Sine Wave1 (Signal 2 – 852Hz)

Unten: Rechteckimpuls

Um die Entscheiderschwelle leicht zu erreichen, wurde sie auf 0.1 gelegt.

4.5 Zeitverlauf nach Entscheiderschwelle

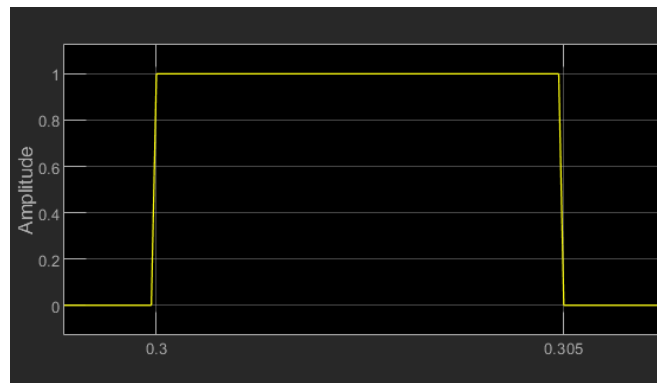
Alles funktioniert nun wieder wie gewollt.



Oben: Ausgang von Sine Wave (Signal 1 – 1633Hz)

Mitte: Ausgang von Sine Wave1 (Signal 2 – 852Hz)

