

## НОВЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ ФИРМЫ «SILICON LABORATORIES»

Олег Николайчук, Ph.D, Член-корреспондент Международной Инженерной Академии,  
Директор по науке Научно-инженерного центра «Informinstrument SA»  
г. Кишинев, МОЛДОВА  
[onic@inbox.ru](mailto:onic@inbox.ru)

Статья опубликована:

Электронные компоненты, №3, 2006

*Настоящая статья призвана ознакомить читателей с новыми микроконтроллерами фирмы Silicon Laboratories (SiLabs), существенно расширяющими функциональные возможности и быстродействие современных 8-разрядных встраиваемых систем.*

Чуть более пяти лет назад на рынке появились современные 8-разрядные x51-совместимые микроконтроллеры компании “Silicon Laboratories” (SiLabs) [1], первоначально разработанные и выпускавшиеся компанией “Cygnal Integrated Products, Inc”. Эти изделия существенно отличаются от остальных существующих в настоящее время 8-разрядных микроконтроллеров, как по функциональным возможностям и оснащенности встроенной аналоговой и цифровой периферией, так и по производительности. Разработчикам этих микроконтроллеров удалось весьма удачно обобщить все достижения многих других производителей современных 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.

Как уже упоминалось, важнейшей отличительной чертой является уникальный комплект аналоговой периферии, которой оснащаются практически все микроконтроллеры компании SiLabs.

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 ksps (тысяч слов в секунду), в более поздние модели микроконтроллеров оснащаются первым аналого-цифровым преобразователем с быстродействием 200 ksps. Второй аналого-цифровой преобразователь, если он имеется, как правило, имеет быстродействие до 500 ksps. 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.

В состав аналоговой периферии многих микроконтроллеров 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.

Конечно же, наличие в составе аналоговой периферии микроконтроллеров таких узлов, как аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи предполагает наличие и встроенного источника опорного напряжения. Имеется также возможность использования внешнего источника опорного напряжения.

Практически все модели микроконтроллеров оснащаются встроенными аналоговыми компараторами. Их количество может быть от одного до трех. Все они имеют программируемые петлю гистерезиса и временем срабатывания.

Набор цифровой периферии также очень обширный.

Во всех микроконтроллерах имеется встроенная Flash память программ/данных (от 1 до 128 кВ), с возможностью модификации записей в процессе выполнения программы и встроенным механизмом внутрисхемного программирования / отладки через интерфейсы JTAG или C2 (оригинальный модифицированный JTAG интерфейс).

Многие микроконтроллеры оснащаются встроенной дополнительной оперативной памятью с объемом от 256 до 8448 байтов, расположенной 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. Он может программироваться на работу в двух режимах: мультиплексированном и не мультиплексированном.

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

Удачным решением разработчиков является включение в состав функциональных узлов: модифицированной системы защиты кода; аппаратного охранного таймера WDT; монитора питания; встроенной развитой системы тактирования. Например, упомянутая система тактирования позволяет 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 и более тактовых генераторов. 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 вообще без внешних кварцевых генераторов. Количество имеющихся интерфейсов удивляет своим разнообразием. 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. Вообще этот модифицированный узел может нормально работать и с более высокими скоростями, достигающими 1 мегабита в секунду. Кроме этого, многие микроконтроллеры имеют дополнительные интерфейсы, такие как второй UART, CAN, USB и т.д. Микроконтроллеры выпускаются как со стандартным количеством портов (4 порта - 32 линии ввода / вывода), так и с расширенным (8 портов - 64 линии ввода/вывода) и усеченным (до 1 порта) количеством портов.

Компания “Silicon Laboratories” выпускает свои микроконтроллеры в ряде современных оригинальных корпусов: TQFP-100, TQFP-64, TQFP-48, LQFP-32, MLP-28, MLP-20, MLP-11 и ряде других. Например, семейство F30x, 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°С до +85°С (Кроме одного семейства). Напряжение питания большинства микроконтроллеров от 2.7 В до 3.6 В.

Все микроконтроллеры компании 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.

До конца 2005 года компания выпускала 15 различных семейств микроконтроллеров, объединяющих 87 моделей.

Компания “Silicon Laboratories” использует классификацию микроконтроллеров, состоящую из 6 групп:

***Группа «Прецизионных микроконтроллеров смешанных сигналов».***

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; второе семейство C8051F01x, объединяющее модели F018 и F019; семейство C8051F02x, объединяющее модели F020 - F023; семейство C8051F12x, включающее модели F120 – F127; часть семейства C8051F06x, включающая модели F064 - F067; а также семейство C8051F35x, содержащее модели F350 – F353. 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. Следует отметить, что в этой группе находятся три из наиболее популярных до начала этого года 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.

***Группа «Микроконтроллеров общего применения».***

Группа объединяет всего два семейства микроконтроллеров с общим количеством моделей - 11. В группу входят: семейство F13x, объединяющее четыре модели F130 – F133 и семейство F2xx, включающее модели F206, F220, F221, F226, F230, F231 и F236. 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.

***Группа «Малоразмерных микроконтроллеров».***

Группа до этого года объединяла 3 семейства, включающих 19 моделей. В группу входили: семейство F30x, объединяющее модели F300 – F305; семейство F31x, включающее модели F310 – F315; и семейство F33x, включающее микроконтроллеры F330 – F335 и F330D. 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.

***Группа «Микроконтроллеров с интерфейсом CAN».***

Группа объединяет 2 семейства, включающих 12 моделей. В группу входят: семейство F04x, объединяющее модели F040 – F047; и семейство F06x, включающее модели F060 – F063. Оба семейства имеют интерфейс - CAN 2.0В. Кроме этого, семейство F04x имеет в своем составе высоковольтный усилитель, работающий до входных напряжений - 60 В. Семейство F06x имеет в своем составе два 16-битных быстродействующих аналого-цифровых преобразователя (1MSPS), оснащенных механизмом прямого доступа в память (для записи выходных двухбайтных слов непосредственно в буфер встроенной оперативной памяти без участия ядра микроконтроллера).

