

Реконфигурируемые контроллеры для интеллектуальных датчиков

Ю.Ф. Адамов, Н.М. Горшкова, А.Г. Сибатуллин, О.А. Сомов

Учреждение Российской академии наук
Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, somovo@ipprm.ru

Аннотация — Рассматриваются основные направления развития контроллеров датчиков. Одно из перспективных направлений — это реконфигурируемые многофункциональные контроллеры интеллектуальных датчиков. Использование многофункциональных микросхем снижает затраты на подготовку производства за счет сокращения номенклатуры изделий, но усложняет процесс проектирования. Предлагается использовать маршрут проектирования “систем на кристалле”, основанный на применении параметризованных моделей аналоговых блоков. Поведенческое моделирование значительно сокращает время проектирования.

Ключевые слова — многофункциональный контроллер интеллектуального датчика, методология проектирования микросхем, параметризуемые поведенческие модели, заказная микросхема, освоение производства.

датчиков, которые должны стать высокотехнологичными и, при этом, дешевыми.

Развитие сенсорных сетей требует обработки больших объемов информации, снижения энергопотребления, повышения надежности и уменьшения себестоимости [1]-[3]. Обеспечение этих требований возможно при использовании специализированных микросистем. Основная проблема заключается в объединении сенсорных, аналоговых, цифровых и связанных блоков в одной микросхеме. Также разработка широкой номенклатуры датчиков требует больших затрат на освоение производства. Для решения данных проблем необходим новый подход к организации разработки и производства, основанный на унификации проектных решений и оптимизации производственных затрат.

I. ВВЕДЕНИЕ

В обозримом будущем широкое распространение получат автоматические сенсорные сети, которые внедрятся почти во все сферы человеческой деятельности. Сети должны стать распределенными и отказоустойчивыми. Для этого многократно должны возрасти вычислительные возможности всех блоков сетевой аппаратуры. Наибольшие изменения коснутся

II. СТРУКТУРА КОНТРОЛЛЕРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДАТЧИКА

Несмотря на разнообразие датчиков, они имеют очень схожую структуру (рис.1), включающую в себя чувствительный элемент, аналоговый регистратор, АЦП, алгоритмический блок, блок связи, генератор



Рис. 1. Блок-схема контроллера интеллектуального датчика

опорной частоты, вторичный источник питания и блок начальных установок.

До настоящего времени, большая часть электронных блоков в датчиках комплектуется универсальными микросхемами и отдельно стоящими чувствительными элементами, изготовленными с использованием специальных технологий и материалов, что отрицательно сказывается на их технологичности и стоимости. Однако, интегрировать в кристалл датчика фото-чувствительные, термочувствительные и магниточувствительные элементы возможно и в рамках типовой КМОП технологии [4]-[6]. Для этого необходима лишь незначительная ее модификация. Например, для формирования структуры инфракрасного фотодиода требуется только изменение энергии и дозы легирования имплантируемых слоев. Термический бюджет при этом не меняется, соответственно, сохраняются и параметры КМОП-транзисторов.

Блоки регистрации сигналов могут быть достаточно разнообразны, но построены на ограниченном числе аналоговых узлов. К таким универсальным узлам можно отнести операционные усилители, компараторы, аналоговые ключи.

В интеллектуальных датчиках, в основном, используются 10-разрядные аналого-цифровые преобразователи с частотой преобразования 5-10 КГц. Одно из основных требований к ним – это малая потребляемая мощность.

Функции блоков связи определяются протоколом обмена информацией в информационной системе. Число используемых протоколов ограничено и функции их хорошо известны. Блоки связи в датчиках унифицировать достаточно просто.

III. РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЙ КОНТРОЛЛЕР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДАТЧИКА

Обеспечение широких возможностей обработки сигналов с чувствительных элементов можно достичь использованием интегрированного в кристалл микросхемы микропроцессора. Но такое решение реализуемо при отсутствии ограничения на потребляемую мощность. В подавляющем большинстве случаев, ограничения на мощность определяют выбор цифрового блока на основе конечного автомата.

