

digitales Theremin

Projektklärung

HS19, Projekt 5

Windisch, 11.10.2019

Auftraggeber:	Herr Prof. Dr. Hanspeter Schmid
Betreuung:	Herr Prof. Dr. Hanspeter Schmid Herr Prof. Karl Schenk
Team:	Andreas Frei Dennis Aeschbacher
Studiengang:	Elektro- und Informationstechnik (EIT)

Inhaltsverzeichnis

1	Übersicht.....	3
1.1	Ausgangslage.....	3
1.2	Ziele P5.....	3
1.3	Ziele P6.....	4
2	Sensor Evaluation.....	5
3	Konzept.....	6
3.1	Komponenten P5.....	6
3.2	Komponenten P6.....	7
3.3	Blockschaltbild.....	8
4	Risiken.....	9
5	Projektstrukturplan.....	10
6	Quellenverzeichnis.....	10

1 Übersicht

1.1 Ausgangslage

Ein Theremin ist ein Musikinstrument, das mit "den Händen in der Luft" gespielt wird (<https://www.youtube.com/watch?v=1Y7sXKGZl2w>). Es kommt in vielen Musikstücken, aber auch in Filmen (z.B. "Inspector Barnaby"-Serie, Hellboy <https://www.youtube.com/watch?v=x1cekAOKH5E>) zum Einsatz.

Beim Theremin beeinflusst die elektrische Kapazität des menschlichen Körpers ein elektromagnetisches Feld. Dabei steuert die Position der Hände gegenüber zwei Antennen die Stärke der Veränderung. Die sich ändernde Schwingung des Feldes wird verstärkt und als Ton über einen Lautsprecher ausgegeben [1].

Ziel des Projekts ist, basierend auf einem Bausatz eines analogen Theremins (z.B. Franzis) ein digitales Theremin zu bauen. Dabei soll die gesamte Signalverarbeitung in einem FPGA realisiert werden was zum Beispiel den Ausgleich von Lautsprecherfrequenzgängen, die direkte digitale Aufzeichnung, sowie weitere Soundeffekte erlaubt. Das digitale Theremin soll in ein kompaktes ansprechendes Gehäuse gepackt werden.

Um diese Ziele zu erreichen wird die Arbeit über das fünfte und das sechste Semester verteilt. Im fünften Semester soll eine digitale Plattform für die Ansteuerung und Kalibrierung der Tonhöhenantenne entwickelt werden. Dazu wird ein FPGA Entwicklungsboard verwendet. Im sechsten Semester wird zusätzlich die Lautstärkeantenne und verschiedene Effekte implementiert.

1.2 Ziele P5

Die unten aufgelisteten Ziele sollen im 5. Semester erreicht werden, um die Grundlage des Theremins abzuschliessen.

Nr.	Ziel	Inhalt
1	Beschränkung auf FPGA	Alle Komponenten ausser die Signalgenerierung (Antenne, Schwingkreis und Audioverstärker) werden im FPGA in VHDL realisiert.
2	kontinuierliche Tongenerierung	Man kann das Theremin spielen jedoch ohne Lautstärke Antenne.
3	Weiterarbeit beachten	Die Arbeit soll so gestaltet werden, dass sie im Projekt 6 weitergeführt werden kann.
4	Manuelles Tuning der Tonhöhe	Der digitale Referenzoszillator kann manuell auf die Frequenz des Tonhöhenoszillators abgestimmt werden.
5	Vier Oktaven spielbar	Das Theremin kann Töne von 130.813 (c) bis 2.093kHz (C''') kontinuierlich spielen.

1.3 Ziele P6

Die nächsten Ziele werden erst im 6. Semester angegangen und legen besonderes Augenmerk auf zusätzliche Features und den «Eye Catcher» Faktor.