***Группа «Микроконтроллеров с интерфейсом USB».***

До этого года состояла из одного семейства F32x, включающего два микроконтроллера F320 и F321. Кроме интерфейса USB микроконтроллеры этой группы имеют еще один очень интересный

узел – встроенный 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 пятерки наиболее популярных микроконтроллеров фирмы SiLabs.

Вышеперечисленные пять групп охватывали 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».***

Группа представляют собой микроконтроллеры группы F32x, запрограммированных оригинальным firmware. Группа включает в себя три модели микросхем.

***Группа «Микроконтроллеров питания Si825x».***

В группу входит одно, относительно новое семейство специализированных микроконтроллеров, предназначенных для создания на их основе всевозможных систем питания. Семейство содержит 6 моделей. 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.

Параметры вышеперечисленных микроконтроллеров, выпускавшиеся до 2006 года, приведены в таблице 1, а также описаны в ряде журнальных статей и книг [1-4].

В начале 2006 года компания “Silicon Laboratories” порадовала разработчиков микроконтроллерной техники рядом новых микроконтроллеров следующего поколения. Сперва, 13 февраля 2006 года, было объявлено о выпуске нового высокопроизводительного семейства микроконтроллеров с интерфейсом USB C8051F34x, содержащего 8 микроконтроллеров, а также о выпуске двух дополнительных микроконтроллеров семейства C8051F32x. А 6 марта 2006 года компания начала производство нового семейства микроконтроллеров C8051F41x, состоящего из 4x микроконтроллеров. Таким образом, на настоящий момент компания выпускает 17 различных семейств микроконтроллеров, объединяющих 101 модель. Остановимся более подробно на новинках этого года.

**USB микроконтроллеры нового поколения семейства C8051F34x.**

В таблице 2 приводятся основные параметры USB микроконтроллеров нового поколения семейства C8051F34x и, для сравнения, параметры новых и старых микроконтроллеров семейства C8051F32x [5,6].

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память, КБайт	Оперативная память RAM, Байтов	Интерфейс внешней памяти EMI	Линии ввода/вывода I/O	Последовательные интерфейсы	16-битные таймеры	Каналы счетчика PCA	Встроенный генератор, %	Аналого-цифровой преобразователь, ADC	Датчик температуры	Другой аналог	Корпуса
C8051F320	25	16	2304	-	25	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм LQFP32
C8051F321	25	16	2304	-	21	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 13ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	5x5 мм QFN28
C8051F326	25	16	1536	-	15	USB 2.0, UART	2	0	1,5	-	-	Разделенные выводы питания	5x5 мм QFN28
C8051F327	25	16	1536	-	15	USB 2.0, UART	2	0	1,5	-	-	Фиксированные выводы питания	5x5 мм QFN28
C8051F340	48	64	5376	Y	40	USB 2.0, 2x UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм TQFP48
C8051F341	48	32	3328	Y	40	USB 2.0, 2x UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм TQFP48
C8051F342	48	64	5376	-	25	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм LQFP32
C8051F343	48	32	3328	-	25	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм LQFP32
C8051F344	25	64	5376	Y	40	USB 2.0, 2x UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм TQFP48
C8051F345	25	32	3328	Y	40	USB 2.0, 2x UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм TQFP48
C8051F346	25	64	5376	-	25	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм LQFP32
C8051F347	25	32	3328	-	25	USB 2.0, UART, SMBus, SPI	4	5	1,5	10-bit, 17ch., 200ksps	Y	ИОН-VREF, 2 компаратора	9x9 мм LQFP32

Таблица 2

Структуры микроконтроллеров F320/321, F326/327, F340/341/344/345 и F342/343/346/347 приведены на рисунках 1, 2, 3 и 4 соответственно.

