

Концепция микроконтроллеров гибридной архитектуры
Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана
д.т.н., профессор Атанов С.К.

В данной работе рассмотрена концепция применения в микроконтроллерных системах аналоговых методов обработки информации. Достижения в области микроэлектроники позволяют придать аналоговым элементам не только улучшенные характеристики, но и новые функциональные возможности. Один пример: введение в операционные усилители логического входа для перевода в третье состояние позволившее реализовать мультиплексирование многих сигналов в общий канал путем простого объединения выходов, то есть, аналоговое «ИЛИ».

Исторически аналоговые вычислений были первыми и развитие техники привело к первым попыткам создать аналоговый компьютер уже начале 19 века. Так К. Шенномоном [1] был предложен вариант реализации вычислений дифференциально-алгебраические функций на универсальном аналоговом вычислителе.

Параллельно с усовершенствованием аналоговых и цифровых элементов шло развитие совместимых технологий, вызвавших к жизни аналого-дискретную схемотехнику. Важным шагом здесь можно считать освоение технологии коммутируемых конденсаторов с хорошо воспроизводимыми характеристиками. Применение их во входных цепях и цепях обратной связи аналоговых масштабных блоков существенно повысило температурную и временную стабильность многочисленных аналоговых подсхем. В результате резко возросла точность обработки аналоговых сигналов в аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователях. Тем не менее, системные применения аналоговых методов пока ограничиваются лишь входными цепями (front-end) систем сбора и обработки информации, например, в промышленной электронике и электромедицине. В итоге все достижения, перечисленные выше, не оказались, например, в применениях аналоговой техники для полуинтуитивного моделирования процессов управления. А ведь именно в этой области основное преимущество аналоговых систем – параллельный характер аналоговой обработки могло бы проявиться в полной мере. Важна и пониженная чувствительность аналоговых систем к внешним воздействиям, в частности электромагнитным и радиационным.

В задачах повышения скорости вычисления традиционным решением является применение ПЛИС - программируемых интегральных логических микросхем. Построение быстродействующих умножителей и пример реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов на ПЛИС достаточно подробно рассмотрено в [2]. Реализация операции умножения аппаратными методами всегда являлась сложной задачей при разработке высокопроизводительных вычислителей. Так, полный параллельный умножитель 4×4 требует для своей реализации 12 сумматоров. При увеличении разрядности матрица одноразрядных сумматоров значительно разрастается, одновременно увеличивается критический путь, и реализация умножителя становится нерациональной.

Прорывным решением в совмещении на одном кристалле аналоговых и цифровых функциональных модулей можно считать разработку и выпуск фирмой Anadigm программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС) [3,4]. Они представляют собой набор аналоговых элементов, передаточные функции каждого из которых и связи между ними определяются программой, записываемой в конфигурационную память. Здесь просматривается определенная аналогия с микросхемами программируемой логики (ПЛИС). Программируемые аналоговые интегральные схемы (ПАИС) или в зарубежной терминологии – Field Programmable Analog Array (FPAAs) выпускаются компаниями Anadigm (www.anadigm.com) и Lattice Semiconductor (www.latticesemi.com). Функциональный состав типовой ПАИС (FPAAs) позволяет сконфигурировать ее для исследования практически любых компонентов и устройств аналоговой схемотехники. Так научной группой из Вустерского политехнического института (США) при создании

алгоритмов движения робота были использованы решения на программируемых аналоговых интегральных схемах [5].

Альтернативным путем повышения скорости вычисление при высокой гибкости программирования стало появление сигнальных процессоров. Архитектура сигнальных процессоров по сравнению с микропроцессорами общего применения имеет некоторые особенности, связанные со стремлением максимально ускорить выполнение типовых задач цифровой обработки сигналов таких как цифровая фильтрация, преобразование Фурье, поиск сигналов и т. д.[6]. Математически эти задачи сводятся к поэлементному перемножению элементов многокомпонентных векторов действительных чисел, последующему суммированию произведений (например, в цифровой фильтрации выходной сигнал фильтра с конечной импульсной характеристикой равен сумме произведений коэффициентов фильтра на вектор выборок сигнала, аналогичные вычисления производятся при поиске максимумов корреляционных и автокорреляционных функций выборок сигналов). Поэтому сигнальные процессоры оптимизированы по быстродействию для выполнения именно таких операций и ориентированы, в первую очередь, на многократное выполнение умножения. Все это в итоге требует высокой скорости и многоядерного процессора что приводит к высокой стоимости изделия и высокому энергопотреблению.

Концепция микроконтроллеров предлагаемой гибридной архитектуры использования аналоговых вычислений в цифровых системах это интеграция цифровой части микроконтроллера и аппаратно-аналогового вычислителя. Для этого традиционная архитектура микроконтроллера дополняется модулем аналоговых вычислений. На рисунке 2 приведен вариант архитектуры предлагаемого микроконтроллера с интеграцией по системной шине с использованием буферных регистров.

