Präsentation Text

**Wie funktioniert ein Theremin?**

Auf der Folie sehen Sie das Block Schaltbild eines anlogen Theremin. Das klassische Theremin besitzt zwei Antennen. Der Spieler kann über die senkrecht angebrachte Antenne die Tonhöhe beeinflussen. Mit der waagrechten Antenne regelt der Spieler die Lautstärke. Eine typische Eigenschaft des Theremins ist, dass der Ton des Theremins in einem weiten Frequenzbereich kontinuierlich veränderbar ist. Das Theremin kann daher alle Frequenzen in einem Bereich spielen, im Gegensatz zu den meisten anderen Instrumenten.

Der Abstand der Hand des Spielers zur Antenne verändert jeweilige die Schwingfrequenz des Tonhöhen- und Lautstärkenoszillators. Dabei wird der kapazitive Anteil des LC-Schwingkreises beeinflusst, was eine Änderung der Schwingfrequenz zur Folge hat. Die Frequenz dieser Oszillatoren ist jedoch weit über dem hörbaren Bereich (zwischen 100 kHz bis 1 MHz). Mit Hilfe eines Mischers und einem Referenzoszillator wird die Frequenzdifferenz des Tonhöhenoszillators hörbar gemacht und danach verstärkt[3]. Der Lautstärkepegel ergibt sich durch die Verwendung eines Bandpassfilters und eines nachfolgenden Hüllkurvendetektors.

**Grob was haben wir geändert?**

Der Aufbau des digitalen Theremins ist sehr ähnlich, wie das des Analogen, jedoch mit einigen Änderungen, um es besser digital aufzubauen. Der Lautstärken- und Tonhöhenoszillator generieren nicht mehr einen Sinus sondern ein Rechteck . Wir haben uns deshalb für diese Änderung entschieden, da es so einfacher ist das Signal in das FPGA einzulesen. Dies da kein Analog-Digital-Wandler nötig ist. Weil der Referenzoszillator weiterhin einen Sinus generiert, ergibt die Mischung mit dem Rechteck auch Mischprodukte mit dessen Oberwellen.

Da diese aber eine höhere Frequenz haben, ist eine spätere Filterung möglich. Weiter sind die Referenzoszillatoren neu digital. Um nun einen Sinus zu generieren, wählten wir den Cordic Algorithmus. Dieser ermöglichte es uns verschiedene Frequenzen zu generieren. Der Mischer multipliziert den Sinus des Referenzoszillators mit dem Rechteck des analogen Oszillators. Für das Tiefpassfilter haben wir uns entschlossen, mehrere CIC-Filter und ein FIR-Filter einzusetzen. CIC-Filter haben den Vorteil, dass sie ressourcensparender sind als äquivalente FIR-Filter. Die Komponenten bis zum CIC Filter wurden im Projekt 5 realisiert.

Im Projekt 6 implementierten wir zusätzlich die Lautstärkenverarbeitung. Die Signalverarbeitung für die Lautstärkenverarbeitung ist bei diesem Aufbau gleich, wie bei der Tonhöhenverarbeitung. Dadurch können wir dieselben Komponenten nochmals nutzen.

Damit diese auch ein Signal erhält, ist der zweite analoge Oszillator in einem Redesign des PCB hinzugefügt worden. Dieses Redesign umfasst nebst des zweiten Oszillators eine Speisung der beiden Schaltungen über das gleiche Netzteil wie das FPGA.

Um das Audiosignal zu verstärken, benötigt der Verstärker die Frequenzinformation der Lautstärkenverarbeitung. Diese erhält er vom Block Frequenzmessung. Da die Frequenz des Lautstärkenoszillators bei Veränderung der Distanz zu der Antenne exponentiell ändert, ist keinerlei Umrechnung nötig, um eine exponentielle Lautstärkenänderung zu erzielen. Anschliessend konvertiert der Digital-Analog-Wandler das verstärkte Audiosignal und gibt es am Lautsprecher aus.

Die Bedienung des FPGA läuft über den implementierten Nios II Prozessor und den von ihm gesteuerten LCD Display. Der Benutzer kann über den Touchscreen diverse Einstellungen vornehmen und Funktionen des Theremins einfach aktivieren und deaktivieren. Der Spieler kann die automatische Kalibration des Theremins über das Menu starten, um es auf seinen Spielstil abzustimmen. Dazu gleicht das Theremin die beiden digitalen Referenzoszillatoren auf die analogen Antennenoszillatoren ab.  
Das Spielen von genauen Tönen ist nun auch möglich, wenn der Spieler keine ruhige Hand hat. Der eingebaute Glissando-Effekt korrigiert während dem Spielen die Töne auf den nächstgelegenen Ton.

**Ton Anzeige**

Diese Anzeige unterstützt den Spieler dabei seine Spielgenauigkeit zu trainieren um, Töne der Pentatonischen Tonleiter zu treffen. Der Spieler bekommt über das Display eine optische Rückmeldung, in welcher Region der Tonleiter sich der gespielte Ton befindet. So muss der Spieler nicht alleine auf sein Gehör vertrauen. Die Abbildung auf der Folie zeigt die Darstellung dieses States. Der Schriftzug oberhalb des LCD zeigt denTon an, der sich in der Region der gespielten Frequenz befindet. Der kleine vertikale Strich zeigt dem Spieler an, wie weit weg die aktuell gespielte Frequenz von dem Ton der Tonleiter ist.

Diese graphische Unterstützung kann jedoch nur bei der pentatonischen Tonleiter angewendet werden. Da die Antenne sehr empfindlich auf Änderungen ist, ist es mit der normalen Tonleiter nicht hilfreich, den vertikalen Strich anzuzeigen.

**Stand**

Das digitalte Theremin kann auf die gleiche Art und Weise gespielt weden wie ein analoges Theremin. Mit dem Unterschied das die ganze Signalverabeitung auf dem FPGA gemacht wird. Die Spielhilfte Glissando Effekt und die Tonanzeige, hilft musikalischen unerfahrenen Leuten Töne zu treffen und die Spielgenauikeit zu trainieren. Über ein Touch Display kann der Benutzer einige Einstellungen am Theremin vornehmen und zudem den automatischen Kalibrierungsvorgang des Theremin starten. Schlussendlich wurde das Gerät in ein ansprechendes Gehäuse verpackt. Damit wir ein etwas ausgefalleneres Gehäuse fertigen konnten, entschieden wir uns dieses mit einem 3D-Drucker herzustellen.

Durch den häufigen Gebrauch des PCB ist uns bewusst geworden, dass der verwendete JFet sehr empfindlich gegenüber elektrostatischer Entladung ist.

Zudem tritt leichtes Aliasing bei hoher Lautstärke auf. Auffallend ist, dass dieses nur bei den höheren Tönen (über 1 kHz) auftritt. Dies ist auf die Filterung des Mischersignals durch die CIC-Filter und das verwenden eines Rechtecksignals im Mischer zurückzuführen. Die Oberwellen des Rechtecksignals, welche auch Mischprodukte hervorrufen, machen es schwierig, durch Filterung mittels CIC-Filter Aliasing ganz zu vermeiden.