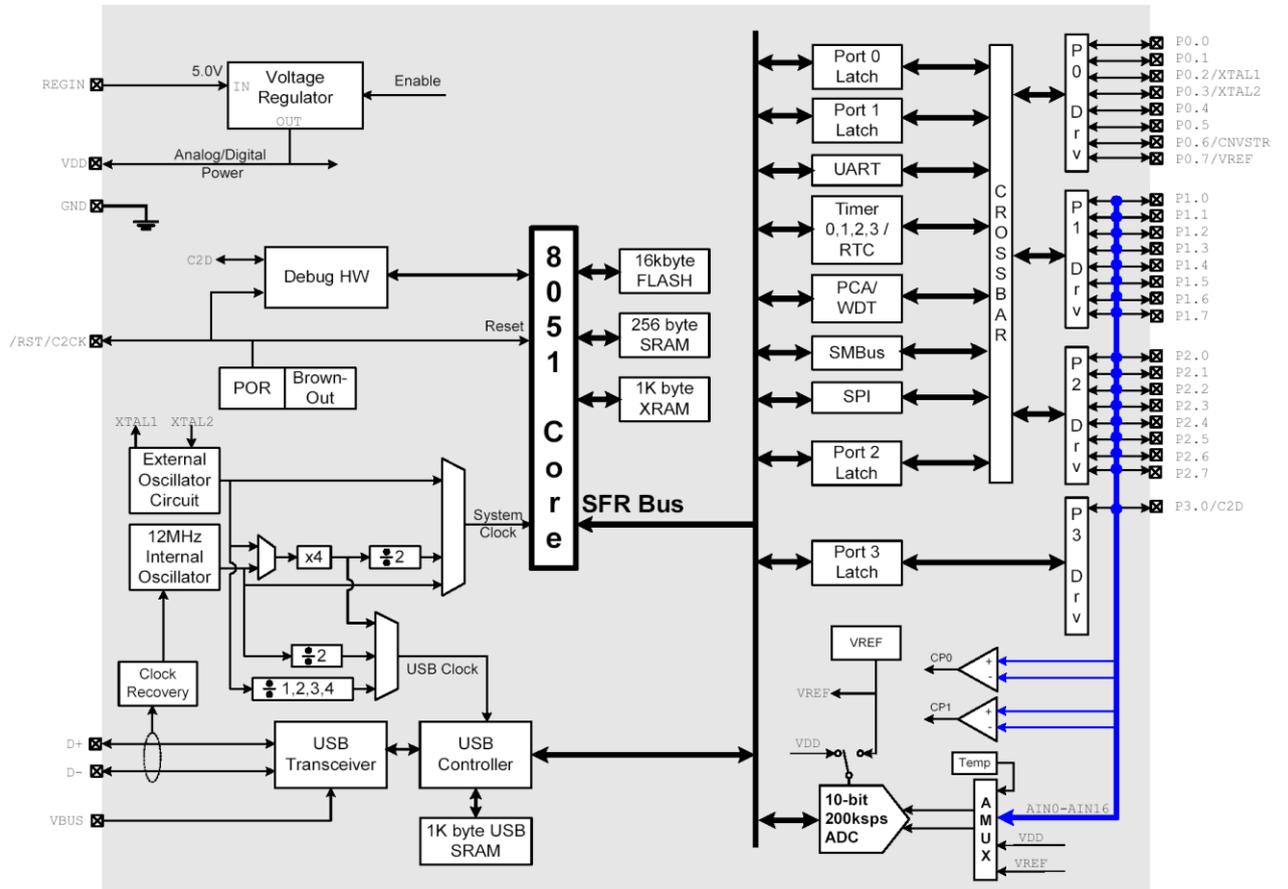


Рис.1.

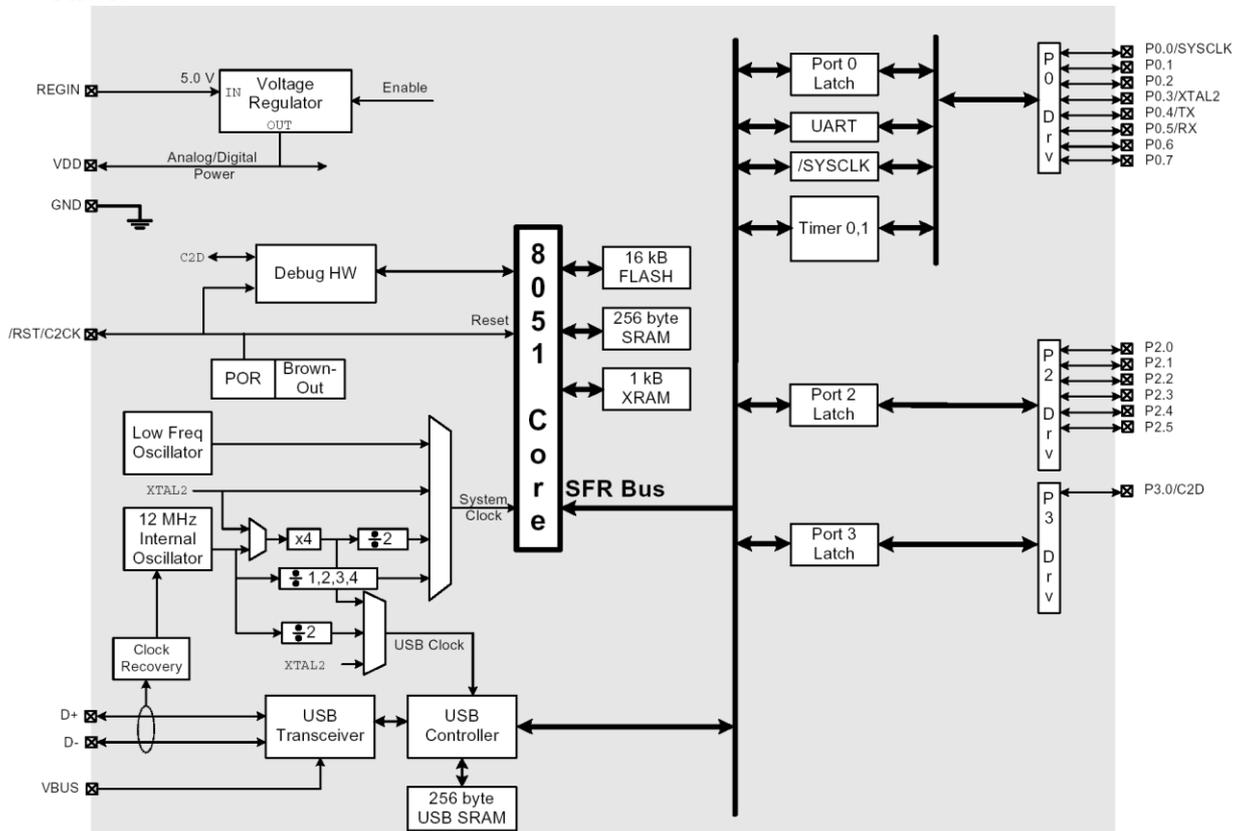


Рис.2.

Даже беглого взгляда на таблицу 2 и приведенные на рисунках 1 и 2 структур старых и новых моделей семейства C8051F32x достаточно для того, чтобы выявить основные отличия описываемых микроконтроллеров. Сразу же бросается в глаза то обстоятельство, что новые члены семейства C8051F32x (микроконтроллеры F326 и F327) не имеют встроенных аналоговых узлов, а именно аналого-цифрового преобразователя ADC с мультиплексором AMX, источника опорного напряжения VREF, аналоговых компараторов, температурного датчика. Кроме того, уменьшено количество и встроенной цифровой периферии. Так, снижен объем встроенной оперативной памяти (с 2304 до 1536 байтов), уменьшено количество линий ввода/вывода (до 15), отсутствуют интерфейсы SMBus (I2C) и SPI. Уменьшено количество встроенных таймеров (с 4 до 2), из состава встроенных узлов удален программируемый таймер счетчик PCA (соответственно исчезла и возможность организации охранного таймера WDT на PCA). Отличия также коснулись и разводки выводов новых микроконтроллеров, но об этом мы поговорим несколько ниже.

