
МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ ФИРМЫ SILICON LABORATORIES

Олег Николайчук
onic@ch.moldpac.md

Статья опубликована: Современная электроника, 2005, №4, 2-9

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, Inc"), основанная в 1999 году в городе Austin (столице штата Техас) за счет 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: Derrill 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 узлов на CMOS и работавший до этого директором по изображениям и видео продуктам на Crystal Semiconductor и Cirrus Logic. Фирма Cygnal просуществовала около пяти лет и в конце 2003 года была поглощена фирмой Silicon Laboratories (SiLabs), 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 приемы повышения быстродействия, применяемые в современных 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 - 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), оснащенные 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, представляющую 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 оснащен 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), в 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 (от 1 до 128 kB), с возможностью модификации записей в процессе выполнения программы и встроенным механизмом внутрисхемного программирования / отладки через интерфейсы JTAG или C2.

Четвертой особенностью является то, что многие микроконтроллеры имеют встроенную дополнительную оперативную память с объемом от 256 до 8448 байтов, расположенную в пространстве адресов внешней памяти. Это позволяет производить достаточно сложные вычисления не прибегая к увеличению объема 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 не мультиплексированном режимах.

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

Еще 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, оснащенным кварцевым резонатором, конденсатором или вообще без дополнительных элементов с возможностью изменения источника тактирования «на лету». В некоторых микроконтроллерах имеется два тактовых генератора. Для работы на высоких частотах многие микроконтроллеры имеют аппаратные умножители частоты, позволяющие, например, при установленном кварцевом генераторе 22,1184 МГц ядру работать на частоте 88,5 МГц. Некоторые модели имеют встроенные прецизионные калибруемые генераторы, позволяющие работать без кварцевых генераторов.

Следующей важной особенностью является наличие у микроконтроллеров фирмы SiLabs большого количества разнообразных интерфейсов. Практически все микроконтроллеры имеют встроенные аппаратно реализованные стандартные интерфейсы UART, SMBus (I²C), SPI. Благодаря особенностям ядра CIP-51, интерфейс UART при частоте тактового генератора 11,059МГц 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 усеченным (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 x 3 мм и является самым маленьким микроконтроллером в мире, оставаясь при этом достаточно мощным по производительности и оснащению аналоговой и цифровой периферией.

Следует также отметить, что все микроконтроллеры имеют рабочий диапазон температур от -40°C до +85°C (Кроме одного семейства). Напряжение питания большинства микроконтроллеров от 2.7 В до 3.6 В.

Существует несколько классификаций микроконтроллеров фирмы SiLabs [3,4]. Прежде всего, рассмотрим оригинальную классификацию фирмы Silicon Laboratories. Она приведена на рис.1.