На основе унифицированных блоков регистрации, аналого-цифровых блоков и блоков связи возможно создать реконфигурируемую микросистему (рис. 2). Цифровые (алгоритмические) блоки или чувствительные элементы для каждого типа устройств разные. Реконфигурируемость обеспечит размещение на одном кристалле сразу нескольких типов устройств. Программирование межблочных связей и отключение неиспользуемых блоков от системы питания можно осуществлять как с использованием внешних выводов, так и с использованием внутренней энергонезависимой памяти небольшого объема. Такой подход позволит значительно сократить затраты на организацию производства и стоимость конечных продуктов, так как на одном комплекте фотошаблонов можно получить большую номенклатуру устройств.

IV. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КОНТРОЛЛЕРОВ ДАТЧИКОВ

При разработке интеллектуальных датчиков используются современные методы проектирования,

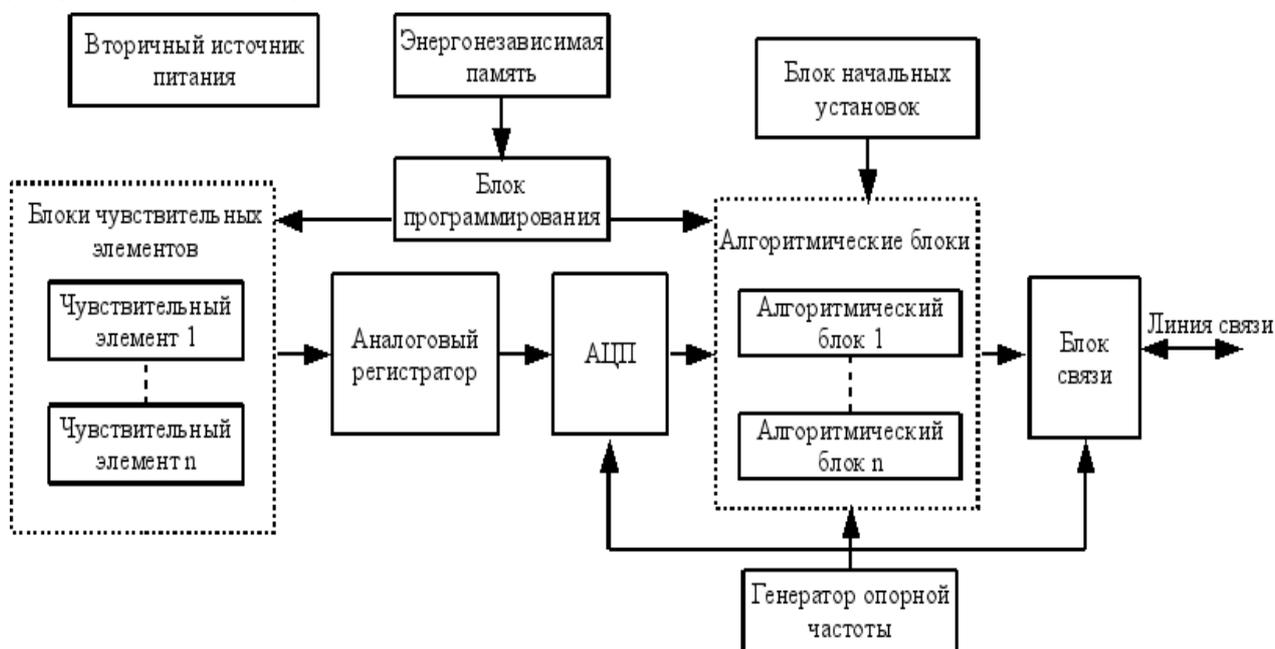


Рис. 2. Блок-схема реконфигурируемого контроллера интеллектуального датчика

основанные на методологии «систем на кристалле» (СнК) [7]-[8]. Основная идея методологии – это использование в проекте уже готовых функционально законченных блоков без их доработки или настройки. Контроллеры интеллектуальных датчиков, в своём большинстве, являются аналого-цифровыми, а наиболее жесткие требования предъявляются к аналоговым блокам контроллеров.

Использование методологии СнК при разработке контроллеров интеллектуальных датчиков требует создания специальной системы проектирования сложнотехнологических блоков (СФ-блоков) [9]-[10]. Наиболее сложная задача – это подготовка технологически реализуемой спецификации. Разнообразие требований к элементам аналоговых блоков очень ограничивает возможности унификации схемотехнических и конструктивных решений. Задача подготовки спецификации должна решаться совместно с выбором технологии производства контроллеров [11].