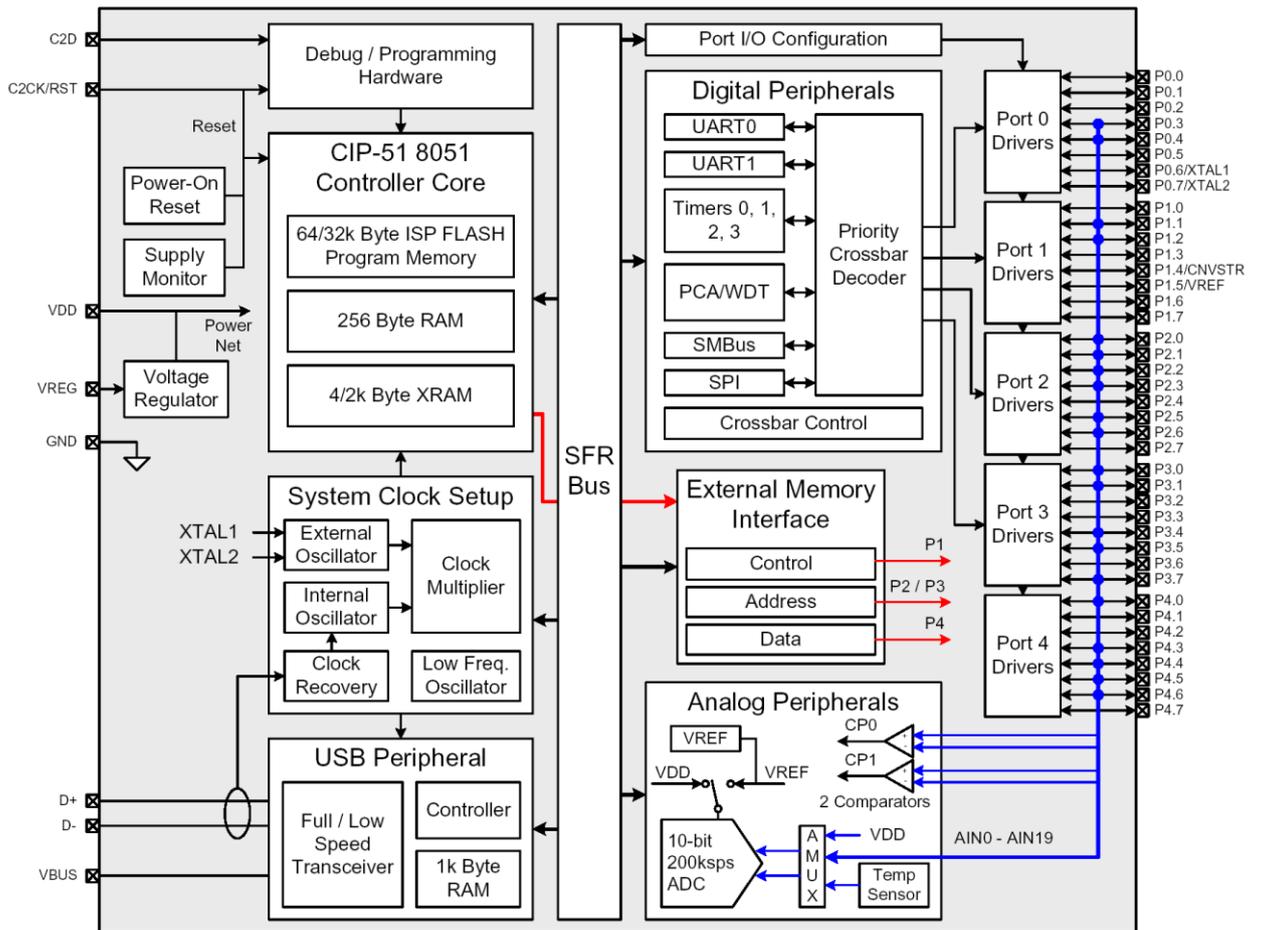


Рис.3.

