

# Das „analoge FPGA“

## Embedded System Designs mit Field Programmable Analog Arrays

Joachim Strohschenk, Produkt Manager für Anadigm bei Insight/Memec

**Was heute für Digital-Entwickler mit Hilfe von FPGAs gang und gäbe ist, steht jetzt auch in analoger Schaltungstechnik zur Verfügung. Field Programmable Analog Arrays (FPAA), sozusagen analoge FPGAs, ermöglichen es, flexible programmierbare Schaltungen mit EDA-Unterstützung am PC zu entwickeln. Es ist sogar möglich, diese Designs so zu gestalten, dass sie während des Betriebs vom Mikrocontroller verändert oder angepasst werden können oder jederzeit neu kalibrierbar sind. Worauf es ankommt und wie das ganze funktioniert erfahren Sie im folgenden Artikel.**

Ein FPAA-System basiert auf drei verschiedenen Komponenten: der programmierbaren Hardware (dem FPAA-IC), dem EDA-System (der Anadigm-Designer Software) und einem Evaluierungssystem, um die per Software entwickelte Lösung sofort testen zu können.

### Die Hardware

Im Moment sind zwei IC-Familien verfügbar: statische und dynamisch konfigurierbare Bausteine mit einer unterschiedlichen Anzahl sogenannter CABs (Configurable Analog Block). Die ICs halten ihre Konfigurationsdaten im SRAM, so dass sie beliebig oft neu programmiert werden können. Diese mittlerweile zweite FPAA-Generation von Anadigm basiert auf der Switched-Capacitor-Technologie, welche die Programmierbarkeit der Bausteine gewährleistet. In diesem Verfahren werden, vereinfacht gesagt, Widerstände durch geschaltete Kapazitäten ersetzt. Sind diese Kapazitäten in ihrer Größe programmierbar, so ist es möglich, durch entsprechende Konfiguration das Verhalten z. B. eines Verstärkers oder eines Filters zu verändern bzw. zu programmieren. Mit weiterer Support-Hardware ist es dann noch möglich, andere Funktionen als nur Verstärker oder Filter zu realisieren.

Ein FPAA besteht aus folgenden Funktionsblöcken: CAB, Eingänge, Ausgänge, Konfigurationslogik, Look Up Table (LUT) und Verdrahtungs-Ressourcen. Der wesentliche Teil, der auch entsprechend ausgelegt werden muss, ist der CAB. In diesem Fall besteht ein CAB aus zwei Operationsverstärkern, einer Anzahl von in 8 bit programmierbaren Kondensatoren, einem Komparator mit einem SAR-Register, Schaltern sowie weiteren Verdrahtungs-Ressourcen. Die wesentliche Architektur eines CABs ist in Bild 1 dargestellt. Es wird somit möglich, beliebige Kondensatoren an beliebigen Stellen in der OPV-Beschaltung sowohl als statische als auch als dynamische Kapazitäten (Widerstände) zu platzieren.

Stellen wir uns eine invertierende Verstärker-Grundschialtung vor, bei der die beiden die Verstärkung bestimmenden Rückkopplungswiderstände durch dynamische Kondensatoren ersetzt werden. Diese beiden Kondensatoren können nun jeweils 256 verschiedene Werte einnehmen, was bedeutet, dass zirka 64 000 Verstärkungswerte programmiert werden können. Dies ist mit Sicherheit für nahezu alle Anwendungsfälle ausreichend.

Eine Besonderheit der „Switched-Capacitor“-Technologie ist es, dass sowohl positive als auch negative Widerstände in Abhängigkeit von der Schalterpolarität realisiert werden können. Dies ermöglicht zusammen mit dem Komparator, der eben diese Schalterpolarität dynamisch beeinflussen kann, viele Sonderfunktionen wie z. B. Gleichrichter, logarithmische invertierende Verstärker, zurücksetzbare Integratoren und vieles mehr. Mit Hilfe des SAR-Registers lässt sich pro CAB ein A/D-Wandler mit 8 bit Genauigkeit realisieren. Dies ist eigentlich nichts besonderes, aber dieser Wandler lässt sich geschickt nutzen: So ist es möglich, mit dem Wandler-Ausgang direkt Kondensatoren zu programmieren, womit sich Multiplizierer und Dividierer realisieren lassen. Des Weiteren kann die LUT (Look Up Table) direkt adressiert werden. Mit deren Hilfe können dann beliebige nichtlineare Übertragungsfunktionen, wie z.B. AGC, logarithmische oder delogarithmische Verstärker, Kennlinien-Linearisierung usw. realisiert werden. Es ist also möglich, einen CAB für nahezu alle denkbaren analogen Funktionen zu konfigurieren.