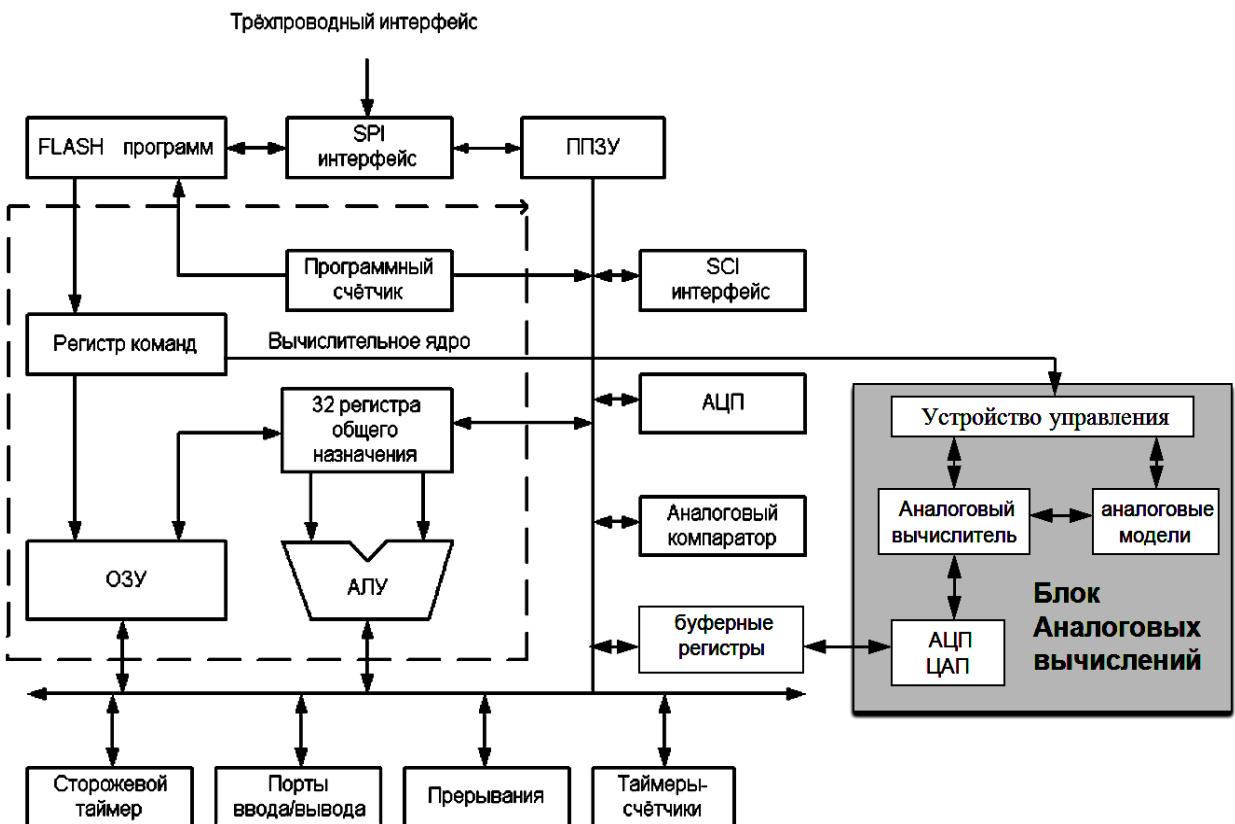


Рисунок 2 - Архитектура гибридного микроконтроллера с аналоговым вычислителем

Такая архитектура обеспечивает выполнение математических операций в аппаратно-аналоговом виде с последующим преобразованием результатов в цифровую форму. После выполнения математических операций результаты через буферные регистры в бинарной

форме поступают на системную шину. Обращение в аналоговому вычислителю через специализированные регистры позволяет сохранить традиционную архитектуру и систему управления что обеспечит совместимость с существующими цифровыми устройствами и программным обеспечением.

Задание корректных начальных условий обеспечит однозначное и устойчивое аппаратное аналоговое решение для последующей его цифровой интерпретации. Разработка программных приложений для аналоговых блоков позволит обращаться к ним из традиционных языков программирования путем подключения соответствующих библиотек расширений и программно конструировать сложные алгоритмические схемы.

Основные преимущества предлагаемой концепции использования аналоговых вычислений в цифровых системах:

- параллельная аппаратная обработка цифровых и аналоговых сигналов, ускоряющая криптографическую обработку информации;
- расширение спектра команд для аппаратной обработки сигналов (тригонометрические и показательные функции, фильтрация, преобразования Фурье, Уолша, Хартли и др.);
- программная и аппаратная совместимость с существующими вычислительными системами.

Все это позволит проводить криптографическую обработку сигналов на основе аппаратных измерений и выполнять их за один такт работы аналогового вычислителя. Данное решение позволяет значительно ускорить не только криптографические операции, но и вычисление специальных функций при обработке сигналов как тригонометрические, показательные операции, а также решать дифференциальные и нелинейные уравнения в зависимости от состава моделей аналогового вычислителя. Данная архитектура не свободна от недостатков, к которым нужно отнести прежде всего низкую точность расчета, преодолеть которую можно программным путем и использованием прецизионных операционных усилителей.

1. Shannon C., Mathematical theory of the differential analyzer, J. Math. and Physics, v.20, № 4 (1941), pp. 337-365/
2. Солонина А. И., Улахович Д. А., Яковлев Л. А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. — СПб: БХВ-Петербург, 2001. — 464 с. — ISBN 5-94157-065-1..
3. Гольдшер А., Аткин Э. Быстродействующие аналоговые интегральные схемы для аппаратуры физического эксперимента // Chip News. 2000. № 6. С. 8-12
4. Полищук А. Программируемые аналоговые ИС Anadigm: весь спектр аналоговой электроники на одном кристалле // Современная электроника. 2004. № 12. С. 8-11.
5. D. Berenson, Hod Lipson “Hardware Evolution of Analog Circuits for In-situ Robotic Fault-Recovery”. Cornell Computational Synthesis Lab Cornell University, Ithaca, New York 14853.
6. http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/00_08/stat_88.htm