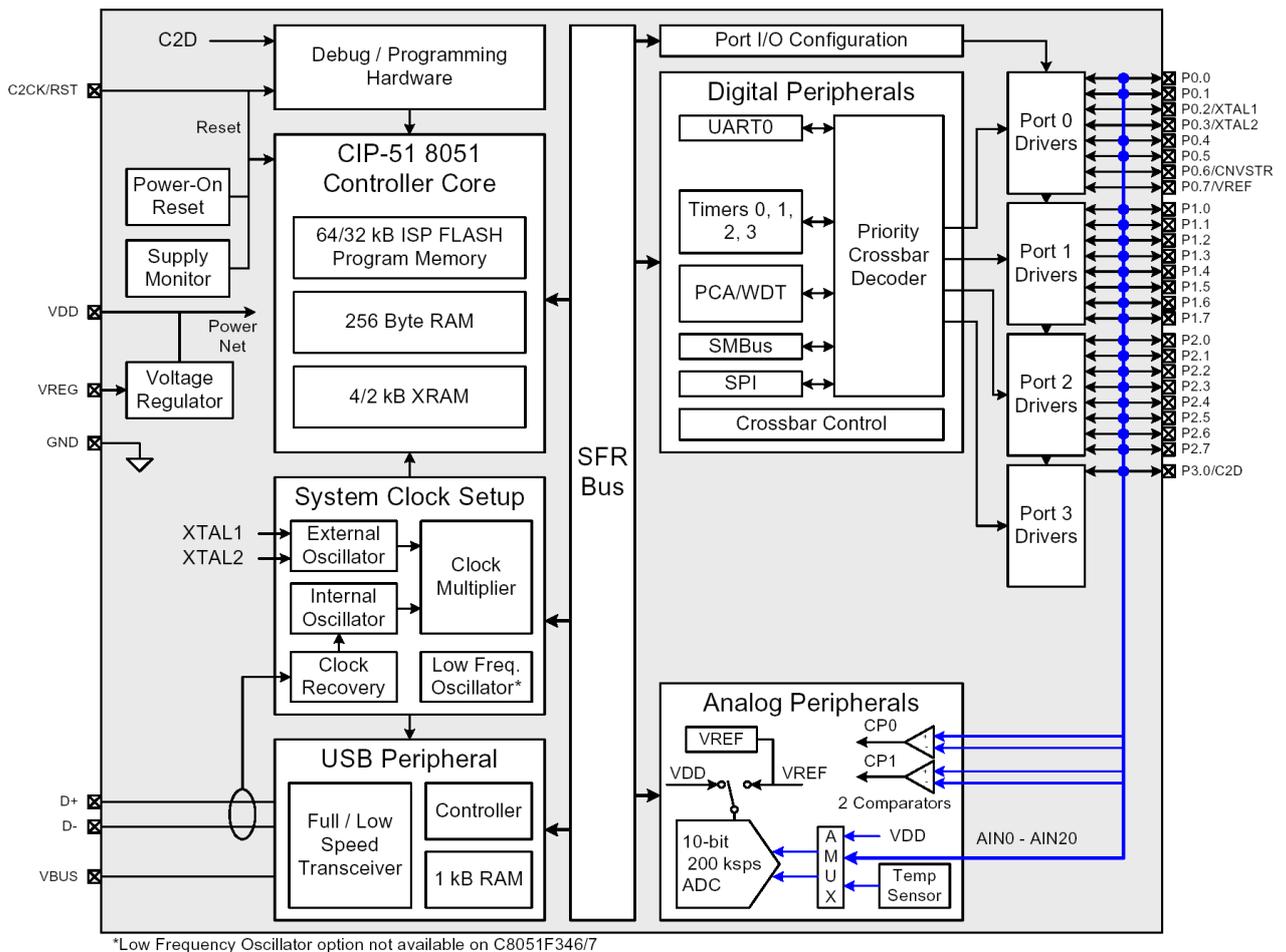


Рис.4.

Анализ таблицы 2 и приведенных на рисунках 3 и 4 структур семейства C8051F34x позволяет описать главные особенности и архитектурные отличия микроконтроллеров этого нового семейства.

- Первые четыре микроконтроллера F430-343 имеют в 2 раза более высокой пиковой производительностью, чем остальные четыре микроконтроллера этого семейства, а также 4 микроконтроллера семейства C8051F32x.
- Во всех микроконтроллерах семейства C8051F34x существенно увеличен объем встроенной Flash памяти команд / данных, причем у четных членов семейства C8051F340/342/344/346 он составляет 64 Кбайта, а у нечетных (C8051F341/343/345/347) – соответственно 32 Кбайта.
- Во всех микроконтроллерах семейства C8051F34x существенно увеличен объем встроенной оперативной памяти данных RAM, причем у четных членов семейства он составляет 5376 байтов, а у нечетных – 3328 байтов.
- Микроконтроллеры C8051F340/341/344/345 имеют встроенный, аппаратно реализованный интерфейс внешней памяти - EMI, аналогичный интерфейсу, имеющемуся, например, в семействах F02x и F12x. Он программно настраивается на возможность работы в мультиплексированном или не мультиплексированном режимах.
- В микроконтроллерах C8051F340/341/344/345 увеличено количество линий ввода / вывода до 40, т.е. до пяти полных восьмибитных портов по сравнению с базовым микроконтроллером C8051F320, у которого линий ввода / вывода было 25. У остальных членов семейства, микроконтроллеров C8051F342/343/346/347, число линий ввода / вывода осталось равным 25.
- Все микроконтроллеры семейства C8051F34x оснащены стандартным набором периферии – интерфейсами USB v.2.0, UART, SMBus (I2C) и SPI. Кроме того, микроконтроллеры C8051F340/341/344/345 имеют по 2 интерфейса UART.
- Все микроконтроллеры описываемого семейства имеют одинаковый набор аналоговой периферии: 10 разрядный 17 канальный аналого-цифровой преобразователь ADC, работающий на скоростях до 200 ksps (тысяч слов в секунду); встроенный источник опорного напряжения VREF; 2 аналоговых компаратора и датчик температуры.

- Все микроконтроллеры семейства C8051F34x выпускаются в корпусах, имеющих одинаковые посадочные размеры – 9x9 мм, однако микроконтроллеры C8051F340/341/344/345 выпускаются в 48 выводном корпусе TQFP48, а остальные микроконтроллеры – в 32 выводном корпусе LQFP32, т.е. таком же, как и базовый микроконтроллер C8051F320.

Из сравнения приведенных данных следует, что микроконтроллеры нового семейства примерно в 3-4 раза мощнее базового микроконтроллера C8051F320.

Сопоставим разводку выводов в микроконтроллерах семейства C8051F32x и C8051F34x. Как следует из таблицы 2 – микроконтроллеры этих семейств выпускаются трех типах корпусов (приведены по убыванию количества выводов): TQFP48, LQFP32, QFN28 (называвшийся ранее MLP28).

На рис.5. показана разводка выводов микроконтроллеров C8051F340/341/344/345, которые выпускаются в корпусе TQFP48. Очевидно, что переход производителя на корпус с большим количеством выводов обусловлен в первую очередь появлением дополнительного пятого восьмибитного порта ввода вывода, что в свою очередь обусловлено реализацией в этих микроконтроллерах аппаратного интерфейса внешней памяти – EMI.

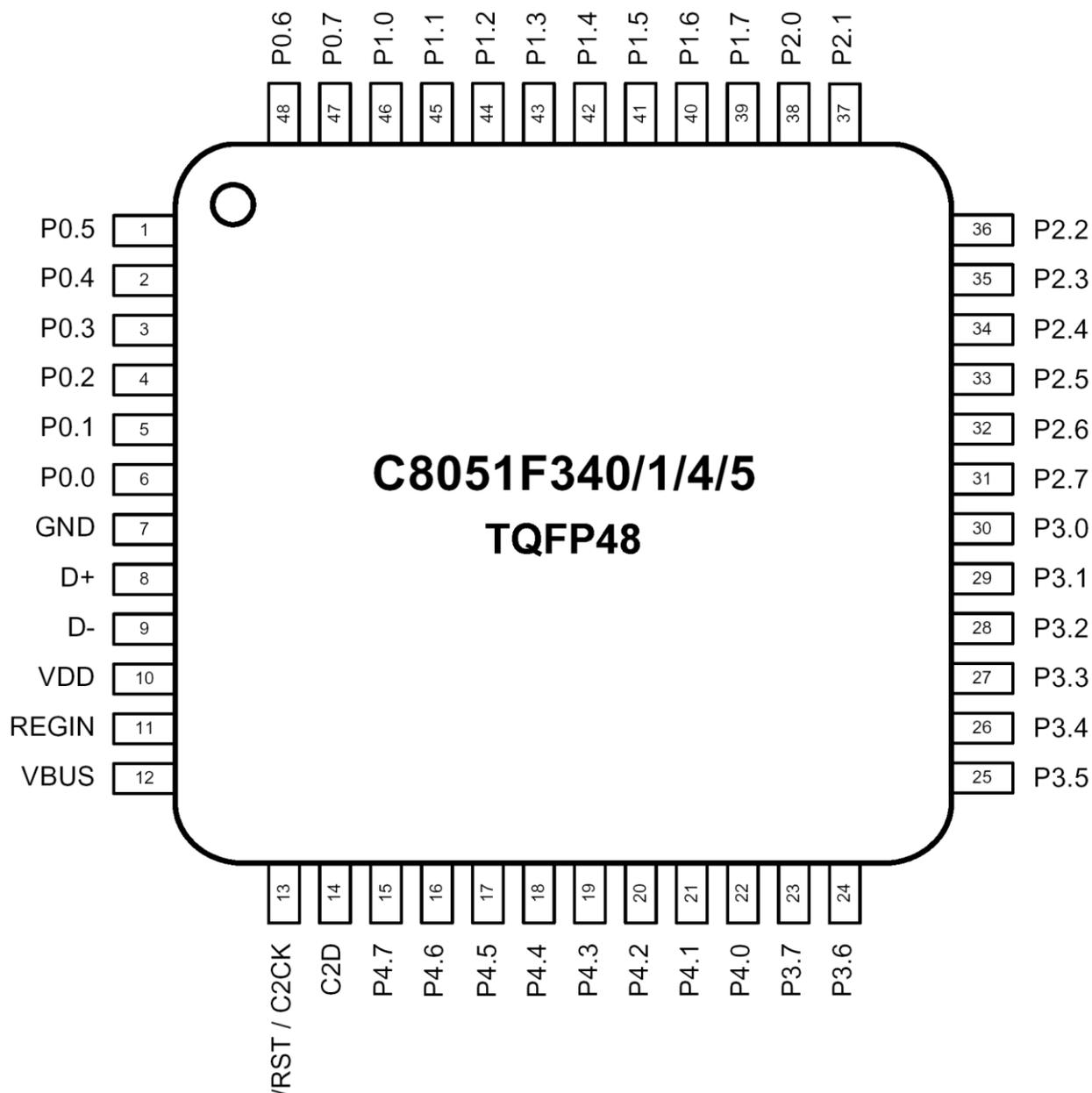


Рис.5.

На следующем рисунке (рис.6) показана разводка выводов базового микроконтроллера C8051F320, а также ряда новых микроконтроллеров C8051F342/343/346/347. Особенно подчеркнем,

что эти микроконтроллеры по выводу совместимы с базовым микроконтроллером, что позволяет производить умощнение существующих устройств, оснащенных базовым микроконтроллером.

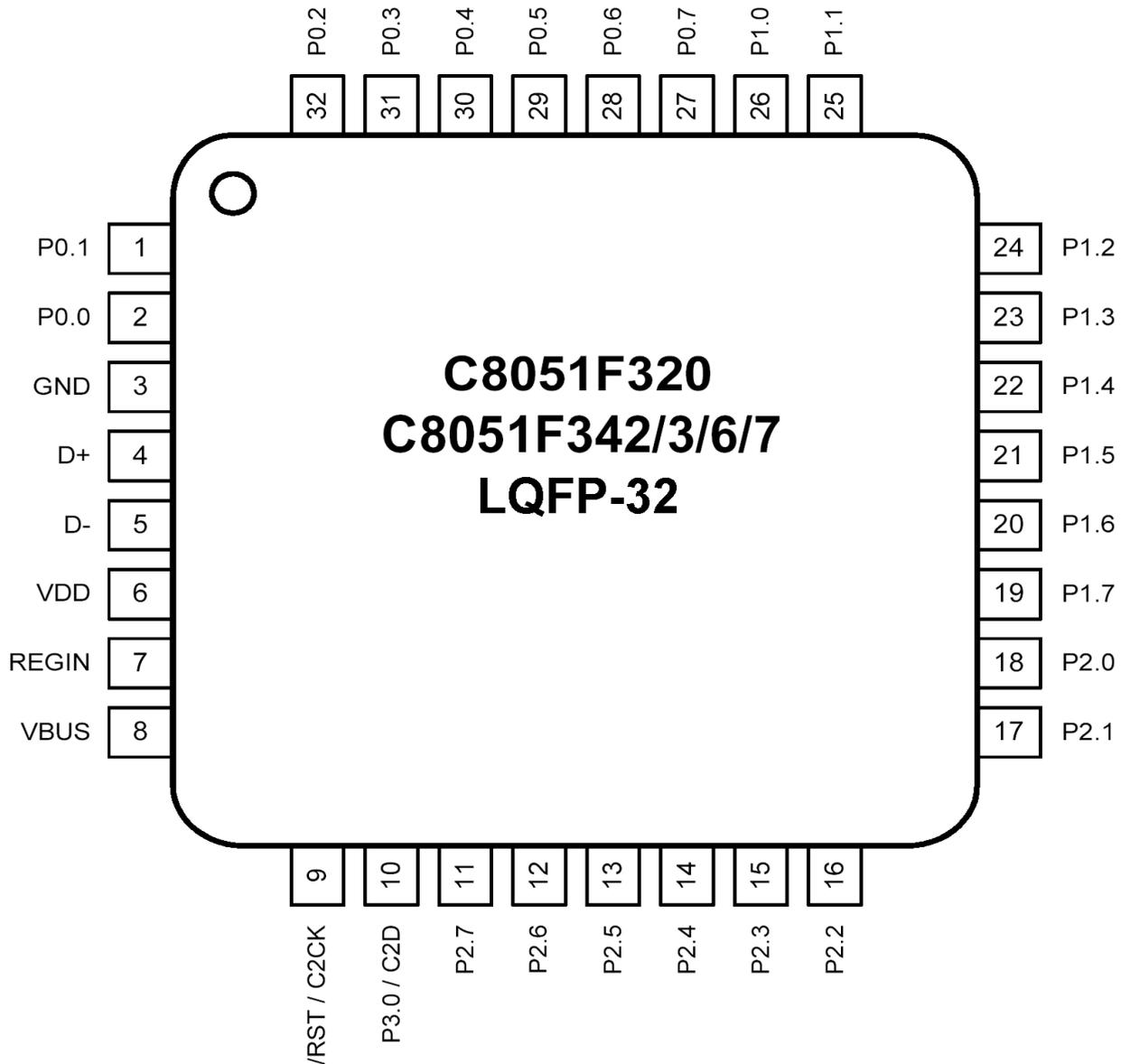


Рис.6.

На рис.7 показана разводка выводов микроконтроллеров C8051F321/326/327, выпускающихся в корпусах QFN28. Особенно отметим тот факт, что все три микроконтроллера имеют отличающуюся разводку, причем не только линий портов ввода / вывода (с чем еще можно было бы мириться), но и линий общего вывода GND и сигнальных линий интерфейса USB. Это обстоятельство, конечно, внесет определенные сложности при переходе с базового микроконтроллера C8051F321 на более простые и низко стоимостные модели C8051F326/327. И конечно не совсем понятно, зачем в чисто цифровых микроконтроллерах нужно было убирать цифровые интерфейсы SMBus и SPI.

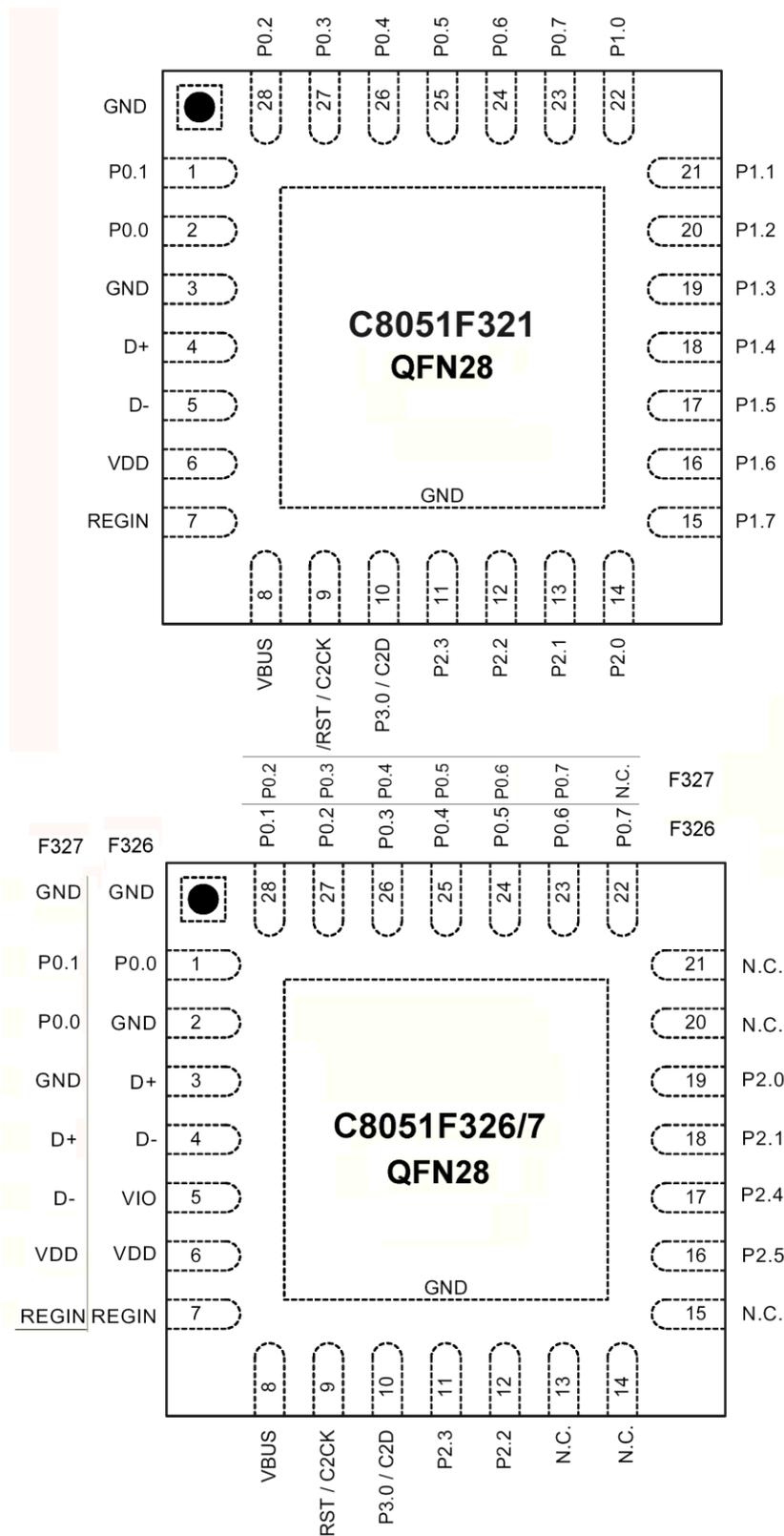


Рис.7.

Все микроконтроллеры нового семейства имеют максимальный ток потребления, не превышающий 15 мА при напряжении ядра 3,3 В и тактовой частоте 24 МГц. При снижении тактовой частоты, например до 1 МГц ток потребления уже не превышает 0,7 мА, а при тактовой частоте 32 кГц (встроенный низкочастотный генератор) ток потребления составляет всего 74 мкА.

Остановимся на некоторых особенностях новых микроконтроллеров. В микроконтроллерах C8051F326/327 уменьшен встроенный USB буфер до 256 байтов (1024 байта в базовом

микроконтроллере), а также изменено количество аппаратных USB буферов ввода /вывода (Endpoints) с 8 в базовом варианте до 3 с фиксированным назначением.