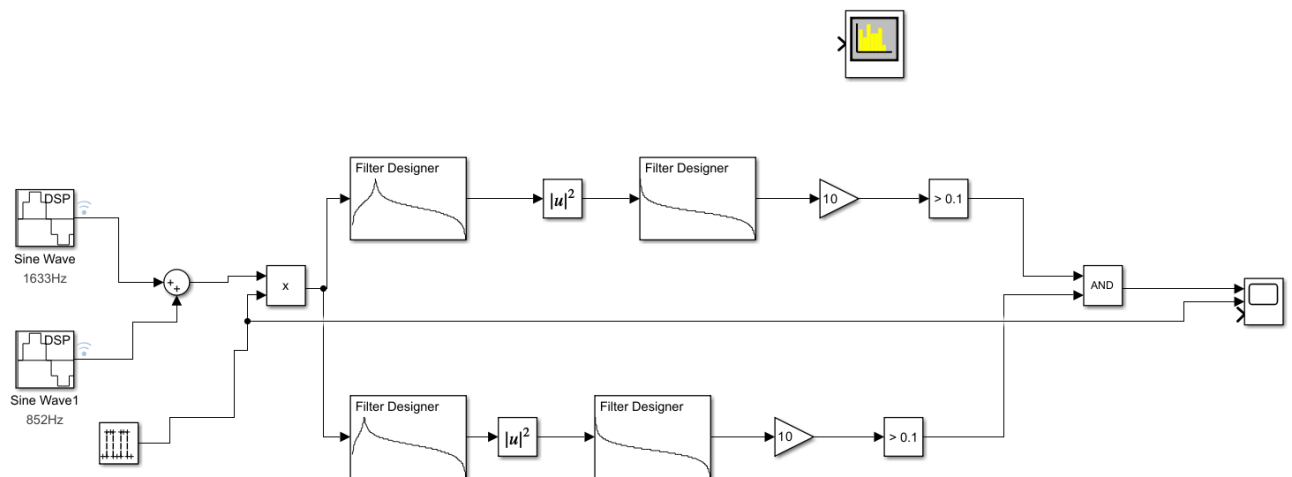
Unten: Rechteckimpuls



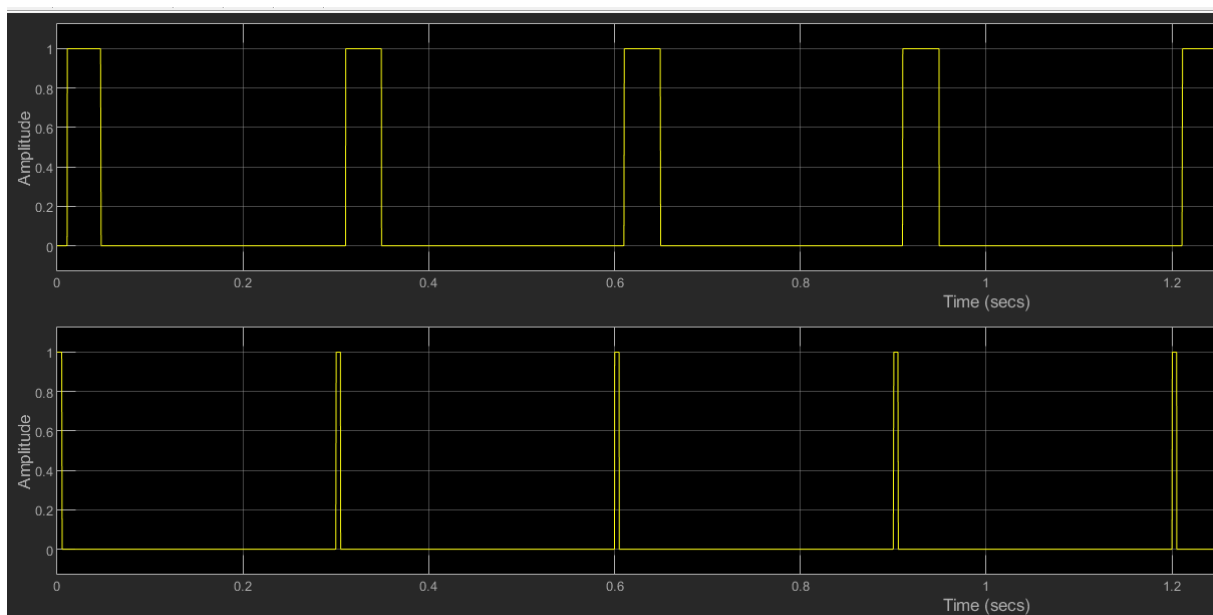
Das Rechteckimpulssignal ist jetzt 5ms lang.

4.6 Endaufbau

Anschließend wurde die Und-Verknüpfung eingebaut, die die beiden Kanäle wieder verknüpft und um das Ergebnis auf einen Kanal binärisch anzuzeigen, ob die entsprechende Taste „gedrückt“ wird.



4.7 Endergebnis



Oben: Und-Verknüpftes Ergebnis
 Unten: Rechteckimpuls („Tastendruck“)

Wie jetzt zu sehen ist, wird ein Tastendruck erkannt und in ein binäres Ergebnis umgewandelt.