Схемотехническое проектирование и верификация СФ-блоков выполняются в соответствии с требованиями спецификации и завершаются аттестацией поведенческой модели. Проблема моделирования контроллеров интеллектуальных датчиков определяется условиями их работы. События в контролируемой среде могут развиваться очень медленно в течение часов и суток. Переключения элементов схемы происходят за доли наносекунды. Несоответствие масштабов событий приводит к катастрофическому увеличению объемов вычислений и требуемых компьютерных ресурсов для моделирования процессов на транзисторном или вентильном уровнях. Синтез и оптимизацию электрической схемы контроллера можно осуществить только с использованием параметризованных поведенческих моделей для всех блоков. Для характеристики параметризованных моделей необходимо охарактеризовать несколько конструктивных вариантов аналогового блока на транзисторном уровне и построить зависимость выходных параметров от переменных величин. После определения конструктивных параметров на поведенческом уровне, проводится синтез и верификация оптимизированных аналоговых блоков на транзисторном уровне только один раз. Параметризованные модели блоков могут использоваться в нескольких проектах в ограничениях одной полупроводниковой технологии.

Наиболее сложно решаются проблемы энергосбережения [12]-[14]. Типовые значения тока потребления контроллеров лежат в диапазоне 10÷15 мкА. Энергосбережение эффективно при понижении рабочих напряжений микросхемы. Высокие напряжения требуются для обеспечения помехоустойчивости проводных линий связи.

В подавляющем большинстве случаев, нет необходимости в непрерывной работе датчиков. Активация

датчиков может происходить несколькими способами: периодически через равные промежутки времени, по запросу базовой станции, при появлении контрольно события (нажатия кнопки, срабатывания другого датчика). При активации датчика осуществляется регистрация сигналов чувствительного элемента, обработка информации контроллером и, при необходимости, передача информации на базовую станцию. Большую часть времени датчик находится в режиме ожидания. Мощность, потребляемая датчиком в режиме ожидания, определяет и его среднюю мощность. Для минимизации энергопотребления необходимо использовать специальные схемотехнические решения для блоков и архитектуру микросистемы, обеспечивающую отключение от системы питания блоков, не использующихся в конкретный момент времени. Вторичный источник питания должен иметь вход отключения нагрузки и перевода в энергосберегающий режим. Дежурный блок, естественно, не должен отключаться от электропитания.

V. ВЛИЯНИЕ МАРШРУТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕКОНФИГУРИРУЕМОСТИ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ МИКРОСХЕМ

Анализ находящихся в производстве контроллеров датчиков и опыт собственных разработок показывают, что большую часть площади кристалла контроллера занимают чувствительные элементы и аналоговые блоки обработки сигналов. В процентном соотношении цифровая часть занимает не более 25%. Расширение функций цифрового автомата в большинстве случаев ограничивается десятью вариантами. В этом случае площадь цифрового блока возрастает не более, чем в два раза, а общая площадь кристалла всего на несколько процентов.

Объемы вычислений при проектировании многофункциональных микросхем возрастают в несколько раз. Использование параметризованных моделей в методологии СнК позволяет провести оптимизацию электрической схемы и значительно сократить время разработки многофункциональных микросхем, что положительно сказывается на стоимости проектных работ.

В большинстве случаев затраты на подготовку производства микросхем определяют их себестоимость. Стоимость одного комплекта фотошаблонов для субмикронных технологий приближается к ста тысячам долларов. Реконфигурируемость позволяет иметь на одном комплекте фотошаблонов сразу несколько типов устройств и сокращает затраты на подготовку производства пропорционально количеству уникальных устройств внутри одного кристалла.

VI. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КОНТРОЛЛЕРОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

На основе предложенного маршрута проектирования и использования реконфигурированной архитектуры, разработан ряд новых изделий микроэлектронной техники.

Контроллер дымового оптико-электронного пожарного извещателя [15]-[16], в качестве чувствительного элемента, имеет в своем составе интегрированный спектрально-избирательный инфракрасный фотодиод. Но, при необходимости работы с другим участком спектра излучения или для увеличения чувствительности, вход блока регистрации сигнала переключается на внешний фотодиод. Расширение функций увеличило число выводов на два без изменения площади кристалла. Специальные конструктивные и схемотехнические решения позволили достичь тока потребления в районе 15 мкА.