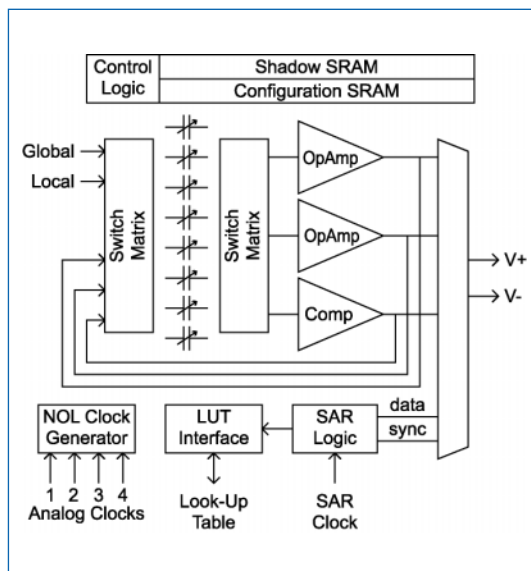
Diese Konfiguration wird über die Configuration Engine vorgenommen. Sie besteht unter anderem aus zwei Registerbänken (RAMs). In einer Registerbank steht die aktuelle Konfiguration. In der zweiten Registerbank, dem sogenannten Shadow-RAM, kann jederzeit eine vollständige oder teilweise Konfigurations-Änderung programmiert werden. Diese übergibt dann auf Kommando innerhalb eines Taktes parallel die neuen Daten. Der Baustein hat damit neue Parameter oder eine ganz andere Funktion bekommen.

Mit Hilfe dieser Fähigkeit ist es möglich, die Funktion des ICs zu jeder beliebigen Zeit ganz oder teilweise zu ändern, um Zeitmultiplex-Systeme oder adaptive System zu realisieren. An dieser Stelle, an der sich die beiden IC-Familien AN1xxx und AN2xxx unterscheiden. Die AN1xxx-Familie ist die Low-Cost-Version und beinhaltet keine Shadow-Registerbank, weshalb hier dynamisches Umkonfigurieren nicht möglich ist.

Um ein System mit den Anadigm-FPAAs zu realisieren, werden nur wenige Komponenten benötigt. Ein Minimal-System besteht aus dem FPAA-IC, einem Quarz und einem EEPROM zur Konfiguration. Aus diesem kann das FPAA die Daten beim Hochfahren des Systems selbständig auslesen. Über den SPI-Bus kommuniziert der Baustein mit der Außenwelt. Es können bis zu 255 Elemente an einem Bus angeschlossen werden, was eine in der Praxis fast unbegrenzte Anzahl von analogen Funktionen ermöglicht.

Um ein System mit den Anadigm-FPAAs zu realisieren, werden nur wenige Komponenten benötigt. Ein Minimal-System besteht aus dem FPAA-IC, einem Quarz und einem EEPROM zur Konfiguration. Aus diesem kann das FPAA die Daten beim Hochfahren des Systems selbständig auslesen. Über den SPI-Bus kommuniziert der Baustein mit der Außenwelt. Es können bis zu 255 Elemente an einem Bus angeschlossen werden, was eine in der Praxis fast unbegrenzte Anzahl von analogen Funktionen ermöglicht.

Um ein System mit den Anadigm-FPAAs zu realisieren, werden nur wenige Komponenten benötigt. Ein Minimal-System besteht aus dem FPAA-IC, einem Quarz und einem EEPROM zur Konfiguration. Aus diesem kann das FPAA die Daten beim Hochfahren des Systems selbständig auslesen. Über den SPI-Bus kommuniziert der Baustein mit der Außenwelt. Es können bis zu 255 Elemente an einem Bus angeschlossen werden, was eine in der Praxis fast unbegrenzte Anzahl von analogen Funktionen ermöglicht.