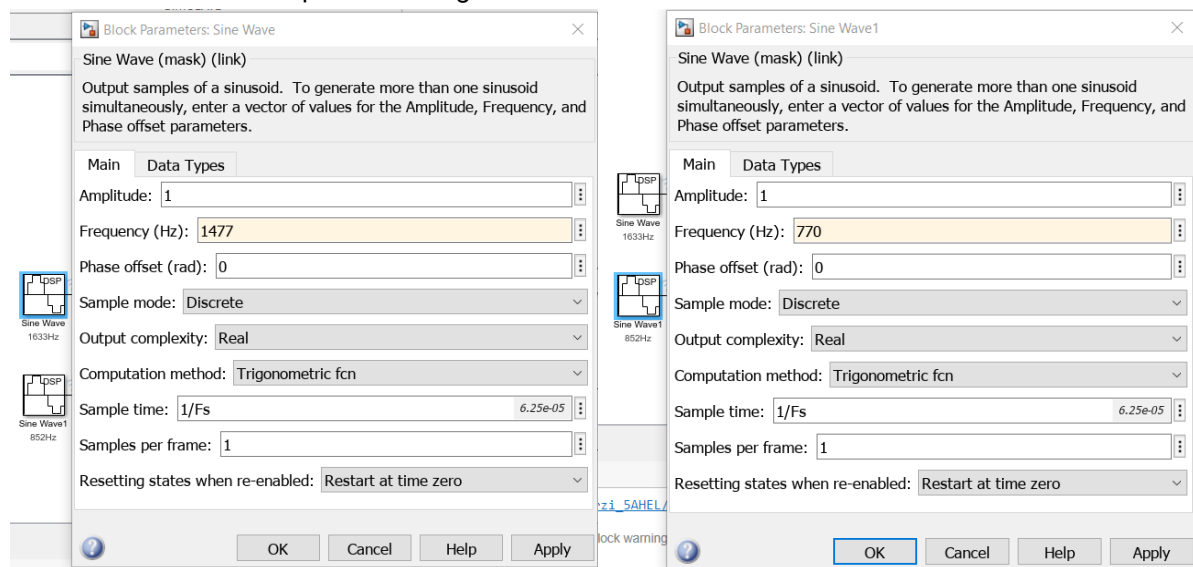
5 Probe mit anderen „Tasten“

Es wurden die benachbarten Frequenzen vor der Und-Verknüpfung am Ende der 2 Zweige gemessen, damit man sehen kann, dass beide Zweige die einzelnen benachbarten Frequenzen dämpfen.

5.1 1477Hz und 770Hz

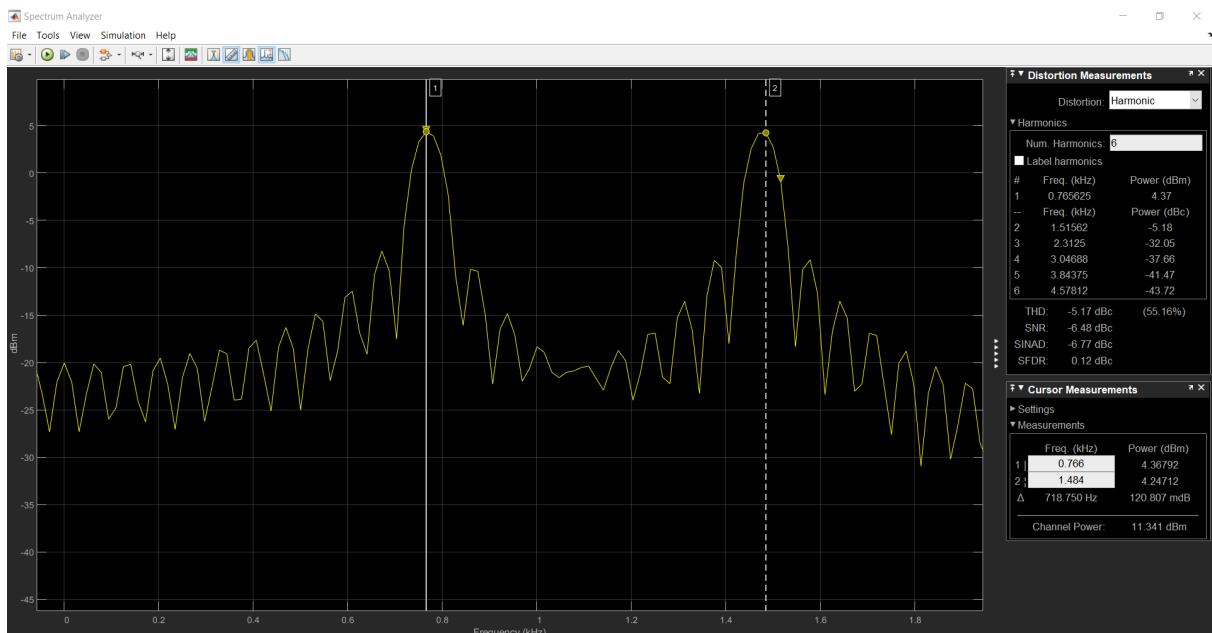
5.1.1 Einstellungen

Die Quellen wurden entsprechend eingestellt.



