Konzeption und Entwicklung eines Delta-Sigma-Wandlers in VHDL

Alexander Riske

Dirk Jansen, Tobias Volk

Hochschule Offenburg, Badstraße 24

0781/ 205 179, Alexander.Riske@fh-offenburg.de

Zusammenfassung:
Delta-Sigma-Wandler, auch Bitstream-Wandler genannt, werden in der Audiowelt heute nahezu ausschließlich verwendet. Sie sind bei überzeugenden klanglichen Qualitäten auch preiswert und relativ einfach herzustellen.

1. Einleitung

Das Funktionsprinzip des Delta-Sigma-Modulators besteht auf der kontinuierlichen Differenzbildung des Eingangssignal mit dem Ausgangssignal. Der Unterschied beider Signale wird dann aufintegriert und somit der Ausgangsfehler reduziert.

Durch die Modulatorschaltung wird die Quantisierungsrauschenergie in den höheren Frequenzbereich verschoben. Dieser Frequenzbereich wird für die Verarbeitung der Signale aber nicht verwendet, sondern durch den nachfolgenden Tiefpass gefiltert und unterdrückt somit das gesamte Rauschen. Das Verfahren ist unter dem Namen „Noise Shaping“ bekannt.

Die Ordnung des Wandlers wird durch die Anzahl der Integratoren und somit der Gegenkopplungen bestimmt. Je höher die Ordnung des Modulators, desto weiter wird die Rauschleistung im Spektrum verschoben und somit wächst der Nutzungsfrequenzbereich.

In meiner Studienarbeit sollte eine akustische Ausgabe einer WAVE- Datei mit dem SIRIUS- Prozessor realisiert werden. Hierzu sollte ein digitales Modul entwickelt und mit dem Prozessor auf einem FPGA realisiert werden.

Abb. 1 *Stud- PDA, entwickelt in der HS- Offenburg*

Der Prozessor soll dazu eine Melodiedatei von einer SD-Karte auslesen und in ein pulsverhältnismoduliertes Signal (PPM) umwandeln. Der Mittelwert der Überabtastung entspricht immer dem aktuellen Eingangswert.

2. Hardware

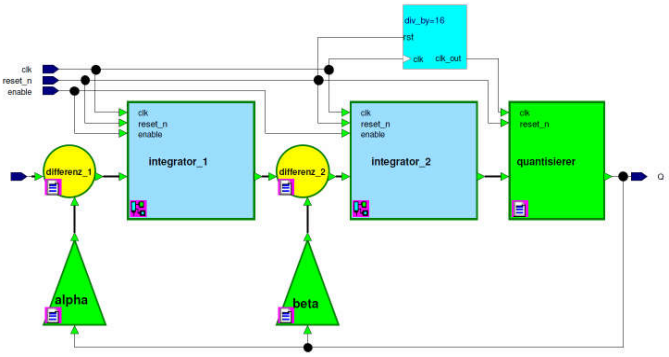

Abb. 2 *Hardwareumsetzung der Sigma-Delta-Modulators*

Im Modulator wird die Differenz aus dem Eingangs- und dem Ausgangssignal über eine oder mehrere Rückkoppelschleifen gebildet. Die Differenz der beiden Signale bildet den momentanen Fehler zwischen dem Eingang- und dem Ausgangsignal. Dieser Fehler wird dann integriert und vom Quantisierer bewertet. Eine digitale „1“ steht im einfachsten Fall für eine positive und eine „0“ für eine negative Abweichung.

Bei genügend hoher Überabtastung tritt zwischen zwei Abtastzeitpunkten nur eine geringe Signaländerung auf, so dass die Verwendung eines einfachen 1-Bit Wandlers möglich wird. Die entstehende serielle Bitfolge stellt ein pulsdichtemoduliertes Signal mit einer höheren Abtastfrequenz dar. Die Bitfolge dieses Datenstromes kann das Originalsignal komplett und eindeutig beschreiben.

Dieser Bitstream wird als Übergabesignal an den Tiefpassfilter weitergeleitet. Die Unterdrückung der hochfrequenten Rauschanteile sowie die Umwandlung des pulsdichtemodulierten Signals in ein analoges Signal werden vom Tiefpassfilter übernommen.