**Bild 1: Schematische Darstellung eines CAB (Configurable Analog Block).**

Fortsetzung auf Seite 24



**all-electronics.de**  
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG

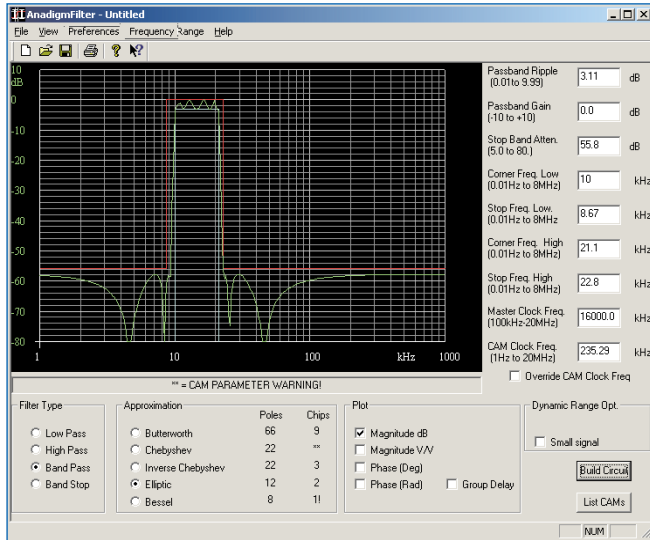


Entdecken Sie weitere interessante Artikel und News zum Thema auf all-electronics.de!

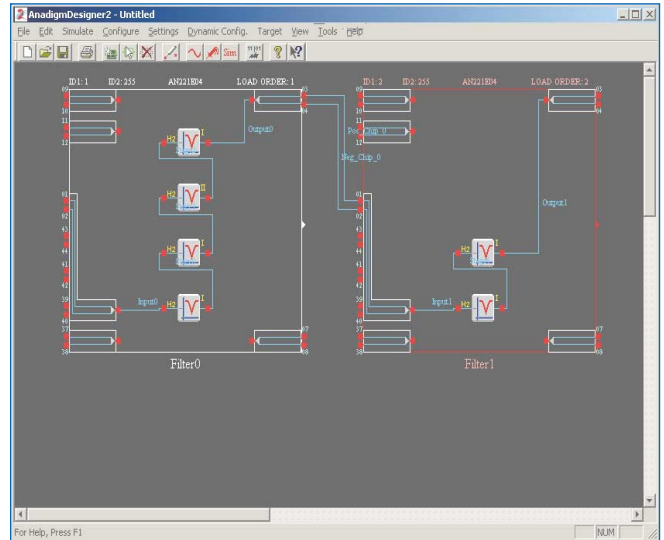
**Hier klicken & informieren!**



Fortsetzung von Seite 22



**Bild 2a:** Bedienoberfläche von AnadigmFilter.



**Bild 2b:** Ein fertiges Design, das mit AnadigmFilter erstellt wurde.

Die Verstärkungsgenauigkeit hängt natürlich nicht vom absoluten Fehler der Widerstände (Kondensatoren), sondern von deren relativen Fehlern (matching) ab. Soll z. B. eine Verstärkung von 10 programmiert werden, kann einer der Kondensatoren den Wert 10 und der andere 100 annehmen. Nun ist es egal, ob diese Werte exakt stimmen, solange beide die gleiche Abweichung haben. In unserem Beispiel (11 und 110) hat der Verstärkungsfaktor unverändert den Wert 10. Und genau dieses Matching ist bei integrierten Kondensatoren sehr gut: im Falle dieser ICs 0,1%, so dass die Verstärkung mit 0,1% Genauigkeit programmierbar ist. Ähnliche Überlegungen können für Filter oder andere Funktionen angestellt werden.

Die im gleichen Prozess gefertigten Kondensatoren haben sehr ähnliche Temperatur-Koeffizienten sowie eine annähernd ähnliche Temperatur, wodurch sich sehr gute Temperaturdrift-Spezifikationen ergeben. Diese liegen in der Summe um Zehnerpotenzen besser als die diskreter Standardbauteile. In diesen ICs können Frequenzen bis etwa 470 kHz mit bis zu 82 dB Signal-Rauschverhältnis verarbeitet werden.

## Die Software

Die Software (aktuelle Version 2.3 des *AnadigmDesigner2*) ist die Systemkomponente, die dem ganzen System das Leben einhaucht. Sie besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen: Der graphischen Bedienoberfläche, den *Configurable Analog Modules* (CAMs), dem Simulator, Assistenten und der Funktion *Bitstreams*.

Ein weiterer sehr wichtiger Funktionsblock ist der C-Code-Generator. Dabei lassen sich CAMs aus einer oder mehreren Bibliotheken auf dem IC platzieren, verdrahten und parametrieren. CAMs sind vorgefertigte,

getestete analoge Funktionsblöcke. Auf diese Weise entsteht ein statisches Design. Hierbei platziert und routet AnadigmDesigner automatisch die gewählten CAMs in die vorhandenen CABs und nutzt die Verdrahtungs-Ressourcen. Der Nutzer braucht sich also im Gegensatz zu den FPGAs keine Gedanken über optimale Platzierung oder Routing zu machen.

Das entstandene Design kann mit dem integrierten funktionalen Simulator, der das Ergebnis auf einem virtuellen Vierkanal-Oszilloskop darstellt, sofort auf seine Funktion hin überprüft werden. Über den Unterpunkt „configure“ des AnadigmDesigner besteht die Möglichkeit, verschiedene Dateien zu generieren.

Mit den Assistenten lassen sich komplexe Funktionen einfach eingeben. Die nötige Konfiguration wird berechnet und an AnadigmDesigner übergeben. Dies ist in **Bild 2a** und **2b** am Beispiel eines komplexen Filters dargestellt, der mit den Assistenten von AnadigmFilter entwickelt wurde. Hiermit können beliebige Filter in einer graphischen Oberfläche eingegeben, die passende Approximation ausgewählt und die Konfigurations-Parameter an die Entwicklungssoftware übergeben werden. So steht jetzt ein **PID-Assistent** zur Verfügung, mit dem das Design und der Abgleich von PID-Regelkreisen mit Hilfe weniger Daten erfolgt (P, I, D, Clock).

Ist das Design in der Software fertig, kommt der integrierte Bitstream-Generator zum Zuge. Er erzeugt jetzt einen Datenstrom mit dessen Hilfe das IC programmiert werden kann. Der eigentliche Clou ist aber der C-Code-Generator. Dieser erzeugt ANSI-C-Funktionen, die in jedes beliebige C-Programm eines auf der Leiterplatte untergebrachten Mikrocontrollers eingebunden werden können. Mit diesen Codes (ApiCode.C, ApiCode.H, CAMCode.C, CAM-

Code.H) kann der Systemprozessor in die Lage versetzt werden, jederzeit in Echtzeit die Funktion des ICs zu verändern, indem etwa die Grenzfrequenz eines Filters, eine Integrationskonstante oder eine Multiplizierstellung usw. neu berechnet und ins IC übertragen werden. Damit sind Funktionen wie Online-Kalibrierung, adaptives Verhalten, Selbstlernfähigkeit usw. in der analogen Domäne möglich.

Dies ermöglicht in analogen Systemen die Implementierung von Funktionen, die bisher nur digital gelöst werden konnten, während durch Wandler und DSPs verursachte Laufzeitprobleme vermieden werden und zum Teil ein günstigerer DSP ausreicht.

## Das Evaluation System

Die dritte und letzte Systemkomponente ist das Evaluation-Board, mit dessen Hilfe jetzt die entwickelte Schaltung sofort getestet werden kann. Hierzu wird das Konfigurationsfile per RS232-Verbindung vom PC in das IC geladen, das dann sofort die entsprechende Funktion ausführt. Das Board selbst ist mit verschiedenen Konfigurations- und Testmöglichkeiten ausgestattet und auch für Multichip-Systeme praktisch beliebig erweiterbar. Per SPI-Schnittstelle lässt es sich mit den meisten üblichen µP-Evaluations-Systemen verbinden.

www.memec.de

Anadigm / Insight-Memec **311**

**Joachim Strohschenk** ist Produkt Manager für Anadigm bei der Insight, einer Division der Memec GmbH, in Unterhaching bei München.