Nr.	Ziel	Inhalt
1	Lautstärke Antenne	Zweite Antenne implementieren, um gleichzeitig Lautstärke einstellen zu können
2	Diskrete Tongenerierung	Möglichkeit diskrete Töne zu Spielen (Bsp: Tonleiter, Pentatonische Tonleiter)
3	Zusätzliche Effekte	Implementierung zusätzlicher Effekte (Bsp: Sampling Effekte)
4	ansprechendes Gehäuse	Ein ansprechendes Gehäuse bauen wo die Elektronik ersichtlich ist.
5	Menu auf LCD Display	Das Theremin soll über ein LCD Display bedienbar sein. Dies würde über den uC auf dem FPGA gesteuert werden.
6	Automatisches Tuning der Tonhöhe	Der digitale Referenzoszillator wird automatisch auf die Frequenz des Tonhöhenoszillators abgestimmt.

2 Sensor Evaluation

Beim klassischen Theremin werden für das berührungslose Spielen zwei Antennen verwendet. Es gibt jedoch noch andere Möglichkeiten Abstände und Bewegungen zu detektieren. In diesem Abschnitt werden die Vor- und Nachteile von drei Sensoren aufgelistet und evaluiert.

Rangfolge	Technologie	Nachteile	Vorteile
1	Antennen	-Der Schwingkreis der Antenne muss auf einem PCB realisiert werden	-Durch den menschlichen Körper wird die Kapazität des Schwingkreises beeinflusst. Das Theremin kann durch feine Handbewegungen beeinflusst werden. Dies führt dazu das das Gerät wie ein klassisches Theremin gespielt werden kann [1].
2	Ultraschallsensor	-Plane Objekte werden am besten detektiert. Der Bewegungsgrad der Hand des Spielers wird somit eingeschränkt [2]. -Das Gerät könnte nicht wie ein Theremin gespielt werden, da nur Distanzen detektiert werden können.	-Braucht keine zusätzliche Elektronik für die Verarbeitung.
3	ToF-Kamera	-Für jede Bewegung und Distanz müsste ein Ton festgelegt werden. Dies würde das experimentelle musizieren sehr stark einschränken [3]. -Die technische Realisierung ist gegenüber den anderen Sensoren sehr aufwändig.	

Die kurzgehaltene Recherche über mögliche Sensoren hat ergeben, dass die Antennen am besten geeignet sind als Sensoren. Durch die Antennen verliert das Theremin nicht sein klassisches Aussehen und seine Spielweise. Nur mit den Antennen und der ToF-Kamera ist es möglich kontinuierliche Töne zu generieren. Der Aufwand mit einer ToF-Kamera kontinuierliche Töne zu generieren ist sehr zeitintensiv und passt nicht in den Zeitrahmen des Projektes. Daher wurde die Antenne als Sensor für das Theremin gewählt.

3 Konzept

Die unten beschriebenen Komponenten können in Kapitel 3.3 Blockschaltbild gefunden werden.

3.1 Komponenten P5

Tonhöhenoszillator

In dem Block Tonhöhenoszillator kann die Frequenz des Ausgangssignals verändert werden, indem die Distanz zwischen dem Spieler und der angeschlossenen Antenne verändert werden. Dies, da der Spieler des Instruments das elektrische Feld der Antenne so verändert, dass die Frequenz des Oszillators leicht ändert. Dieser Teil wird nicht im FPGA sondern analog realisiert.

Referenzoszillator

Der Referenzoszillator wird benötigt, um das Signal des Tonhöhenoszillators im Mischer zu bearbeiten. Um diesen zu realisieren können zwei Methoden angewandt werden. Einerseits die Verwendung von Lookup Tables (LUTs) und andererseits der Einsatz des Cordic Algorithmus.

Mischer

Die Komponente Mischer ist dafür zuständig die Frequenz des Tonhöhenoszillators, welche nicht im hörbaren Bereich ist in den hörbaren Bereich zu bringen. Dabei multipliziert er die Signale des Tonhöhenoszillators mit der des Referenzoszillators. Das Resultat sind zwei Signale, welche einerseits die Summe der beiden Frequenzen vor dem Mischer haben und andererseits die Differenz der beiden Signale.

