

# Микросхемы программируемой логики Intel FPGA (Altera) для промышленных приложений

Д. Садеков<sup>1</sup>, В. Ежов

УДК 621.3.049.774 | ВАК 05.27.01

Микросхемы программируемой логики компании Altera, известные сегодня под брендом Intel FPGA, популярны среди разработчиков систем разного назначения. Гибкая платформа Intel FPGA подходит для реализации приложений в различных сферах: от аэрокосмических и военных систем до телекоммуникационного, измерительного и медицинского оборудования. Среди приложений ПЛИС важное место занимают системы промышленного назначения. Решения Intel FPGA позволяют быстро адаптировать промышленную систему к новым требованиям и стандартам, оптимизировать функционал, повысить производительность, снизить затраты, ускорить вывод изделий на рынок. В статье представлен краткий обзор серий программируемой логики Intel FPGA для промышленных приложений, приведены примеры решений на их основе.

**П**ереход к «Индустрии 4.0» требует внедрения технологий и оборудования, отвечающих перспективным требованиям умных производств. Традиционные промышленные системы, такие как программируемые логические контроллеры (ПЛК), системы управления электроприводом, робототехнические системы, оснащаются интеллектуальными функциями с возможностями сетевого взаимодействия по протоколам TSN (Time-Sensitive Networking) в режиме реального времени. Возрастают требования к функциональной безопасности и функциональной совместимости систем промышленной автоматизации на основе унифицированной архитектуры OPC. В этих условиях микросхемы программируемой логики позволяют быстро реализовать интеллектуальное решение, которое отличается расширенным функционалом и возможностью быстрой адаптации к меняющимся стандартам.

Разработчик системы, предназначенной для промышленного применения, может использовать ПЛИС в качестве сопроцессора или законченного решения в виде SoC (SoC FPGA). Стандартный процессор, оснащенный фиксированным набором функций и интерфейсов, уступает в гибкости программируемым устройствам, что ограничивает его применение во встраиваемых системах. С другой стороны, ПЛИС можно передать часть задач по обработке данных для разгрузки системного процессора. Зачастую именно такое комбинированное решение

используется при реализации системы промышленного назначения.

Ассортимент устройств программируемой логики Intel FPGA представлен широкой номенклатурой изделий – от недорогих семейств начального (MAX и Cyclone) и среднего (Arria) класса до высокопроизводительных устройств высшего класса (Stratix, Agilex). На промышленные приложения ориентированы преимущественно семейства MAX 10, Cyclone V, Cyclone 10 и Arria V. Остановимся подробнее на этих сериях.

Последнее поколение семейства MAX – MAX 10 – это универсальные ПЛИС на основе NOR флеш-памяти, выпускаемые по 55-нм технологии. Они сочетают в себе высокую функциональность и низкую стоимость, компактное исполнение и простоту применения. MAX 10 содержат от 2 тыс. до 50 тыс. эквивалентных логических элементов, блоки пользовательской и конфигурационной флеш-памяти, DSP-блоки, ФАПЧ, блоки встроенного ОЗУ. В изделиях реализована поддержка синтезируемого процессора Nios II. Кроме того, устройства снабжены аналоговыми блоками: 12-разрядным АЦП, температурным датчиком, стабилизатором напряжения. Микросхемы MAX 10 содержат до 500 пользовательских выводов, оснащены интерфейсами внешней памяти (DDR3, DDR3L, DDR2, LPDDR2).

Наличие в ПЛИС семейства MAX 10 двух блоков флеш-памяти для хранения конфигурации обеспечивает возможность динамического переключения между двумя образами конфигурации и безопасность при обновлении системы. При подаче питания микросхемы MAX 10

<sup>1</sup> Холдинг «Золотой Шар», менеджер по развитию, тел.: +7 495 234-01-10, sadekov@zolshar.ru.

самостоятельно конфигурируются из встроенной памяти.

Встроенный в MAX 10 LDO-стабилизатор напряжения формирует из входного напряжения 3,3 В необходимые уровни для питания ядра и блоков ввода-вывода, что упрощает реализацию схемного решения. Доступны варианты исполнения MAX 10 без встроенного стабилизатора напряжения; в этом случае на микросхему нужно подавать отдельно напряжение питания ядра (1,2 В) и напряжение питания ФАПЧ / АЦП / блоков ввода-вывода (2,5 В).

На основе MAX 10 можно реализовать широкий спектр решений для промышленных приложений: от простых логических блоков до ШИМ-контроллеров или полностью интегрированных систем, таких как модули ввода-вывода, Ethernet-ключи и контроллеры электроприводов.

Еще одно семейство ПЛИС – Cyclone – «рабочая лошадка» в промышленном сегменте, обеспечивает оптимальный баланс между стоимостью, производительностью и энергопотреблением. В соответствии с последними тенденциями в области программируемых устройств модели этого семейства могут содержать на одном кристалле матрицу ПЛИС и встроенную процессорную систему, что позволяет создавать интегрированные решения, которые отличаются высокой эффективностью. Сегодня проекты в области промышленных систем реализуются преимущественно на основе последних поколений семейства Cyclone – Cyclone V и Cyclone 10.

Основой массива программируемой логики 28-нм семейства Cyclone V являются адаптивные логические модули (как в более дорогостоящих сериях Arria и Stratix). В состав ПЛИС и СМК семейства Cyclone V входят DSP-блоки переменной точности, блоки ОЗУ, высокоскоростные трансиверы (скорость передачи до 6,144 Гбит / с), аппаратные контроллеры PCI Express и внешней памяти, средства защиты проекта от несанкционированного копирования и модификации. Наряду с программируемой матрицей СМК семейства Cyclone V содержат аппаратный процессорный блок, основой которого служит одно- или двухъядерный процессор ARM Cortex-A9.

Семейство Cyclone V широко применяется при создании таких промышленных приложений, как системы управления электродвигателями, контроллеры промышленных сетей, системы видеонаблюдения, умные электросети и др.

Семейство ПЛИС Cyclone 10 состоит из двух линеек – Cyclone 10 GX и Cyclone 10 LP, которые значительно различаются по характеристикам и позиционированию.

ПЛИС Cyclone 10 GX выпускаются по 20-нм техпроцессу, обеспечивают высокую производительность (до 134 Гфлопс) и расширенные возможности ввода-вывода. Микросхемы содержат до 220 тыс. логических элементов, до 80 тыс. адаптивных логических модулей с 8-входными таблицами поиска (LUT), до 192 DSP-блоков

переменной точности. Подключение к другим устройствам возможно посредством LVDS-каналов со скоростью передачи 1,4 Гбит / с, сетевого порта 10G либо шины PCI Express x4. В микросхемы Cyclone 10 GX встроен 72-битный интерфейс внешней памяти (DDR3, DDR3L, LPDDR3), работающий на скорости до 1866 Мбит / с. Напряжение питания ядра составляет 0,9 В.

Микросхемы Cyclone 10 GX оптимизированы для высокопроизводительных приложений, таких как системы промышленного зрения, интеллектуальные системы наблюдения, робототехника, программируемые логические контроллеры.

ПЛИС Cyclone 10 LP, выполненные по 60-нм процессу (оптимизированному для низкого энергопотребления), содержат до 120 тыс. логических элементов, до 288 умножителей 18 × 18 и до 230 LVDS-каналов. Для питания микросхем Cyclone 10 LP требуется напряжение 1,0 или 1,2 В. Эти ПЛИС предназначены для недорогих приложений с низким энергопотреблением – расширителей ввода-вывода, систем на основе датчиков, устройств Интернета вещей, систем управления электроприводами.

Отличие ПЛИС и СМК среднего класса Arria V, которые производятся по 28-нм технологическому процессу, – самая низкая в отрасли стоимость эквивалентного вентиля и самое низкое среди микросхем данного класса энергопотребление. Устройства предназначены для разработок, требующих высокой производительности, но имеющих жесткие ограничения по конечной стоимости и потреблению. В состав семейства входят СМК, содержащие аппаратный процессорный блок, основой которого является двухъядерный процессор ARM Cortex-A9. Кроме того, микросхемы семейства Arria V содержат высокоскоростные трансиверы, аппаратные IP-блоки (контроллер PCI Express и контроллер внешней синхронной памяти), DSP-блоки с переменной точностью, блоки встроенного ОЗУ.

Семейство Arria V состоит из следующих серий:

- Arria V GX – содержит встроенные трансиверы с максимальной скоростью передачи данных 6,375 Гбит / с;
- Arria V GT – содержит встроенные трансиверы с максимальной скоростью передачи данных 10,3125 Гбит / с;
- Arria V SX – содержит аппаратный процессорный блок и встроенные трансиверы с максимальной скоростью передачи данных 6,375 Гбит / с;
- Arria V ST – содержит аппаратный процессорный блок и встроенные трансиверы с максимальной скоростью передачи данных 10,3125 Гбит / с.

Ключевые промышленные приложения для семейства Arria V: человеко-машинные интерфейсы, расширители ввода-вывода, интеллектуальные системы видеонаблюдения высшего класса.

Промышленные приложения, реализуемые на основе программируемой логики Intel FPGA, включают в себя системы автоматизации и управления производственными процессами, системы машинного зрения и видеонаблюдения, оборудование для умных электросетей, промышленные сети и др. Рассмотрим примеры применения ПЛИС и СнК Intel FPGA в этих системах.

Одно из наиболее широко распространенных применений – системы управления электроприводами. В отличие от микропроцессоров и сигнальных процессоров – последовательных автоматов, реализующих одновременно только одну команду, ПЛИС выполняет команды параллельно, что обеспечивает более высокую скорость исполнения алгоритма управления двигателем. Это преимущество ПЛИС особенно заметно при одновременном управлении несколькими электродвигателями (многоосевое управление).

ПЛИС незаменимы, если в контроллере электродвигателя нужно реализовать не только алгоритм управления, но и иной функционал. Например, на современном производстве электродвигатели часто взаимодействуют с другим оборудованием (например, ПЛК) через протоколы промышленного Ethernet, такими как EtherCAT, SERCOS III и Ethernet Powerlink. На одном кристалле ПЛИС можно реализовать один или несколько интерфейсов наряду с алгоритмом управления электродвигателем, в отличие от специализированной ИС, предназначенной для выполнения конкретной задачи. Еще один пример функции, которую можно реализовать на ПЛИС в системе управления электродвигателем, – человеко-машинный интерфейс.

Следует отметить также, что использование микроконтроллеров и DSP-процессоров в недорогих системах управления электроприводом не позволяет реализовать такую полезную функцию, как быстрое преобразование Фурье (БПФ). БПФ преобразует информацию из временной области в частотную, что дает возможность отдельно обрабатывать частотные компоненты сигнала. Это помогает идентифицировать нежелательные частоты, которые могут вызывать вибрацию, препятствовать точному управлению скорости вращения двигателя или вызывать резонанс, который снижает срок службы электродвигателей. ПЛИС легко запрограммировать так, чтобы можно было подавить или снизить влияние нежелательных частот, обеспечив плавную регулировку частоты вращения двигателя и повысив его долговечность.

Идеальное решение для системы управления электроприводом – СнК Cyclone V со встроенной процессорной системой. Использование ядра процессора для реализации компонентов алгоритма управления двигателем с низкой частотой обновления, а программируемой матрицы ПЛИС – для ускорения контура управления (что эффективно при реализации алгоритма управления с ориентацией по полю) обеспечивает оптимальное распределение ресурсов СнК.

Интеграция компонентов системы на СнК типа SoC FPGA упрощает проектное решение и снижает общую стоимость системы. На рис. 1 представлен пример простой системы управления двигателем на основе СнК типа Cyclone V, в которой интегрированы DSP-блоки, память, контроллеры видеोगрафики, кодеры электродвигателя и другие компоненты. Многочисленные

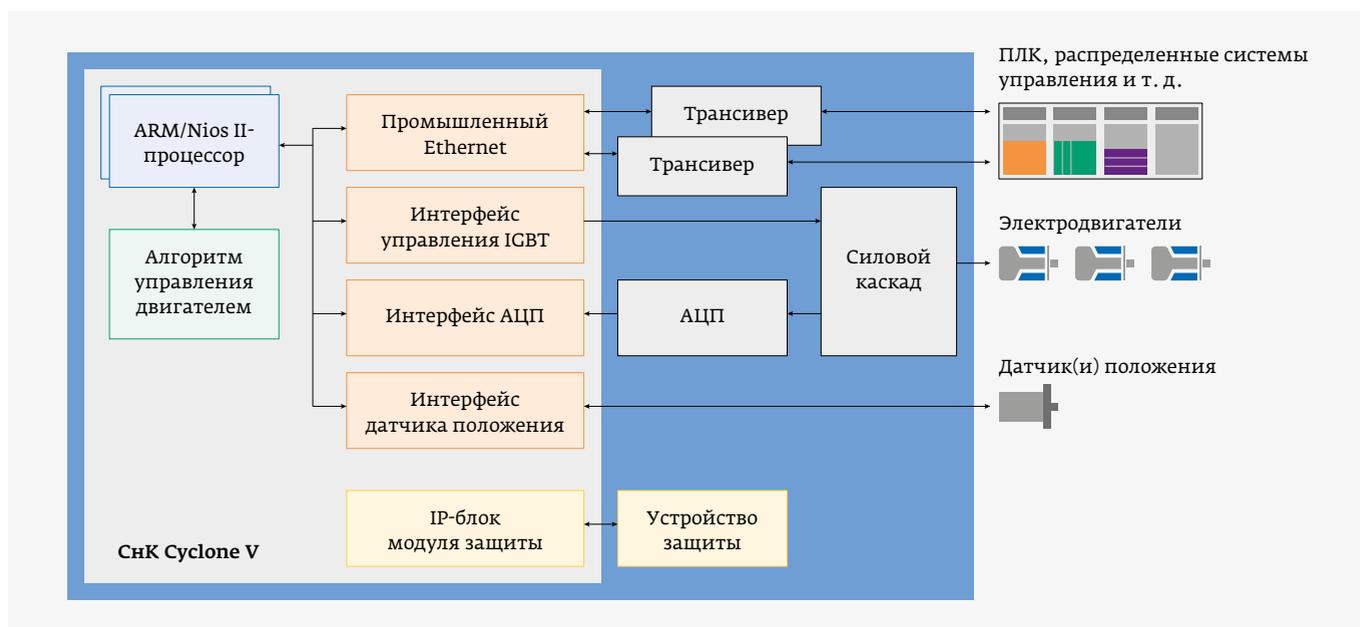


Рис. 1. Блок-схема системы управления электроприводом на основе СнК Cyclone V

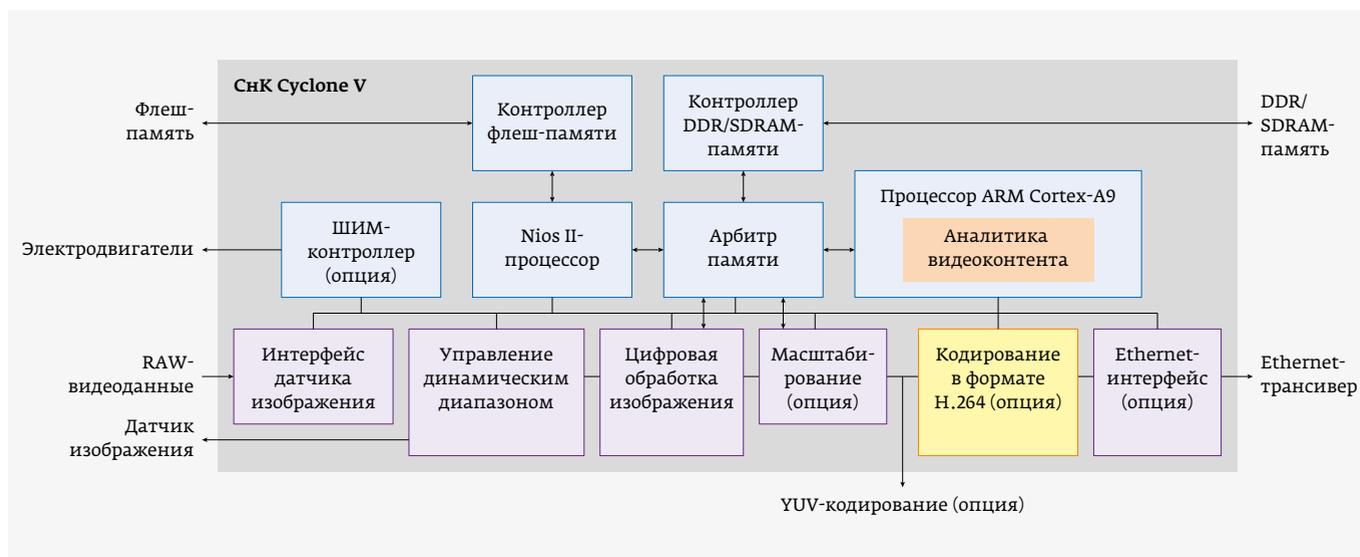


Рис. 2. Блок-схема решения для системы видеонаблюдения на основе СнК Cyclone V

оптимизированные интерфейсы цифровых кодеров и другие компоненты доступны как IP-блоки для ПЛИС.

Еще один пример эффективного применения ПЛИС Intel FPGA – интеллектуальные системы видеонаблюдения и машинного зрения. Видеокамеры и другое оборудование, используемое в таких системах, выполняют такие разнообразные задачи, как обработка видеосигналов, передача видеоданных, преобразование форматов, сжатие и аналитика. Часть этих задач можно передать ПЛИС.

На рынке систем видеонаблюдения все большее распространение получают видеокамеры с широким динамическим диапазоном, которые способны распознать требуемые объекты в условиях плохой освещенности. Полоса пропускания DSP-процессора недостаточна для обработки сигналов с видеокамер с широким динамическим диапазоном. Кроме того, эти устройства не обеспечивают дополнительные функции системы видеонаблюдения, такие как видеоаналитика. Только ПЛИС имеют полосу пропускания, достаточную для применения в качестве сопроцессора для выполнения конвейерной обработки изображений с датчика видеосигнала и передачи видеопотоков на DSP-процессор для кодирования видео, например в формате H.264. ПЛИС Intel FPGA позволяют адаптировать видеокамеру к различным датчикам изображения и специфическим интерфейсам. Кроме того, по мере перехода от аналоговых к интеллектуальным IP-камерам и совершенствования процессов видеоаналитики на основе алгоритмов глубокого обучения ПЛИС становятся все более востребованными в таких системах. Семейства ПЛИС Cyclone и Arria, способные параллельно обрабатывать большие массивы данных, можно использовать в качестве ускорителей обработки видео на платформе граничных вычислений для анализа видеоданных.

На рис. 2 показан пример применения СнК Cyclone V в системе видеонаблюдения. Решение позволяет интегрировать необходимые компоненты в одном устройстве: конвейер обработки изображений, блок видеоаналитики, блок кодирования и сетевые интерфейсы. Благодаря этому можно отказаться от применения оконечного DSP-процессора, обеспечив компактное интегрированное решение.

Варианты применения ПЛИС и СнК Intel FPGA в промышленных приложениях не ограничиваются упомянутыми в статье. Стоит отметить также промышленный Интернет вещей и «умную» энергетику. Во всех случаях данные изделия обеспечивают возможность адаптации системы к меняющимся требованиям, снижают общую стоимость решения. Такой подход позволяет быстро вносить изменения в проект при внедрении новых стандартов, минимизировав затраты, связанные с разработкой или модернизацией печатных плат и других компонентов промышленной системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Chiang J., Zammattio S.** Five Ways to Build Flexibility into Industrial Applications with FPGAs. White Paper // [www.intel.com](http://www.intel.com)
2. FPGAs Provide Programmability and Performance for Next Generation Motor Control // [www.intel.com](http://www.intel.com)
3. Accelerating Industrial IoT Innovation. – Industrial Brochure. September, 2018 // [www.intel.com](http://www.intel.com)
4. **Ежов В.** Обзор новых продуктов компании Altera. По материалам семинара ЗАО «Золотой Шар» и компании Arrow // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 8. С. 76–81.