Die Überabtastrate des Gesamtsystems beträgt:

$$\mathrm{OSR} = \frac{48\,\mathrm{MHz}}{16 \cdot 44{,}2\,\mathrm{kHz}} \approx 68$$

3. Software

3.1. Wave-Format

Das WAVE-Dateiformat (auch WAVE RIFF genannt) ist ein Format zur digitalen Speicherung von Audiodaten, das von Microsoft definiert wurde. Die Amplituden der einzelnen Abtastpunkte werden nacheinander in einer Datei gespeichert.

Das WAVE-Format garantiert die Speicherung und Wiedergabe von akustischen Signalen in hoher Qualität, eine Datenkompression wird dabei nicht unterstützt. Das Format arbeitet mit einer Sampletiefen von 8 und 16 Bit und einer Abtastrate von bis zu 44,2 kHz. Dies führt zu einer Datenmenge von 88,2 kB (705 kBit) pro Sekunde. Die Größe der WAVE-Datei bestimmt sich aus den Aufnahmeeigenschaften.

Um das WAVE-Dateiformat vollständig zu beschreiben, ist der Header von Microsoft sehr umfangreich gehalten worden. Die wichtigsten Headerpositionen und deren Bedeutung sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Headerposition	Bytes	Bedeutung
0	4	‚RIFF'- Signatur
4	4	Dateigröße in Byte
8	4	‚WAVE'- Signatur
22	2	Anzahl der Kanäle (1=Mono, 2= Stereo)
24	4	Samplingrate
34	2	Samplingtiefe (8, 16Bits)
44		(akustische) Nutzdaten

Tab.1 *Headerposition und Bedeutung*

Der Headerinhalt definiert demmentsprechen die Konfiguration des Delta- Sigma- Wandlers.

3.2. Softwareentwicklung

Der Dateiinhalt kann viel schneller aus dem RAM als von der SD-Karte gelesen werden, deshalb werden beim Programmstart zwei Buffer mit der Größe von 512 Bytes reserviert. Der Blöcke wird dann mit dem Inhalt der abzuspielenden Datei von der SD-Karte gefüllt. Parallel dazu arbeitet der SIRIUS Prozessor alle 22,6 ms (44,2 kHz) die Interrupt Service Routine *isr_sound()* ab und stellt die Daten des Buffers der Hardware zur Verfügung.

Im Wechselbetrieb wird das Auffüllen der neuen Daten sowie das Wandeln des Bufferinhaltes bis zum Dateiende wiederholt.

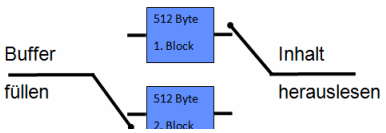

Abb 3. *Wechselbetrieb der beiden RAM Buffer*

4. Software

Die Funktion des Delta-Sigma-Wandlers ist durch das Abspielen mehrer WAVE-Dateien sowie erstellten Testsignale, wie in der Abbildung 4, erfolgreich nachgewiesen.

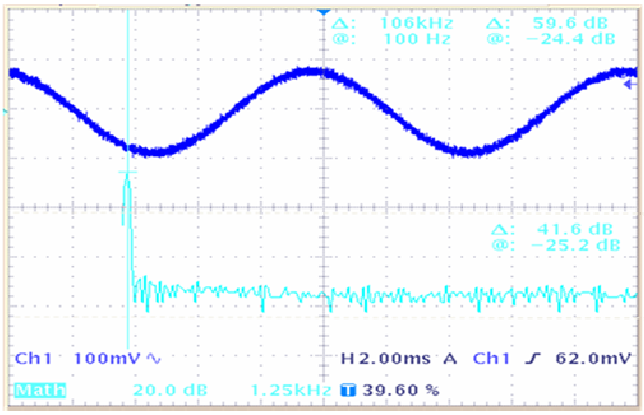

Abb 4. *Ausgangssignal des Tiefpassfilters*

Der Signal-Rauschabstand eines Testsignals mit 100 Hz beträgt mindestens 40 dB.

Zurzeit wird das Gesamtsystem im „Stud-PDA" eingesetzt und den erfolgreichen Abschluss des Projektes.

5. Referenzen

[1] D. Jansen, N. Fawaz, M. Durrenberger, D. Bau: "A Small High Performance Microprocessor Core SIRIUS For Embedded Low Power Designs, Demonstrated in a Medical Mass Application Of an Electronic Pill (ePille©)", Embedded System Design Topic, Techniques and Trends, ISBN 978-0-387-72257-3, p. 363-372, June 2007, California, USA.

[2] A. Riske „Konzeption und Entwicklung eines Delta-Sigma-Wandlers in VHDL" Februar 2010