Tiefpassfilter

Da der zuvor erwähnte Mischer auch ein hochfrequentes Signal generiert, muss das gemischte Signal noch mittels eines Tiefpassfilters gefiltert werden.

DAC/ADC

Hier sind die Übergänge zwischen den analogen Signalen und dem FPGA.

3.2 Komponenten P6

Lautstärkeoszillator

Für den Lautstärkeoszillator und dessen Verarbeitung wird voraussichtlich derselbe Aufbau wie beim Tonhöhenoszillator eingesetzt. Dabei entspricht die Höhe der Frequenz am Ausgang des Tiefpasses der Höhe der Lautstärke.

Lautstärkeeinstellung

Die Lautstärke wird in Funktion der Frequenz des Lautstärkeoszillators verändert. Dabei wird die gemessene Frequenz in einen Zahlenwert umgewandelt, welche die Lautstärke einstellt.

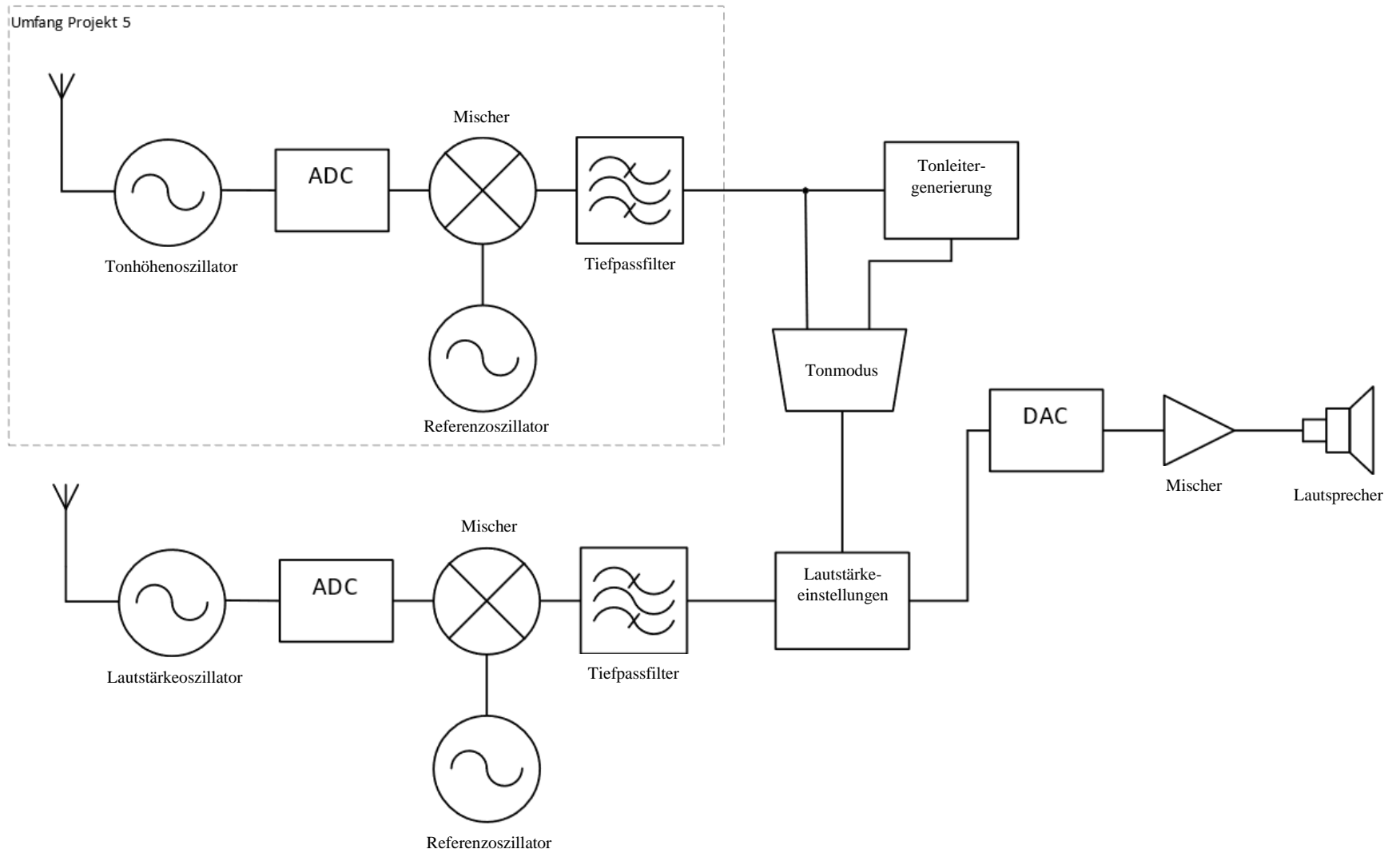
Tonleitergenerierung

Um das Spielen des Theremins zu vereinfachen kann man auf den Tonleitermodus wechseln, womit man beispielsweise die pentatonische Tonleiter spielen kann. Somit würden diskrete Töne gespielt und nicht kontinuierliche, was es vereinfacht das Instrument zu bedienen. Dies soll auch ungeübten Spielern ermöglichen etwas zu spielen. Zusätzlich soll es möglich sein, Töne anderer Instrumente zu spielen

Verstärker und Lautsprecher

Im Projekt 5 wird vorerst der Audioausgang des Entwicklungsboards verwendet, um die Funktionalität zu testen. Im Projekt 6 wird dann abgeklärt ob selbst ein Verstärker entworfen werden soll.

3.3 Blockschaltbild



4 Risiken

Gewicht	Beschreib	Konsequenzen	Prävention