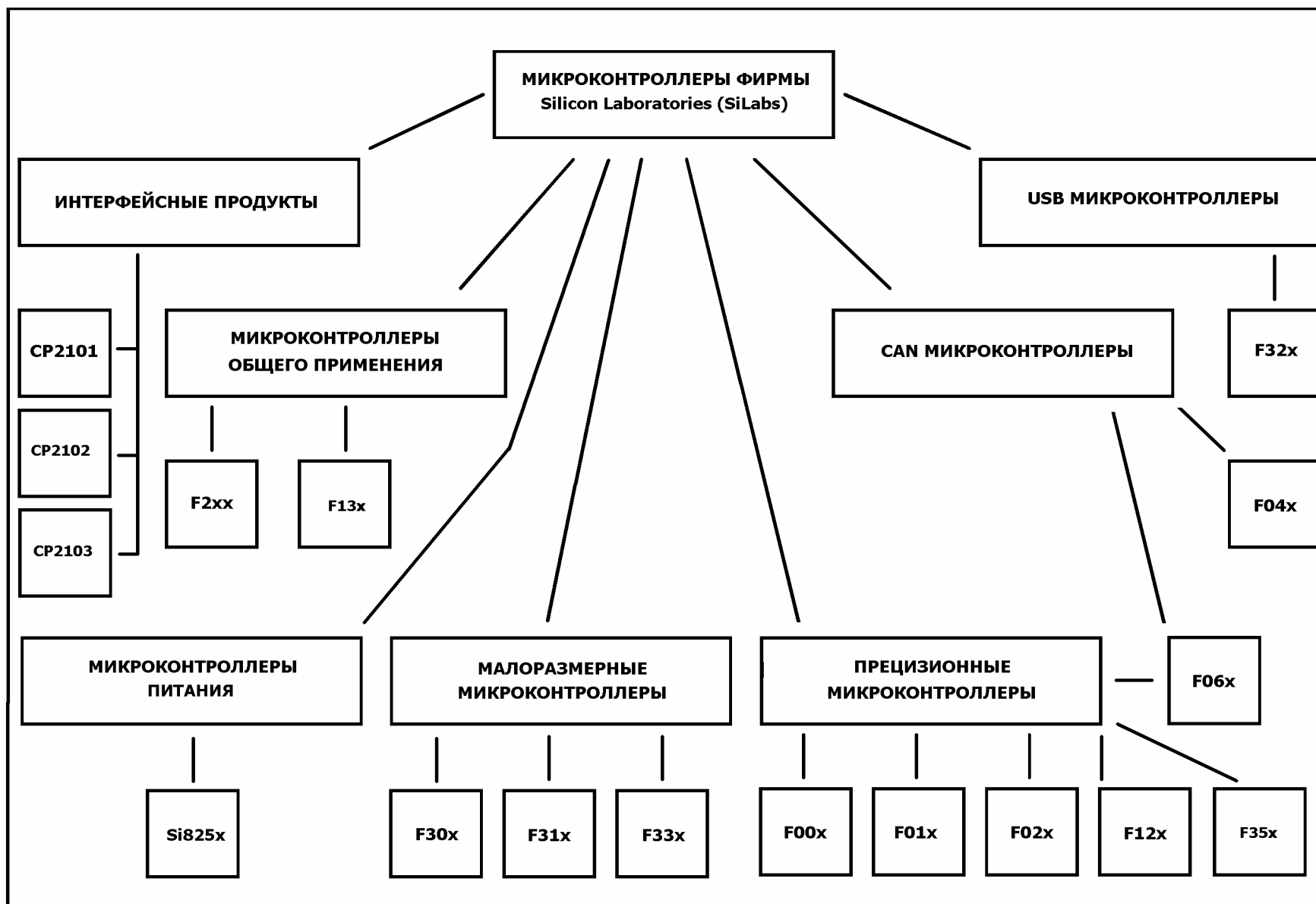


Рис.1. Классификация микроконтроллеров фирмы SiLabs

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 усеченных моделей.

По состоянию на 01.05.2005 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: первое семейство C8051F0xx (или сокращенно F0xx), объединяющее модели F000, F001, F002, F005, F006, F007, F010, F011, F012, F015, F016 и F017 [5]; второе 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]; а также семейство C8051F35x, содержащее модели F350 – F353 [10]. Основными особенностями этой группы являются: наиболее мощная и разнообразная аналоговая периферия, большие объемы 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.

Таблица 1

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ	Оперативная память, байтов	Интерфейс внешней памяти	Кол. линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Таймера (16-битные)	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
Семейство C8051F0xx																		
C8051F000	20	32KB	256	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	12-bit, 8ch., 100ksp/s	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F001	20	32KB	256	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	12-bit, 8ch., 100ksp/s	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP

C8051F002	20	32KB	256	-	8	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	12-bit, 4ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F005	25	32KB	2304	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	12-bit, 8ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F006	25	32KB	2304	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	12-bit, 8ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F007	25	32KB	2304	-	8	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	12-bit, 4ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F010	20	32KB	256	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F011	20	32KB	256	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F012	20	32KB	256	-	8	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	10-bit, 4ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F015	25	32KB	2304	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F016	25	32KB	2304	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F017	25	32KB	2304	-	8	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	10-bit, 4ch., 100ksps	-	12-bit, 2ch.	Y	Y	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
Семейство C8051F01x																		
C8051F018	25	16KB	1280	-	32	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	-	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F019	25	16KB	1280	-	16	UART, SMBus, SPI	4	5	20.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	-	Y	Y	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
Семейство C8051F02x																		
C8051F020	25	64KB	4352	Y	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	5	20.0%	12-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F021	25	64KB	4352	Y	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	5	20.0%	12-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F022	25	64KB	4352	Y	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	5	20.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F023	25	64KB	4352	Y	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	5	20.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
Семейство C8051F12x																		
C8051F120	100	128KB	8448	Y	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	12-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	16x16 MAC	100-pin 16x16 TQFP
C8051F121	100	128KB	8448	Y	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	12-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	16X16 MAC	64-pin 12x12 TQFP
C8051F122	100	128KB	8448	Y	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	16X16 MAC	100-pin 16x16 TQFP
C8051F123	100	128KB	8448	Y	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	16X16 MAC	64-pin 12x12 TQFP
C8051F124	50	128KB	8448	Y	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	12-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F125	50	128KB	8448	Y	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	12-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F126	50	128KB	8448	Y	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F127	50	128KB	8448	Y	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	2	-	-	64-pin 12x12 TQFP

Семейство C8051F06x																		
C8051F064	25	64KB	4352	Y	59	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	16-bit, 2ch., 1Msps	-	-	-	Y	3	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F065	25	64KB	4352	-	24	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	16-bit, 2ch., 1Msps	-	-	-	Y	1	-	-	64-pin 12x12 TQFP
C8051F066	25	32KB	4352	Y	59	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	16-bit, 2ch., 1Msps	-	-	-	Y	1	-	-	100-pin 16x16 TQFP
C8051F067	25	32KB	4352	-	24	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	16-bit, 2ch., 1Msps	-	-	-	Y	1	-	-	64-pin 12x12 TQFP
Семейство C8051F35x																		
C8051F350	50	8KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	24-bit, 8ch., 1ksps	-	8-bit, 2ch.	Y	Y	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F351	50	8KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	24-bit, 8ch., 1ksps	-	8-bit, 2ch.	Y	Y	1	-	-	28-pin 5x5 QFN
C8051F352	50	8KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	16-bit, 8ch., 1ksps	-	8-bit, 2ch.	Y	Y	1	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F353	50	8KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	16-bit, 8ch., 1ksps	-	8-bit, 2ch.	Y	Y	1	-	-	28-pin 5x5 QFN

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 распространенным семейством благодаря большому количеству аналоговой и цифровой периферии, полному объему Flash памяти – 64 Кбайт, достаточно большому объему оперативной памяти – 4352 байтов, пиковой производительности до 25MIPS и относительно простой организации, и при всем этом с оптимальным соотношением цена / качество. Семейство F12x полностью совместимо с предыдущим семейством по составу и качеству периферии, разводке выводов, но имеет 128 Кбайт Flash памяти программ со страничной организацией, в два раза больший объем встроенной оперативной памяти – 8448 байтов, обеспечивает пиковую производительность до 100MIPS, но 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 упрощенным 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 подключать 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.

Таблица 2

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ	Оперативная память, байтов	Интерфейс внешней памяти	Кол. линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Таймера (16-битные)	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
Семейство C8051F13x																		
C8051F130	100	128KB	8448	Y	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	-	Y	-	2	-	16x16 MAC	100-pin 16x16 TQFP
C8051F131	100	128KB	8448	Y	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	-	Y	-	2	-	16X16 MAC	64-pin 12x12 TQFP
C8051F132	100	64KB	8448	Y	64	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	-	Y	-	2	-	16X16 MAC	100-pin 16x16 TQFP
C8051F133	100	64KB	8448	Y	32	2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 8ch., 100ksps	-	-	Y	-	2	-	16X16 MAC	64-pin 12x12 TQFP
Семейство C8051F2xx																		
C8051F206	25	8KB	1280	-	32	UART, SPI	3	-	20.0%	12-bit, 32ch., 100ksps	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F220	25	8KB	256	-	32	UART, SPI	3	-	20.0%	8-bit, 32ch., 100ksps	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F221	25	8KB	256	-	22	UART, SPI	3	-	20.0%	8-bit, 32ch., 100ksps	-	-	-	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F226	25	8KB	1280	-	32	UART, SPI	3	-	20.0%	8-bit, 32ch., 100ksps	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F230	25	8KB	256	-	32	UART, SPI	3	-	20.0%	-	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP
C8051F231	25	8KB	256	-	22	UART, SPI	3	-	20.0%	-	-	-	-	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F236	25	8KB	1280	-	32	UART, SPI	3	-	20.0%	-	-	-	-	-	2	-	-	48-pin 9x9 TQFP

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 является самым маленьким микроконтроллером в мире и имеет размеры всего 3x3 мм. Семейство F33x является еще одним из пятерки наиболее популярных микроконтроллеров фирмы SiLabs. Основные параметры микроконтроллеров этой группы приведены в таблице 3.

Таблица 3

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ	Оперативная память, байтов	Интерфейс внешней памяти	Кол. линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Таймера (16-битные)	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
Семейство C8051F3xx																		
C8051F300	25	8KB	256	-	8	UART, SMBus	3	3	2.0%	8-bit, 8ch., 500ksps	-	-	Y	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F301	25	8KB	256	-	8	UART, SMBus	3	3	2.0%	-	-	-	-	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F302	25	8KB	256	-	8	UART, SMBus	3	3	20.0%	8-bit, 8ch., 500ksps	-	-	Y	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F303	25	8KB	256	-	8	UART, SMBus	3	3	20.0%	-	-	-	-	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F304	25	4KB	256	-	8	UART, SMBus	3	3	20.0%	-	-	-	-	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
C8051F305	25	2KB	256	-	8	UART, SMBus	3	3	20.0%	-	-	-	-	-	1	-	-	11-pin 3x3 QFN
Семейство C8051F31x																		
C8051F310	25	16KB	1280	-	29	UART, SMBus, SPI	4	5	2.0%	10-bit, 21ch., 200ksps	-	-	Y	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F311	25	16KB	1280	-	25	UART, SMBus, SPI	4	5	2.0%	10-bit, 17ch., 200ksps	-	-	Y	-	2	-	-	28-pin 5x5 QFN
C8051F312	25	8KB	1280	-	29	UART, SMBus, SPI	4	5	2.0%	10-bit, 21ch., 200ksps	-	-	Y	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F313	25	8KB	1280	-	25	UART, SMBus, SPI	4	5	2.0%	10-bit, 17ch., 200ksps	-	-	Y	-	2	-	-	28-pin 5x5 QFN
C8051F314	25	8KB	1280	-	29	UART, SMBus, SPI	4	5	2.0%	-	-	-	-	-	2	-	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F315	25	8KB	1280	-	25	UART, SMBus, SPI	4	5	2.0%	-	-	-	-	-	2	-	-	28-pin 5x5 QFN
Семейство C8051F33x																		
C8051F330	25	8KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	10-bit, 16ch., 200ksps	-	10-bit, 1ch.	Y	Y	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F330D	25	8KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	10-bit, 16ch., 200ksps	-	10-bit, 1ch.	Y	Y	1	-	-	20-pin 4x4 DIP
C8051F331	25	8KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	-	-	-	-	-	1	-	-	20-pin 4x4 QFN

C8051F332	25	4KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	10-bit, 16ch., 200ksps	-	-	Y	Y	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F333	25	4KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	-	-	-	-	-	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F334	25	2KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	10-bit, 16ch., 200ksps	-	-	Y	Y	1	-	-	20-pin 4x4 QFN
C8051F335	25	2KB	768	-	17	UART, SMBus, SPI	4	3	2.0%	-	-	-	-	-	1	-	-	20-pin 4x4 QFN

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 своем составе высоковольтный усилитель, работающий до входных напряжений 60 В. Семейство микроконтроллеров F06x имеет в своем составе два 16-битных быстродействующих аналого-цифровых преобразователя (1MSPS), оснащенных 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.

Таблица 4

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ	Оперативная память, байтов	Интерфейс внешней памяти	Кол. линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Таймера (16-битные)	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
Семейство C8051F04x																		
C8051F040	25	64KB	4352	Y	64	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	12-bit, 13ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	3	-	60V PGA	100-pin 16x16 TQFP
C8051F041	25	64KB	4352	Y	32	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	12-bit, 13ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	3	-	60V PGA	64-pin 12x12 TQFP
C8051F042	25	64KB	4352	Y	64	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 13ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	3	-	60V PGA	100-pin 16x16 TQFP
C8051F043	25	64KB	4352	Y	32	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 13ch., 100ksps	8-bit, 8ch., 500ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	3	-	60V PGA	64-pin 12x12 TQFP
C8051F044	25	64KB	4352	Y	64	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 13ch., 100ksps	-	-	Y	Y	3	-	60V PGA	100-pin 16x16 TQFP
C8051F045	25	64KB	4352	Y	32	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 13ch., 100ksps	-	-	Y	Y	3	-	60V PGA	64-pin 12x12 TQFP
C8051F046	25	32KB	4352	Y	64	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 13ch., 100ksps	-	-	Y	Y	3	-	60V PGA	100-pin 16x16 TQFP
C8051F047	25	32KB	4352	Y	32	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	10-bit, 13ch., 100ksps	-	-	Y	Y	3	-	60V PGA	64-pin 12x12 TQFP

Семейство C8051F06x																			
C8051F060	25	64KB	4352	Y	59	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	16-bit, 2ch., 1Msps	10-bit, 8ch., 200ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	3	-	-	100-pin 16x16 TQFP	
C8051F061	25	64KB	4352	-	24	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	16-bit, 2ch., 1Msps	10-bit, 8ch., 200ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	3	-	-	64-pin 12x12 TQFP	
C8051F062	25	64KB	4352	Y	59	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	16-bit, 2ch., 1Msps	10-bit, 8ch., 200ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	3	-	-	100-pin 16x16 TQFP	
C8051F063	25	64KB	4352	-	24	CAN2.0B, 2 UARTs, SMBus, SPI	5	6	2.0%	16-bit, 2ch., 1Msps	10-bit, 8ch., 200ksps	12-bit, 2ch.	Y	Y	3	-	-	64-pin 12x12 TQFP	

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 еще один очень интересный узел – встроенные линейный аналоговый регулятор напряжения, преобразующий входное напряжение +5 В в напряжение питания микроконтроллера 3,3 В, позволяющий кроме собственно микроконтроллера питать внешние микросхемы током до 100 мА. Эти два качества позволяют микроконтроллерам этой группы также войти в состав из пятёрки наиболее популярных микроконтроллеров фирмы SiLabs. Основные параметры микроконтроллеров этой группы приведены в таблице 5.

Таблица 5

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ	Оперативная память, байтов	Интерфейс внешней памяти	Кол. линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Таймера (16-битные)	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
Семейство C8051F32x																		
C8051F320	25	16KB	2304	-	25	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1.5%	10-bit, 17ch., 200ksps	-	-	Y	Y	2	Y	-	32-pin 9x9 LQFP
C8051F321	25	16KB	2304	-	21	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1.5%	10-bit, 13ch., 200ksps	-	-	Y	Y	2	Y	-	28-pin 5x5 QFN

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

Группа интерфейсных микросхем USB в UART моста (конвертора) представляют собой микроконтроллеры группы F32x, запрограммированных оригинальным firmware [17-19]. Группа включает в себя три модели микросхем. Основные параметры этой группы приведены в таблице 6.

Таблица 6

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ	Оперативная память, байтов	Интерфейс внешней памяти	Кол. линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Таймера (16-битные)	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	512B EEPROM	1000	-	13	UART to USB Bridge	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	Y	-	28-pin 5x5 QFN
CP2102	25	1024B EEPROM	1000	-	13	UART to USB Bridge	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	Y	-	28-pin 5x5 QFN
CP2103	25	1024B EEPROM	1000	-	13	UART to USB Bridge	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	Y	-	28-pin 5x5 QFN

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

Таблица 7

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ	Оперативная память, байтов	Интерфейс внешней памяти	Кол. линий ввода/вывода	Последовательные интерфейсы	Таймера (16-битные)	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
Si8250-IM	50	32KB	1280	-	16	UART, SMBus	4	Y	2,0%	12-bit, 8ch., 100ksp/s	6bit, 10MHz		Y	Y	1	-	6 DPWM	28-pin 5x5 QFN
Si8250-IQ	50	32KB	1280	-	16	UART, SMBus	4	Y	2,0%	12-bit, 8ch., 100ksp/s	6bit, 10MHz		Y	Y	1	-	6 DPWM	32-pin 9x9 LQFP
Si8251-IM	50	16KB	1280	-	16	UART, SMBus	4	Y	2,0%	12-bit, 8ch., 100ksp/s	6bit, 10MHz		Y	Y	1	-	6 DPWM	28-pin 5x5 QFN
Si8251-IQ	50	16KB	1280	-	16	UART, SMBus	4	Y	2,0%	12-bit, 8ch., 100ksp/s	6bit, 10MHz		Y	Y	1	-	6 DPWM	32-pin 9x9 LQFP
Si8252-IM	50	16KB	1280	-	16	SMBus	4	Y	2,0%	12-bit, 8ch., 100ksp/s	6bit, 10MHz		Y	Y	-	-	3 DPWM	28-pin 5x5 QFN
Si8252-IQ	50	16KB	1280	-	16	SMBus	4	Y	2,0%	12-bit, 8ch., 100ksp/s	6bit, 10MHz		Y	Y	-	-	3 DPWM	32-pin 9x9 LQFP

Микроконтроллеры питания семейства Si825x имеют x51-совместимое модифицированное вычислительное ядро CIP-51, такое же, как у других семейств микроконтроллеров фирмы SiLabs, обеспечивающее пиковую производительность до 50 MIPS. Все модели микроконтроллеров имеют 32 КВ или 16 КВ Flash памяти программ / данных, 12-разрядный 8-канальный аналого-цифровой преобразователь. В семействе заложена возможность загрузки программ с помощью встроенного программного 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/счетчика, трехканальный программируемый счетчик/массив PCA для общих целей или для организации дополнительных ШИМ выходов, а также два усиленных однобайтных 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.

Еще 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 (а ранее – Cygnal) постоянно модифицировали их архитектуру, расширяла 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 приемы программирования и проектирование систем на базе этих микроконтроллеров считается более сложным [4].

Микроконтроллеры фирмы SiLabs также подразделяются в зависимости 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 (20-25MIPS) – F0xx, F01x, F02x, F04x, F06x, F2xx, F30x, F31x, F32x и F33x; повышенного быстродействия (до 50MIPS) – F124-F127, F35x, Si825x; и высокого быстродействия (до 100MIPS) – F120-F123, F13x.

Таким образом, мы рассмотрели современные модели микроконтроллеров фирмы SiLabs. Имеется ряд сообщений и о ближайших планах фирмы SiLabs, например в [21] приведена диаграмма, отражающая выпускаемые и перспективные семейства. В приведенном 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:

1. 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.
2. Имеют наиболее богатую цифровую периферию, включающую один или два последовательных интерфейса UART, интерфейсы SMBus (I2C), SPI, USB, CAN, параллельные аппаратные интерфейсы внешней памяти, охранный таймер WDT, от 3 до 6 каналов программируемого счетчика-массива PCA, расширенную систему прерываний (до 22 векторов прерываний), большой набор таймеров и тактовых генераторов. Некоторые модели имеют также аппаратные умножители чисел.
3. Микроконтроллеры фирмы SiLabs имеют максимальную производительность среди 8-разрядных x51-совместимых микроконтроллеров (от 25 до 100MIPS);
4. Все микроконтроллеры имеют малое энергопотребление (0.3-0.6 мА/MIPS) и низкое напряжение питания, от 2,7 до 3,6 В.
5. Все микроконтроллеры имеют широкий диапазон рабочих температур от -40°C до +85°C.
6. Микроконтроллеры выпускаются в сверхнизких малогабаритных корпусах TQFP, LQFP и MLP с размерами от 16x16 мм (TQFP-100) до 3x3 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. О. Николайчук - X51-совместимые микроконтроллеры фирмы Silicon Laboratories / М.: ООО "ИД СКИМЕН", 2004. -628с., илл.
4. О. Николайчук - Анализ SFR-совместимости микроконтроллеров фирмы SiLabs (Цикл статей) // Схемотехника, 2004, №3 - 2005.
5. 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
7. 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
9. 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
11. 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
13. 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
15. 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
17. 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
19. 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
21. <http://www.efo.ru/doc/Silabs/Silabs.pl?1163>