Вторая микросхема – это комбинированный детектор с интегрированным спектрально-избирательным инфракрасным фотодиодом. Микросхема выполняет функции оптического локатора или линейного дымового оптико-электронного пожарного извещателя. При переключении режимов работы используются разные алгоритмические блоки и общие фотодиод и аналоговая часть. Наличие одного дополнительного вывода, для определения функционального назначения, не сказывается на площади кристалла. Площадь дополнительного цифрового блока составляет 0.02 мм². Общее увеличение площади составило менее 5%, что незначительно влияет на конечную стоимость.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ архитектур различных контроллеров интеллектуальных датчиков показывает их схожесть. На основе унифицированных блоков регистрации, аналого-цифровых блоков и блоков связи возможно создать реконфигурируемую микросхему позволяющую иметь на одном кристалле сразу несколько типов различных устройств. Такой подход позволит многократно уменьшить затраты на организацию производства микросхем, за счет использования одного комплекта фотошаблонов для большой номенклатуры устройств. А снижение затрат на проектирование достигается использованием параметризованных моделей аналоговых блоков в процессе синтеза и оптимизации электрической схемы.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Мокров Е. Состояние, проблемы и пути развития датчикоостроения на 2006-2015 гг. // Электронные компоненты. - 2007. - № 3. - С. 64-71.

- [2] Р. Джексон. Новейшие датчики. - М.: Техносфера, 2007 - 384 с.
- [3] Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П.. Датчики (перспективные направления развития). - Новосибирск: НГТУ, 2003 - 286 с.
- [4] Ванюшин И.В., Гергель В.А., Горшкова Н.М., Зимоглад В.А., Тишин В.И. Разделение фототока на цветковые компоненты в кремниевых p-n фотодиодных ячейках профилированием распределения бора в подложке // Электроника и информатика - 2005. V Международная НТК: Материалы конференции. Часть 1. - М.: МИЭТ 2005. - С. 60.
- [5] Ванюшин И.В., Гергель В.А., Зимоглад В.А., Кружанов Ю.В., Лепендин А.В., Осипенко А.С., Тишин В.И., Энкович В.А. Новое поколение цветных матричных фотоприемников для устройств мобильной связи // Электросвязь. - 2007. - № 6. - С. 13-15.
- [6] Матвеевко О.С. Неэпитаксиальные БиКМОП структуры с субмикронными размерами // Труды 50-й научной конференции МФТИ. Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук. - 2007. - С. 111-112.
- [7] Евтушенко Н., Немудров В., Сырцов И. Методология проектирования систем на кристалле. Основные принципы, методы, программные средства // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - 2003. - № 6. - С. 7-11.
- [8] Немудров В., Мартин Г. Проектирование систем на кристалле. - М.: Техносфера, 2004.
- [9] Адамов Ю.Ф., Сомов О.А., Шевченко Е.А. Системы на кристалле в современной электронике // Микросистемная техника. - 2004. - № 5. - С. 34-38.
- [10] Адамов Д.Ю., Матвеевко О.С. Новые технологии для контроллеров интеллектуальных датчиков // Датчики и системы. - 2009. - № 9. - С. 50-51.
- [11] Сухопаров А.И. Проект "Ангстрем-Т": первая российская smart-foundry // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - 2008. - № 6. - С. 4-7.
- [12] Гергель В.А., Горшкова Н.М., Матвеевко О.С. Энергосбережение в полупроводниковой нанoeлектронике // Нанотехнологии: наука и производство. - 2009. - № 4(5). - С. 27-32.
- [13] Матвеевко О.С. Особенности проектирования интеллектуальных датчиков // Труды 51-й научной конференции МФТИ. Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук. - 2008. - С. 172-174.
- [14] Матвеевко О.С. Блоки управления потенциальными и токовыми ключами // Труды 52-й научной конференции МФТИ. Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук. - 2009. - С. 173-175.
- [15] Матвеевко О.С., Сибигагуллин А.Г. Высокоинтегрированная интегральная микросхема контроллера оптоэлектронного дымового пожарного извещателя для систем пожарной безопасности // Труды 52-й научной конференции МФТИ. Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук. - 2009. - С. 176-178.
- [16] Адамов Ю.Ф., Куликов К.Е., Куцов А.С., Сибигагуллин А.Г. Дымовой оптико-электронный пожарный извещатель. Патент Российской Федерации на изобретение № 2356097 по заявке № 2008112088 от 20 мая 2009.