1	Die Mischung und Filterung des Signals funktioniert nicht.	Das Theremin kann nicht gespielt werden	Das Mischen in einem zeit und wertdiskretem Simulations- Tool simulieren.
2	digitaler Referenzoszillator funktioniert nicht	Das Theremin kann nicht gespielt werden.	Der digitale Referenzoszillator in einem zeit und wertdiskretem Simulations- Tool simulieren.
3	Die Dynamik des analogen Antennen Teils reicht nicht aus, um eine Differenz von bis zu 2kHz zu generieren.	Das Theremin hat nicht die volle Dynamik von 4 Oktaven(2kHz).	Ausmessen des bestehenden Franzis Bausatzes.
4	Inbetriebnahme des ARM-based hard processor system(HPS) für die Ansteuerung eines LCD	Ist es nicht möglich die Inbetriebnahme des HPS zu machen, schränkt dies stark die Bedienerfreundlichkeit des Theremins ein.	Bereits bestehende Projekte konsultieren

5 Projektstrukturplan

Der Projektstrukturplan wurde auf Grund der Übersichtlichkeit im Excel File Projektstrukturplan.xlsx realisiert.

6 Quellenverzeichnis

- [1] T.Riegler, “Wie funktioniert ein Theremin? ,“ Theremin zum selberbauen. München, Franzis Verlag, 2018, 12. [Online]
Available: https://files.elv.com/Assets/Produkte/14/1448/144855/Downloads/65347_Theremin-selber-bauen_Druckdaten.pdf [09.10.2019]
- [2] Ege Elektronik, “Ultraschallsensoren Technik und Anwendung,“ 2017. [Online]
Available: https://ege-elektronik.com/de/produkte/temperatur-druck-ultraschall/anwendung_ultraschall.html [09.10.2019]
- [3] “Time-of-flight camera ,“ Wikipedia, 2019. [Online]
Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera