

# Микроконтроллеры фирмы Silicon Laboratories

Олег Николайчук (г. Кишинев, Молдова)

**Настоящая статья знакомит читателей с современным набором микроконтроллеров фирмы Silicon Laboratories (SiLabs), являющихся наиболее мощными и быстродействующими из современных 8-разрядных микроконтроллеров.**

Одной из компаний, наиболее динамично развивающих рынок современных 8-разрядных x51-совместимых микроконтроллеров, является компания Silicon Laboratories (SiLabs) [1]. Микроконтроллеры этой фирмы впервые появились на рынке в начале 2000 года. В то время их выпускала фирма Cygnal [2] (полное название – Cygnal Integrated Products), основанная в 1999 г. в городе Austin (столице штата Техас) за счёт инвестиций ряда известных компаний, таких, например, как Cirrus Logic, Austin Ventures, Jato Tech, Sanyo Semiconductor. В то время фирму Cygnal возглавили три известные и опытные личности: Derrell C. Coker, до этого бывший вице-президентом Dallas Semiconductor и главным менеджером Mostek Corporation; Donald E. Alfano, также работавший до этого в Dallas Semiconductor, и Douglas R. Holberg, доктор наук (PhD), являвшийся видным специалистом в области создания смешанных аналого-цифровых CMOS-узлов и работавший до этого директором по изображениям и видеопродуктам на Crystal Semiconductor и Cirrus Logic. Фирма Cygnal просуществовала около пяти лет и в конце 2003 года была поглощена фирмой Silicon Laboratories, расположенной в том же городе [2 – 4].

Существует несколько отличительных черт современных микроконтроллеров фирмы SiLabs.

*Во-первых*, специалистам фирмы Silicon Laboratories (а до этого – Cygnal) удалось обобщить все достижения многих других производителей x51-совместимых микроконтроллеров, а также перенять некоторые приёмы повышения быстродействия, применяемые в со-

временных микропроцессорах. Результатом такого обобщения стало мощное модифицированное ядро CIP-51, построенное по конвейерному принципу, полностью совместимое по кодам команд со стандартным ядром i8051. Такая модификация позволила выполнять до 70% инструкций за один период тактовой частоты, что соответственно обеспечило повышение пиковой производительности в 12 раз по сравнению со стандартным ядром i8051. Благодаря этому, многие семейства микроконтроллеров фирмы SiLabs развивают пиковую производительность до 25 MIPS (Million Instruction per Second – миллионов инструкций в секунду) при тактовой частоте 25 МГц, а целый ряд новых семейств могут развивать пиковую производительность до 50 и 100 MIPS (при тактовой частоте 50 и 100 МГц соответственно). Таким образом, на сегодняшний день микроконтроллеры фирмы SiLabs являются самыми высокопроизводительными x51-совместимыми 8-разрядными микроконтроллерами в мире.

*Во-вторых*, важнейшей отличительной чертой является уникальный комплект аналоговой периферии, которой оснащаются практически все микроконтроллеры. Многие микроконтроллеры имеют один или два аналого-цифровых преобразователя (с разрядностью 8, 10, 12, 16 или 24), которые оснащены входным аналоговым мультиплексором (с количеством аналоговых входов до 32), работающим как в однополярном, так и в дифференциальном режимах. В нескольких семействах имеется также программируемый масштабирующий усилитель (с коэффициентами

усиления 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 128), включенный между выходом мультиплексора и входом аналого-цифрового преобразователя. Практически все аналого-цифровые преобразователи имеют так называемую «оконную» функцию, которая представляет собой два цифровых компаратора, сравнивающих выходной код с предустановленными значениями и вырабатывающих прерывания (или устанавливающих флаг) в случае нахождения выходного кода либо между предустановленными значениями, либо за их пределами. Кроме того, имеется функция выравнивания, позволяющая выравнивать выходной код вправо или влево в пределах разрядной сетки слова. Если микроконтроллер оснащён двумя аналого-цифровыми преобразователями, то обычно первый из них имеет более высокую разрядность, но меньшую скорость преобразования. Ранние модели микроконтроллеров оснащались первыми аналого-цифровыми преобразователями с быстродействием 100 ksp/s (тысяч слов в секунду), более поздние модели микроконтроллеров оснащаются первым аналого-цифровым преобразователем с быстродействием 200 ksp/s. Второй аналого-цифровой преобразователь, если он имеется, как правило, имеет быстродействие до 500 ksp/s. Имеется семейство с двумя 16-разрядными сверхбыстродействующими первыми аналого-цифровыми преобразователями, имеющими быстродействие до 1 Msps и механизмом прямого доступа в память для прямой записи данных во встроенный буфер оперативной памяти. Другое семейство оснащено 24-разрядным аналого-цифровым преобразователем с быстродействием 1 ksp/s.

Кроме аналого-цифровых преобразователей в комплект аналоговой периферии входят, как правило, два 12-разрядных цифро-аналоговых преобразователя с выходом по напряжению (реже – по току). Эти

преобразователи также имеют функцию выравнивания кода и синхронизацию переключения выхода.

Во многих микроконтроллерах имеется встроенный источник опорного напряжения. Имеется также возможность использования внешнего опорного напряжения.

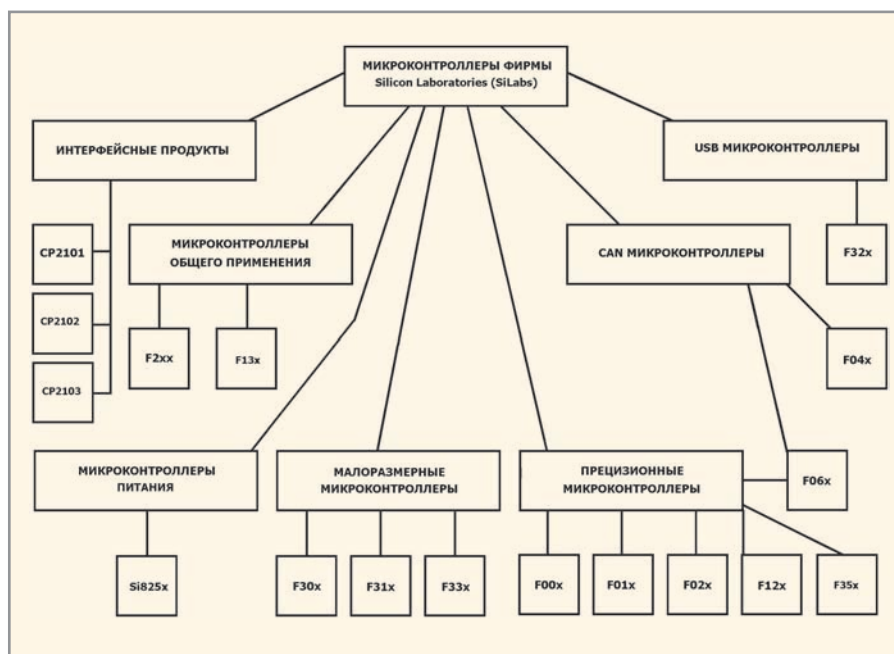
Кроме того, многие микроконтроллеры оснащаются встроенными компараторами (от 1 до 3) с программируемыми петлей гистерезиса и временем срабатывания.

Третьей важной особенностью является наличие во всех микроконтроллерах большого объема Flash-памяти программ (1...128 Кб) с возможностью модификации записей в процессе выполнения программы и встроенным механизмом внутрисхемного программирования и отладки через интерфейсы JTAG или C2.

Четвёртой особенностью является то, что многие микроконтроллеры имеют встроенную дополнительную оперативную память с объёмом 256...8448 байт, расположенную в пространстве адресов внешней памяти. Это позволяет производить достаточно сложные вычисления, не прибегая к увеличению объёма аппаратной обвязки. Кроме того, для очень больших систем в ряде микроконтроллеров имеется встроенный аппаратный интерфейс внешней памяти, программируемый на работу как в мультиплексированном, так и в немultipлексированном режимах.

Пятой особенностью является расширенный обработчик прерываний (22 вектора у большинства микроконтроллеров), позволяющий гибко обрабатывать события от многочисленной встроенной аналоговой и цифровой периферии.

Ещё одной особенностью является наличие ряда полезных узлов: модифицированная система защиты кода; аппаратный охранный таймер WDT; монитор питания; встроенная развитая система тактирования, позволяющая микроконтроллеру работать как от внешнего генератора, так и со встроенным тактовым генератором, оснащённым кварцевым резонатором, конденсатором или вообще без дополнительных элементов с возможностью изменения источ-



Классификация микроконтроллеров фирмы SiLabs

ника тактирования «на лету». В некоторых микроконтроллерах имеется два тактовых генератора. Для работы на высоких частотах многие микроконтроллеры имеют аппаратные умножители частоты, позволяющие ядру работать на частоте 88,5 МГц, например, при установленном кварце генератора 22,1184 МГц. Некоторые модели имеют встроенные прецизионные калибруемые генераторы, позволяющие работать без кварцевых резонаторов.

Следующей важной особенностью является наличие у микроконтроллеров фирмы SiLabs большого количества разнообразных интерфейсов. Практически все микроконтроллеры имеют встроенные аппаратно реализованные стандартные интерфейсы UART, SMBus (I<sup>2</sup>C), SPI. Благодаря особенностям ядра CIP-51, интерфейс UART при частоте тактового генератора 11,059 МГц может работать на скорости передачи данных 115200 без ошибок. Кроме этого, многие микроконтроллеры имеют дополнительные интерфейсы, такие как второй UART, CAN, USB и т.д.

Имеются микроконтроллеры со стандартным количеством портов (4 порта, 32 линии ввода-вывода), а также с расширенным (8 портов, 64 линии ввода-вывода) и усечённым (до 1 порта) количеством портов.

Микроконтроллеры выпускаются в ряде оригинальных современных

корпусов: TQFP-100, TQFP-64, TQFP-48, LQFP-32, MLP-28, MLP-20, MLP-11. Например, семейство, выпускаемое в корпусе MLP-11, имеет размеры 3 × 3 мм и представляет самые маленькие микроконтроллеры в мире, оставаясь при этом достаточно мощным по производительности и оснащению аналоговой и цифровой периферией.

Следует также отметить, что все микроконтроллеры, кроме одного семейства, имеют рабочий диапазон температур -40...+85°C. Напряжение питания большинства микроконтроллеров 2,7...3,6 В.

Существует несколько классификаций микроконтроллеров фирмы SiLabs [3, 4]. Прежде всего, рассмотрим оригинальную классификацию фирмы Silicon Laboratories, она приведена на рисунке.

Отметим, что все микроконтроллеры фирмы SiLabs условно разделены на семейства (по признаку наибольшей близости структурной схемы и организации коммутатора ресурсов), каждое из которых состоит из базовой модели (обычно – самого мощного микроконтроллера) и ряда усечённых моделей.

По состоянию на 1 мая 2005 г. выпускается 15 различных семейств микроконтроллеров, объединяющих 87 моделей. Семейства имеют различное количество моделей: от 2 до 12.

По классификации фирмы Silicon Laboratories имеются следующие группы микроконтроллеров:

- прецизионные микроконтроллеры смешанных сигналов (Precision Mixed-Signal MCUs);
- микроконтроллеры общего применения (General Purpose MCUs);
- малоразмерные микроконтроллеры (Small Form Factor MCUs);
- микроконтроллеры с интерфейсом CAN (CAN MCUs);
- микроконтроллеры с интерфейсом USB (USB MCUs);
- интерфейсные микросхемы (USB to UART Bridge);
- микроконтроллеры питания (Digital Power MCUs).

Первая группа прецизионных микроконтроллеров смешанных сигналов является самой большой. Она объединяет 6 семейств микроконтроллеров с общим количеством моделей 34. В группу входят:

- семейство C8051F0xx (или сокращенно F0xx), объединяющее модели F000...F002, F005...F007, F010...F012, F015...F017 [5];
- семейство C8051F01x, объединяющее модели F018 и F019 [6];
- семейство C8051F02x, объединяющее модели F020...F023 [7];
- семейство C8051F12x, включающее модели F120...F127 [8];
- часть семейства C8051F06x, включающая модели F064...F067 [9];
- семейство C8051F35x, содержащее модели F350...F353 [10].

Основными особенностями этой группы являются: наиболее мощная и разнообразная аналоговая периферия, большие объёмы Flash-памяти программ (данных) и оперативной памяти; большое количество линий ввода/вывода (портов ввода/вывода), Большое количество стандартных интерфейсов UART, MSBus, SPI. Основные параметры микроконтроллеров этой группы приведены в таблице 1.

Следует отметить, что в этой группе находятся три из наиболее популярных в настоящее время семейств: F02x, F12x и F35x. Семейство F02x является наиболее популярным и распространённым семейством благодаря большому количеству аналоговой и цифровой периферии, полному объёму Flash-памяти – 64 Кб, достаточно большому объёму оперативной памяти – 4352 байт, пиковой производительности до 25 MIPS и относительно простой организации, и при всем этом с оптимальным соотношением цена/качество. Се-

мейство F12x полностью совместимо с предыдущим семейством по составу и качеству периферии, разводке выводов, но имеет 128 Кб Flash-памяти программ со страничной организацией, в два раза больший объём встроенной оперативной памяти – 8448 байт, обеспечивает пиковую производительность до 100 MIPS. Микроконтроллеры этого семейства имеют многостраничную карту SFR-регистров и более сложную внутреннюю архитектуру. Семейство F35x оснащается прецизионным 24- или 16-битным аналого-цифровым преобразователем с системой встроенных фильтров и усилителей.

Вторая группа микроконтроллеров общего применения объединяет всего два семейства микроконтроллеров с общим количеством моделей 11. В группу входят: семейство F13x, объединяющее четыре модели F130 – F133 [8], и семейство F2xx, включающее модели F206, F220, F221, F226, F230, F231 и F236 [11]. Семейство F13x является несколько упрощённым вариантом семейства F12x с таким же высоким быстродействием, но с отсутствующим вторым аналого-цифровым преобразователем и цифро-аналоговыми преобразователями. Семейство F2xx имеет максимальный по количеству входов аналоговый мультиплексор первого аналого-цифрового преобразователя, позволяющий подключить его к любой из 32 линий портов ввода/вывода. В семействе имеются модели с 12-битным (F206) и 8-битными (F220, F221, F226) аналого-цифровыми преобразователями. Основные параметры микроконтроллеров этой группы приведены в таблице 2.

Третья группа малоразмерных микроконтроллеров объединяет 3 семейства, включающих 19 моделей. В группу входят: семейство F30x, объединяющее модели F300...F305 [12]; семейство F31x, включающее модели F310...F315 [13]; и семейство F33x, включающее микроконтроллеры F330...F335 и F330D [14]. Семейство F30x включает самые маленькие микроконтроллеры в мире, имеющие размеры всего 3 × 3 мм. Семейство F33x является ещё одним из пятерки наиболее популярных микроконтроллеров фирмы SiLabs. Основные параметры микроконт-

роллеров этой группы приведены в таблице 3.

Четвертая группа микроконтроллеров с интерфейсом CAN объединяет 2 семейства, включающих 12 моделей. В группу входят: семейство F04x, объединяющее модели F040...F047 [15], и семейство F06x, включающее модели F060...F063 [9]. Оба семейства имеют интерфейс CAN версии 2.0B. Кроме этого, семейство F04x имеет в своём составе высоковольтный усилитель, работающий до входных напряжений 60 В. Семейство микроконтроллеров F06x включает в себя два 16-битных быстродействующих аналого-цифровых преобразователя (1 Msps), оснащённых механизмами прямого доступа в память для записи выходных двухбайтных слов непосредственно в буфер встроенной оперативной памяти без участия ядра микроконтроллера для последующей обработки. Основные параметры микроконтроллеров этой группы приведены в таблице 4.

Пятая группа микроконтроллеров с интерфейсом USB состоит пока из одного семейства F32x, включающего два микроконтроллера F320 и F321 [16]. Кроме интерфейса USB микроконтроллеры этой группы имеют ещё один очень интересный узел – встроенный линейный аналоговый регулятор напряжения, преобразующий входное напряжение +5 В в напряжение питания микроконтроллера 3,3 В, которое позволяет кроме собственно микроконтроллера питать внешние микросхемы током до 100 мА. Благодаря этим особенностям микроконтроллеры этой группы также входят в пятерку наиболее популярных микроконтроллеров фирмы SiLabs. Основные параметры микроконтроллеров этой группы приведены в таблице 5.

Вышеперечисленные пять групп охватывают все модели собственно микроконтроллеров. Кроме этих групп существуют ещё две специальные группы, которые также относятся к x51-совместимым микроконтроллерам.

Группа интерфейсных микросхем USB и UART-моста (конвертора) представляют собой оригинально-запрограммированные микроконтроллеры группы F32x [17 – 19].

Таблица 1. Основные технические данные прецизионных микроконтроллеров смешанных сигналов

Тип	Пиковая производительность, MIPS	Flash-память программ, Кб	Оперативная память, байт	Интерфейс внешней памяти	Количество линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Количество таймеров	Количество каналов PCA	Разброс частоты встроенного генератора, %	Первый аналого-цифровой преобразователь: разрядность (бит)/число каналов/производительность (ksp/s)	Второй аналого-цифровой преобразователь: разрядность (бит)/число каналов/производительность (ksp/s)	Цифро-аналоговые преобразователи: разрядность (бит)/число каналов	Температурный датчик	Источник опорного напряжения	Аналоговые компараторы	Регулятор напряжения	Дополнительные возможности	Корпус
Семейство C8051F0xx																		
C8051F000	20	32	256	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	12/8/100	-	12/2	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F001	20	32	256	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	12/8/100	-	12/2	+	+	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F002	20	32	256	-	8	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	12/4/100	-	12/2	+	+	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F005	25	32	2304	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	12/8/100	-	12/2	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F006	25	32	2304	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	12/8/100	-	12/2	+	+	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F007	25	32	2304	-	8	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	12/4/100	-	12/2	+	+	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F010	20	32	256	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	10/8/100	-	12/2	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F011	20	32	256	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	10/8/100	-	12/2	+	+	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F012	20	32	256	-	8	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	10/4/100	-	12/2	+	+	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F015	25	32	2304	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	10/8/100	-	12/2	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F016	25	32	2304	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	10/8/100	-	12/2	+	+	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F017	25	32	2304	-	8	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	10/4/100	-	12/2	+	+	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
Семейство C8051F01x																		
C8051F018	25	16	1280	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	10/8/100	-	-	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F019	25	16	1280	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20,0	10/8/100	-	-	+	+	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
Семейство C8051F02x																		
C8051F020	25	64	4352	+	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	5	20,0	12/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F021	25	64	4352	+	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	5	20,0	12/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F022	25	64	4352	+	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	5	20,0	10/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F023	25	64	4352	+	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	5	20,0	10/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
Семейство C8051F12x																		
C8051F120	100	128	8448	+	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	12/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	16x16 MAC	100-pin 16x16 TQFP
C8051F121	100	128	8448	+	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	12/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	16x16 MAC	64-pin 12x12 TQFP
C8051F122	100	128	8448	+	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	16x16 MAC	100-pin 16x16 TQFP
C8051F123	100	128	8448	+	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	16x16 MAC	64-pin 12x12 TQFP
C8051F124	50	128	8448	+	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	12/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F125	50	128	8448	+	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	12/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F126	50	128	8448	+	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F127	50	128	8448	+	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/8/100	8/8/500	12/2	+	+	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
Семейство C8051F06x																		
C8051F064	25	64	4352	+	59	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	16/2/1000	-	-	-	+	3	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F065	25	64	4352	-	24	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	16/2/1000	-	-	-	+	1	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F066	25	32	4352	+	59	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	16/2/1000	-	-	-	+	1	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F067	25	32	4352	-	24	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	16/2/1000	-	-	-	+	1	-	-	64-pin 12x12 TQFP
Семейство C8051F35x																		
C8051F350	50	8	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	8/24/2001	-	8/2	+	+	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F351	50	8	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	8/24/2001	-	8/2	+	+	1	-	-	28-pin 5x5 QFN
C8051F352	50	8	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	8/16/2001	-	8/2	+	+	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F353	50	8	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	8/16/2001	-	8/2	+	+	1	-	-	28-pin 5x5 QFN



Таблица 2. Основные технические данные микроконтроллеров общего применения

Тип	Пиковая производительность, MIPS	Flash-память программ, Кб	Оперативная память, байт	Интерфейс внешней памяти	Количество линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Количество таймеров	Количество каналов PCA	Разброс частоты встроенного генератора, %	Первый аналого-цифровой преобразователь: разрядность (бит)/число каналов/производительность	Второй аналого-цифровой преобразователь	Цифро-аналоговые преобразователи	Температурный датчик	Источник опорного напряжения	Аналоговые компараторы	Регулятор напряжения	Дополнительные возможности	Корпус
Семейство C8051F13x																		
C8051F130	100	128	8448	+	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/8/100	-	-	+	-	2	-	16x16 MAC	100-pin 16x16 TQFP
C8051F131	100	128	8448	+	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/8/100	-	-	+	-	2	-	16X16 MAC	64-pin 12x12 TQFP
C8051F132	100	64	8448	+	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/8/100	-	-	+	-	2	-	16X16 MAC	100-pin 16x16 TQFP
C8051F133	100	64	8448	+	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/8/100	-	-	+	-	2	-	16X16 MAC	64-pin 12x12 TQFP
Семейство C8051F2xx																		
C8051F206	25	8	1280	-	32	UART, SPI	3	-	20,0	12/32/100	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F220	25	8	256	-	32	UART, SPI	3	-	20,0	8/32/100	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F221	25	8	256	-	22	UART, SPI	3	-	20,0	8/32/100	-	-	-	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F226	25	8	1280	-	32	UART, SPI	3	-	20,0	8/32/100	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F230	25	8	256	-	32	UART, SPI	3	-	20,0	-	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F231	25	8	256	-	22	UART, SPI	3	-	20,0	-	-	-	-	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F236	25	8	1280	-	32	UART, SPI	3	-	20,0	-	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP

Таблица 3. Основные технические данные малоразмерных микроконтроллеров

Тип	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ, Кб	Оперативная память, байт	Интерфейс внешней памяти	Количество линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Количество таймеров	Количество каналов PCA	Разброс частоты встроенного генератора, %	Первый аналого-цифровой преобразователь: разрядность (бит)/число каналов/производительность	Второй аналого-цифровой преобразователь	Цифро-аналоговые преобразователи: разрядность (бит)/число каналов	Температурный датчик	Источник опорного напряжения	Аналоговые компараторы	Регулятор напряжения	Дополнительные возможности	Корпус
Семейство C8051F3xx																		
C8051F300	25	8	256	-	8	UART, SMBus	3	3	2,0	8/8/500	-	-	+	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F301	25	8	256	-	8	UART, SMBus	3	3	2,0	-	-	-	-	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F302	25	8	256	-	8	UART, SMBus	3	3	20,0	8/8/500	-	-	+	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F303	25	8	256	-	8	UART, SMBus	3	3	20,0	-	-	-	-	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F304	25	4	256	-	8	UART, SMBus	3	3	20,0	-	-	-	-	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F305	25	2	256	-	8	UART, SMBus	3	3	20,0	-	-	-	-	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
Семейство C8051F31x																		
C8051F310	25	16	1280	-	29	UART, SMBus, SPI	4	5	2,0	10/21/200	-	-	+	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F311	25	16	1280	-	25	UART, SMBus, SPI	4	5	2,0	10/17/200	-	-	+	-	2	-	-	28-pin 5x5 QFN
C8051F312	25	8	1280	-	29	UART, SMBus, SPI	4	5	2,0	10/21/200	-	-	+	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F313	25	8	1280	-	25	UART, SMBus, SPI	4	5	2,0	10/17/200	-	-	+	-	2	-	-	28-pin 5x5 QFN
C8051F314	25	8	1280	-	29	UART, SMBus, SPI	4	5	2,0	-	-	-	-	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F315	25	8	1280	-	25	UART, SMBus, SPI	4	5	2,0	-	-	-	-	-	2	-	-	28-pin 5x5 QFN
Семейство C8051F33x																		
C8051F330	25	8	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	10/16/200	-	10/1	+	+	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F330D	25	8	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	10/16/200	-	10/1	+	+	1	-	-	20-pin 4x4 DIP
C8051F331	25	8	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	-	-	-	-	-	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F332	25	4	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	10/16/200	-	-	+	+	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F333	25	4	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	-	-	-	-	-	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F334	25	2	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	10/16/200	-	-	+	+	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F335	25	2	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2,0	-	-	-	-	-	1	-	-	20-pin 4x4 QFN

Группа включает в себя три модели микросхем. Основные параметры этой группы приведены в таблице 6.

Совсем недавно появилось ещё одно специфическое семейство микроконтроллеров питания Si825x. Семейство содержит 6 моделей. Основные параметры этой группы приведены в таблице 7.

Микроконтроллеры питания семейства Si825x имеют x51-совместимое модифицированное вычисли-

тельное ядро CIP-51, такое же, как у других семейств микроконтроллеров фирмы SiLabs, обеспечивающее пиковую производительность до 50 MIPS. Все модели микроконтроллеров имеют 32 Кб или 16 Кб Flash-памяти программ/данных и 12-рядный 8-канальный аналого-цифровой преобразователь. Заложена возможность загрузки программ с помощью встроенного программно-загрузчика. Семейство имеет

встроенный температурный датчик и источник опорного напряжения. В некоторых микроконтроллерах есть встроенный высокоскоростной программируемый компаратор. Описываемые микроконтроллеры оснащены последовательными интерфейсами SMBus (I2C) и UART. Кроме этого, в состав цифровой периферии также входят четыре универсальных 16-битных таймера/счётчика, трёхканальный программируемый счёт-

Таблица 4. Основные технические данные микроконтроллеров с интерфейсом CAN

Тип	Пиковая производительность, MIPS	Flash-память программ, Кб	Оперативная память, байт	Интерфейс внешней памяти	Кол. линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Количество таймеров	Количество каналов PCA	Разброс частоты встроенного генератора, %	Первый аналого-цифровой преобразователь: разрядность (бит)/число каналов/производительность	Второй аналого-цифровой преобразователь: разрядность (бит)/число каналов/производительность	Цифро-аналоговые преобразователи: разрядность (бит)/число каналов	Температурный датчик	Источник опорного напряжения	Аналоговые компараторы	Регулятор напряжения	Дополнительные возможности	Корпус
Семейство C8051F04x																		
C8051F040	25	64	4352	+	64	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	12/13/100	8/8/500	12/2	+	+	3	-	60V PGA	100-pin 16x16 TQFP
C8051F041	25	64	4352	+	32	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	12/13/100	8/8/500	12/2	+	+	3	-	60V PGA	64-pin 12x12 TQFP
C8051F042	25	64	4352	+	64	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/13/100	8/8/500	12/2	+	+	3	-	60V PGA	100-pin 16x16 TQFP
C8051F043	25	64	4352	+	32	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/13/100	8/8/500	12/2	+	+	3	-	60V PGA	64-pin 12x12 TQFP
C8051F044	25	64	4352	+	64	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/13/100	-	-	+	+	3	-	60V PGA	100-pin 16x16 TQFP
C8051F045	25	64	4352	+	32	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/13/100	-	-	+	+	3	-	60V PGA	64-pin 12x12 TQFP
C8051F046	25	32	4352	+	64	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/13/100	-	-	+	+	3	-	60V PGA	100-pin 16x16 TQFP
C8051F047	25	32	4352	+	32	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	10/13/100	-	-	+	+	3	-	60V PGA	64-pin 12x12 TQFP
Семейство C8051F06x																		
C8051F060	25	64	4352	+	59	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	16/2/1000	10/8/200	12/2	+	+	3	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F061	25	64	4352	-	24	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	16/2/1000	10/8/200	12/2	+	+	3	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F062	25	64	4352	+	59	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	16/2/1000	10/8/200	12/2	+	+	3	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F063	25	64	4352	-	24	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2,0	16/2/1000	10/8/200	12/2	+	+	3	-	-	64-pin 12x12 TQFP

Таблица 5. Основные технические данные микроконтроллеров с интерфейсом USB

Тип	Пиковая производительность, MIPS	Flash-память программ, Кб	Оперативная память, байт	Интерфейс внешней памяти	Количество линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Количество таймеров	Количество каналов PCA	Разброс частоты встроенного генератора, %	Первый аналого-цифровой преобразователь: разрядность (бит)/число каналов/производительность (ksps)	Второй аналого-цифровой преобразователь	Цифро-аналоговые преобразователи	Температурный датчик	Источник опорного напряжения	Аналоговые компараторы	Регулятор напряжения	Дополнительные возможности	Корпус
Семейство C8051F32x																		
C8051F320	25	16	2304	-	25	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10/17/200	-	-	+	+	2	+	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F321	25	16	2304	-	21	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10/13/200	-	-	+	+	2	+	-	28-pin 5x5 QFN

чик/массив PCA для общих целей или для организации дополнительных ШИМ-выходов, а также два мощнейших одноканальных порта ввода/вывода. Кроме описанных общесистемных узлов, позволяющих использовать модели этого семейства в качестве универсальных микроконтроллеров, имеются также специальные узлы для эффективной организации систем питания (функций управления конверторами), называемые «сигнальным процессором». В состав этих узлов входит 6-битный аналого-цифровой преобразователь с дифференциальными входами и узел обновления выходных результатов, работающий на постоянной частоте 10 МГц (независимо от программного обеспечения), петлевой фильтр, ПИД-регулятор, двухпроходный фильтр, высокоэффективный ШИМ с независимыми фазовыми выходами (до 6), узел программируемого аппаратного ограничения импульсных токов и узел

программируемой аппаратной защиты от перегрузок.

Как уже было сказано выше, существуют и другие классификации микроконтроллеров фирмы SiLabs [3, 4]. Например, по времени выпуска (и соответственно, особенностям структуры и архитектуры) микроконтроллеры подразделяются на 2 поколения: первое поколение объединяет семейства F0xx, F01x, F02x, F2xx и F30x; второе поколение – остальные микроконтроллеры.

Ещё одним критерием для классификации микроконтроллеров фирмы является организация так называемых регистров специальных функций – SFR (Special Function Registers) – массива регистров, через которые вычислительное ядро микроконтроллеров имеет доступ ко всем периферийным (по отношению к ядру) подсистемам. Дело в том, что в ходе разработки новых семейств микроконтроллеров специалисты фирмы SiLabs постоянно

модифицировали их архитектуру, расширяя набор встроенных периферийных подсистем и соответственно изменяя структуру SFR-регистров. При этом количество используемых SFR-регистров соответственно увеличивалось. Так, для самого маленького из микроконтроллеров семейства F30x количество SFR-регистров составляло 65 (50% от стандартной SFR-карты), а для одного из наиболее мощных семейств F06x – 172 (134%). Естественно, что в этом случае разработчики фирмы вынуждены были изменить размеры SFR-карты и впервые применили механизм многостраничной SFR-карты. К семействам с многостраничной SFR картой относятся семейства F04x, F06x, F12x и F13x. В них используются особые приёмы программирования, и проектирование систем на базе этих микроконтроллеров считается более сложным [4].

Микроконтроллеры фирмы SiLabs также подразделяются в зависимо-

Таблица 6. Основные технические данные интерфейсных микросхем

Тип	Пиковая производительность, MIPS	Flash-память программ, бит	Оперативная память, байт	Интерфейс внешней памяти	Количество линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Количество таймеров	Количество каналов PCA	Встроенный генератор	Первый аналого-цифровой преобразователь	Второй аналого-цифровой преобразователь	Цифро-аналоговые преобразователи	Температурный датчик	Источник опорного напряжения	Аналоговые компараторы	Регулятор напряжения	Дополнительные возможности	Корпус
CP2101	25	512, EEPROM	1000	-	13	UART to USB Bridge	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	28-pin 5x5 QFN
CP2102	25	1024, EEPROM	1000	-	13	UART to USB Bridge	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	28-pin 5x5 QFN
CP2103	25	1024, EEPROM	1000	-	13	UART to USB Bridge	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	28-pin 5x5 QFN

Таблица 7. Основные технические данные микроконтроллеров питания

Тип	Пиковая производительность, MIPS	Flash-память программ, Кб	Оперативная память, байт	Интерфейс внешней памяти	Количество линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Количество таймеров	Наличие каналов PCA	Разброс частоты встроенного генератора, %	Первый аналого-цифровой преобразователь: разрядность (бит)/число каналов/производительность (ksp/s)	Второй аналого-цифровой преобразователь (разрядность (бит)/производительность (ksp/s))	Температурный датчик	Источник опорного напряжения	Аналоговые компараторы	Регулятор напряжения	Дополнительные возможности	Корпус
Si8250-IM	50	32	1280	-	16	UART, SMBus	4	+	2,0	12/8/100	6/10	+	+	1	-	6 DPWM	28-pin 5x5 QFN
Si8250-IQ	50	32	1280	-	16	UART, SMBus	4	+	2,0	12/8/100	6/10	+	+	1	-	6 DPWM	32-pin 9x9 LQFP
Si8251-IM	50	16	1280	-	16	UART, SMBus	4	+	2,0	12/8/100	6/10	+	+	1	-	6 DPWM	28-pin 5x5 QFN
Si8251-IQ	50	16	1280	-	16	UART, SMBus	4	+	2,0	12/8/100	6/10	+	+	1	-	6 DPWM	32-pin 9x9 LQFP
Si8252-IM	50	16	1280	-	16	SMBus	4	+	2,0	12/8/100	6/10	+	+	-	-	3 DPWM	28-pin 5x5 QFN
Si8252-IQ	50	16	1280	-	16	SMBus	4	+	2,0	12/8/100	6/10	+	+	-	-	3 DPWM	32-pin 9x9 LQFP

сти от количества линий ввода/вывода (портов ввода/вывода) на: многопортовые (у которых имеются модели с количеством портов более 4) – F02x, F04x, F06x, F12x и F13x; стандартные (у которых число портов базовой модели равно 4) – F0xx, F01x и F2xx; и малопортовые (с числом портов менее 4) – F30x, F31x, F32x, F33x и F35x.

Кроме этого, обычно говорят, что существуют микроконтроллеры SiLabs стандартного быстродействия (20...25 MIPS) – F0xx, F01x, F02x, F04x, F06x, F2xx, F30x, F31x, F32x и F33x; повышенного быстродействия (до 50 MIPS) – F124 – F127, F35x, Si825x; и высокого быстродействия (до 100 MIPS) – F120 – F123, F13x.

Таким образом, мы рассмотрели современные модели микроконтроллеров фирмы SiLabs. Имеется ряд сообщений и о ближайших планах фирмы SiLabs, например, на сайте [21] приведена диаграмма, отражающая выпускаемые и перспективные семейства. В приведённом источнике указывается, что планируются к выпуску ряд новых оригинальных изделий, таких как однократно программируемые микроконтроллеры, микроконтроллеры с расширенным (автомобильным) температурным диапазоном, микроконтроллеры сверхнизкого потребления, микроконтроллеры с интерфейсом USB, но без аналого-цифрового преобразователя, интерфейсные микросхемы UART – Ethernet, микроконтроллеры с беспроводным интерфейсом ZigBee. Видимо, будут модифицироваться и выпускаемые семейства микроконтроллеров.

В заключение отметим, что на сегодняшний день микроконтроллеры фирмы Silicon Laboratories:

- имеют наилучшие аналоговые подсистемы, включающие аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, аналоговые мультиплексоры, программируемые усилители, источники опорного напряжения, масштабирующие узлы кодов аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, аналоговые компараторы питания, линейные регуляторы напряжения и мониторы питания;
- имеют наиболее богатую цифровую периферию, включающую один или два последовательных интерфейса UART, интерфейсы

SMBus (I<sup>2</sup>C), SPI, USB, CAN, параллельные аппаратные интерфейсы внешней памяти, охранный таймер WDT, от 3 до 6 каналов программируемого счётчика-массива PCA, расширенную систему прерываний (до 22 векторов прерываний), большой набор таймеров и тактовых генераторов. Некоторые модели имеют также аппаратные умножители чисел;

- имеют максимальную производительность среди 8-разрядных x51-совместимых микроконтроллеров (25...100 MIPS);
- имеют малое энергопотребление (0,3...0,6 мА/MIPS) и низкое напряжение питания (2,7...3,6 В);
- имеют широкий диапазон рабочих температур (–40...+ 85°C);
- выпускаются в сверхнизких малогабаритных корпусах TQFP, LQFP и MLP с размерами от 16 × 16 мм (TQFP-100) до 3 × 3 мм (MLP-11).

Таким образом, микроконтроллеры фирмы Silicon Laboratories являются идеальным выбором для широкого спектра микроконтроллерных изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.silabs.com>.
2. <http://www.cygnal.com>.
3. Николайчук О. X51-совместимые микроконтроллеры фирмы Silicon Laboratories. М.: СКИМЕН, 2004.
4. Николайчук О. Анализ SFR-совместимости микроконтроллеров фирмы SiLabs. Схемотехника. 2004, № 3 – 2005, № 11. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision\\_Mixed-Signal/en/C8051F0xx.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F0xx.pdf).
6. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision\\_Mixed-Signal/en/C8051F01x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F01x.pdf).
7. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision\\_Mixed-Signal/en/C8051F02x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F02x.pdf).
8. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision\\_Mixed-Signal/en/C8051F12x-13x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F12x-13x.pdf).
9. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision\\_Mixed-Signal/en/C8051F06x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F06x.pdf).
10. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision\\_Mixed-Signal/en/C8051F35x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F35x.pdf).
11. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/General\\_Purpose/en/C8051F2xx.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/General_Purpose/en/C8051F2xx.pdf).
12. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Small\\_Form\\_Factor/en/C8051F30x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Small_Form_Factor/en/C8051F30x.pdf).
13. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Small\\_Form\\_Factor/en/C8051F31x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Small_Form_Factor/en/C8051F31x.pdf).
14. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Small\\_Form\\_Factor/en/C8051F33x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Small_Form_Factor/en/C8051F33x.pdf).
15. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/CAN/en/C8051F04x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/CAN/en/C8051F04x.pdf).
16. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F32x.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F32x.pdf).
17. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Interface/en/cp2101.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Interface/en/cp2101.pdf).
18. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Interface/en/cp2102.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Interface/en/cp2102.pdf).
19. [https://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Interface/en/cp2103.pdf](https://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Interface/en/cp2103.pdf).
20. [http://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Digital\\_Power/Digital\\_Power/en/Si8250.pdf](http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Digital_Power/Digital_Power/en/Si8250.pdf).
21. <http://www.efo.ru/doc/Silabs/Silabs.pl?1163>.





**SILICON LABORATORIES**

Семейство микроконтроллеров C8051Fxx компании Silicon Laboratories оптимально подходит для построения устройств требующих высокой производительности, точности измерений, большой степени интеграции и малого потребления.

**Микроконтроллеры C8051Fxxx SILICON LABORATORIES включают:**

- производительность до 100 MIPS
- энергонезависимая FLASH-память от 2 Кб до 128 Кб
- встроенная оперативная память до 8448 Кбайт
- конвейерная архитектура
- 16x16 двухтактный умножитель. аккумулятор
- встроенный CAN Bus 2.0B контроллер
- встроенный USB 2.0 до 12 Мбс SLAVE контроллер
- параллельный интерфейс для внешней памяти
- многоканальные 16-разрядные АЦП, ск-ть преобразования 1Мпс
- и многое другое



**C8051Fxxx**  
C8051Fxxx



г. Москва, Ул. Усиевича 24/2, Тел./ Факс: (095) 787-4805  
[www.atos.ru](http://www.atos.ru) [info@atos.ru](mailto:info@atos.ru)