5.1.2 Messungen

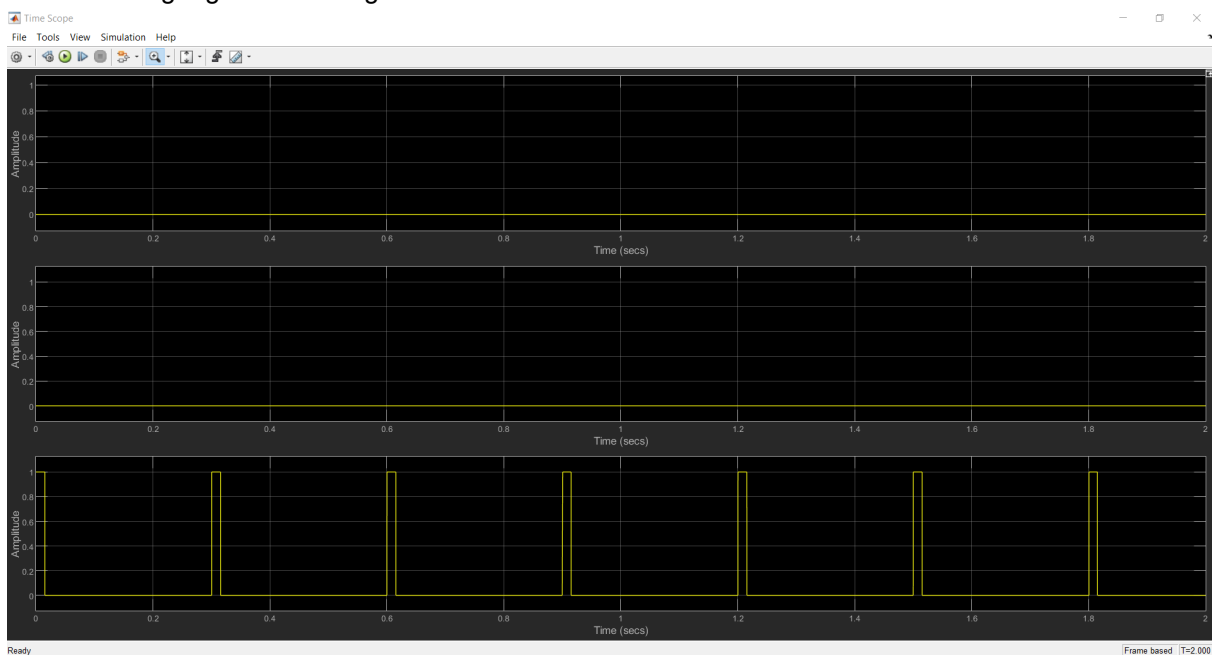
5.1.2.1 Spektrum – Nach Multiplizierer



Die entsprechenden Frequenzen sind im multiplizierten Signal enthalten.

5.1.2.2 Zeitsignal

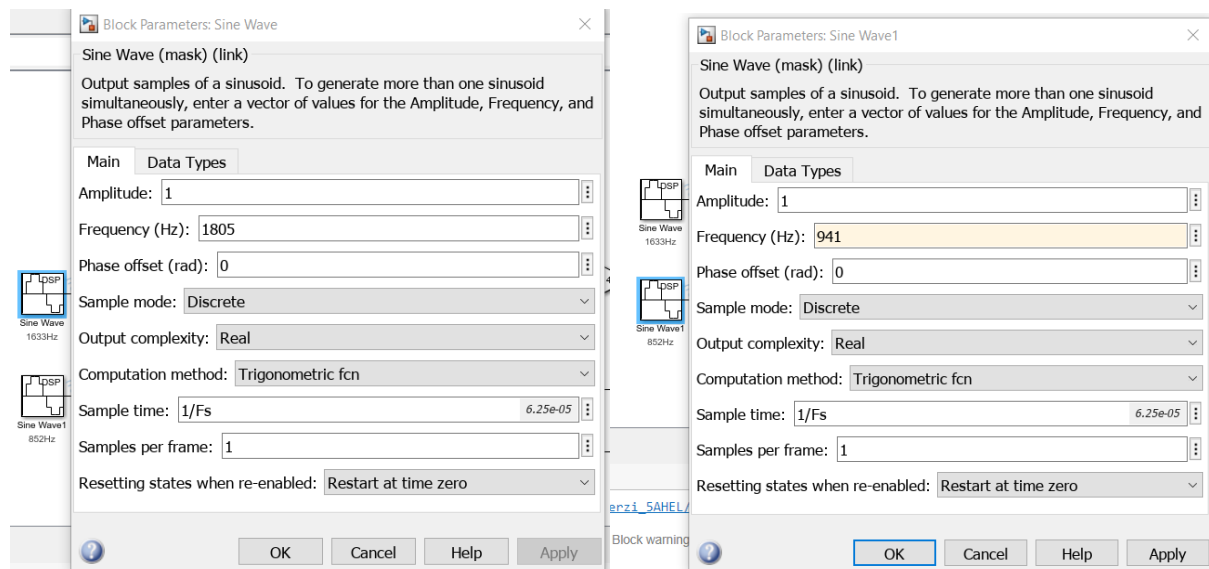
Am Oszi/Ausgang wird kein Signal erkannt.



5.2 1805Hz und 941Hz

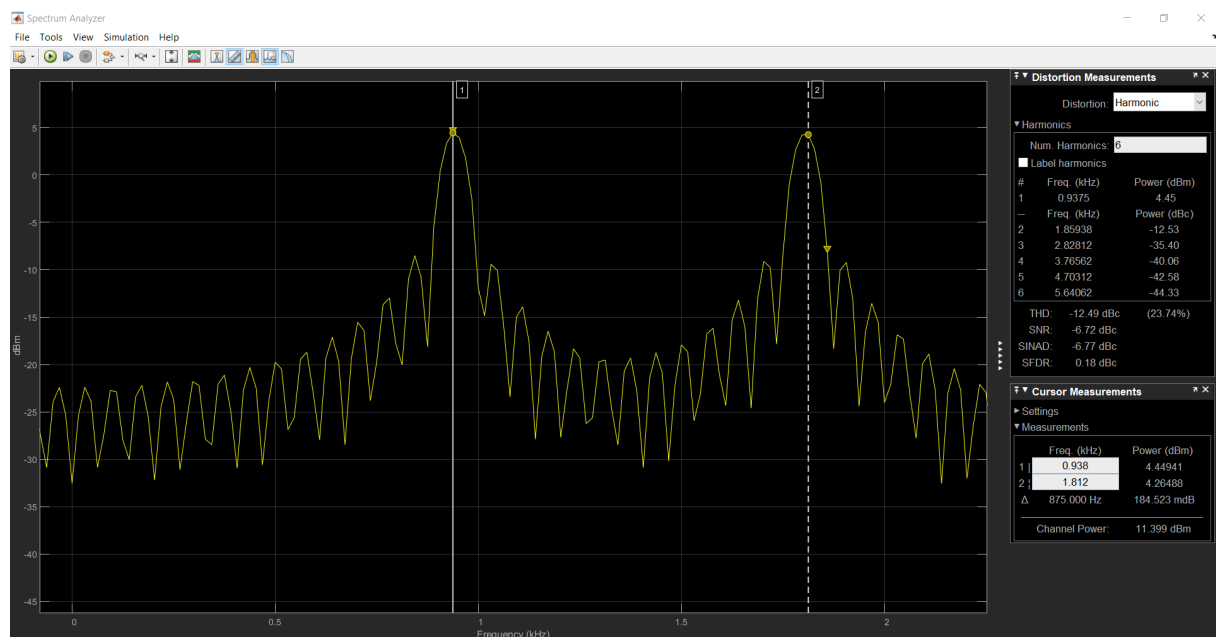
5.2.1 Einstellungen

Die Quellen wurden entsprechend eingestellt.



5.2.2 Messungen

5.2.2.1 Spektrum



Die entsprechenden Frequenzen sind im multiplizierten Signal enthalten.

5.2.2.2 Zeitsignal

Am Oszi/Ausgang wird kein Signal erkannt.