В микроконтроллере C8051F326 имеется дополнительный ввод питания линий ввода / вывода – VIO, который может быть от 1.8 В до напряжения питания ядра, т.е. примерно 3.6 В. Этот вход позволяет полностью отключать все линии ввода /вывода микроконтроллера.

Для всех микроконтроллеров оговорено минимальное и номинальное число циклов стирания / записи Flash памяти, составляющее соответственно 20 и 100 тысяч циклов.

Отметим также, что фирма SiLabs планирует и дальше развивать направление USB микроконтроллеров. Уже в настоящее время новое семейство C8051F34x во многих приложениях способно заменить популярные семейства F02x, F12x, F13x, существенно расширяя их возможности за счет интерфейса USB. Для полной замены вышеуказанных семейств осталось только увеличить разрядность аналого-цифрового преобразователя, разместить на кристалле два цифро-аналоговых преобразователя и поднять пиковую производительность до 100 MIPS. Будем надеяться, что специалисты фирмы Silicon Laboratories в скором будущем реализуют эти пожелания.

### **Семейство микроконтроллеров C8051F41x с пониженным напряжением питания.**

В начале марта 2006 года компания SiLabs объявила о начале производства нового семейства микроконтроллеров C8051F41x [7] со сниженным напряжением питания и рядом новых оригинальных узлов. Основные параметры микроконтроллеров семейства C8051F41x приведены в таблице 3. Структура базового микроконтроллера семейства - C8051F410 показана на рисунке 8.

Таблица 3

ТИП	Пиковая производительность, MIPS	Flash память программ / данных, КБайт	Оперативная память XRAM, КБайт	Калиброванный встроенный тактовый генератор 24.5 МГц	Умножитель тактовой частоты	Интерфейс SMBus / I2C	Интерфейс SPI	Интерфейс UART	16- битные таймеры	Программируемый таймер-счетчик PCA	Количество линий ввода/вывода	12- битный аналого-цифровой преобразователь ADC,	Максимальное количество аналоговых входов	Таймер реального времени RTC	12-битные цифро-аналоговые преобразователи DAC с	Источник опорного напряжения	Температурный датчик	Аналоговые компараторы	Корпус
C8051F410-GQ	50	32	2368	+	+	+	+	+	4	+	24	+	24	+	2	+	+	2	LQFP32
C8051F411-GM	50	32	2368	+	+	+	+	+	4	+	20	+	20	+	2	+	+	2	QFN28
C8051F412-GQ	50	16	2368	+	+	+	+	+	4	+	24	+	24	+	2	+	+	2	LQFP32
C8051F413-GM	50	16	2368	+	+	+	+	+	4	+	20	+	20	+	2	+	+	2	QFN28



В состав цифровой периферии входят развитый интерфейс SMBus (I2C совместимый), интерфейс SPI и интерфейс UART. Кроме этого имеются четыре шестнадцатитбитных таймеров / счетчиков общего назначения, программируемый шестнадцатитбитный счетчик (PCA) с шестью модулями сравнения / захвата и возможностью организации охранного таймера (WDT). Новым и несомненно очень полезным узлом является аппаратный таймер реального времени (SmaRTClock) с 64 Байтами оперативной памяти и встроенным подзаряжающим аналоговым регулятором для внешней батареи, сохраняющий работоспособность при снижении ее напряжения до 1 В, а также специальный тактовый генератор на 32 кГц, работающий либо от внешнего кварцевого резонатора, либо самовозбуждающегося генератора, при этом источник работы SmaRTClock также можно переключать программно, «на лету».

В состав аналоговой периферии входит двенадцатитбитный аналого-цифровой преобразователь (ADC0) с повышенным быстродействием до 200 ksps – тысяч слов в секунду с аналоговым мультиплексором, позволяющим коммутировать аналоговые сигналы с 24 источников на любые линии ввода/вывода. В состав этого узла также традиционно входит «оконный» компаратор и температурный датчик. Микроконтроллеры оснащаются также двумя двенадцатитбитными цифро-аналоговыми преобразователями с токовым выходом и тремя аналоговыми компараторами с программируемой петлей гистерезиса и временем срабатывания. Впервые микроконтроллеры оснащаются программируемым источником опорного напряжения в диапазоне от 1,5 до 2,2 В.

Микроконтроллеры семейства C8051F41x имеют пониженное напряжение питания ядра до 2,1 – 2,5 В (в отличие от всех предыдущих семейств микроконтроллеров фирмы SiLabs, имеющих диапазон питания ядра от 2,7 до 3,6 В. Снижение напряжения питания, во-первых, приводит к снижению потребления тока, а во-вторых, позволяет питать микроконтроллер непосредственно от двух батарей питания с номинальным напряжением питания 2,4 В. Для питания микроконтроллера от стандартного напряжения +5 В в состав микроконтроллера входит линейный регулятор напряжения (LDO) с выходным напряжением питания около 2 В и входным напряжением до 5.25 В.

Ток потребления микроконтроллеров при напряжении питания 2,5 В и максимальной частоте 50 МГц составляет всего 7,5 мА, а при напряжении питания 2,0 В и максимальной частоте 50 МГц составляет всего 5 мА. При снижении тактовой частоты потребление естественно снижается и при напряжении питания 2,0 В и тактовой частоте 32 кГц составляет всего 10 мкА.

Новое семейство микроконтроллеров C8051F41x имеет развитый интерфейс программирования и отладки C2 (модифицированный JTAG) и поддерживается фирменной оболочкой программирования и отладки SiLabs IDE и другими программными продуктами. Кроме того, выпускается ряд эволюционных комплектов для ускоренного изучения нового семейства.

Рабочий диапазон температур нового семейства: –40 to +85 °С.

Микроконтроллеры выпускаются в двух типах корпусов – 32-выводном LQFP и 28-выводном QFN (раньше применялось название MLN28).

Базовым микроконтроллером семейства является C8051F410, имеющий 32 Кбайта Flash памяти. Микроконтроллер C8051F412 отличается от базового только в два раза меньшим объемом Flash памяти программ / данных (16 Кбайт). Эти два микроконтроллера выпускаются в корпусе LQFP32 (см. рис.9).

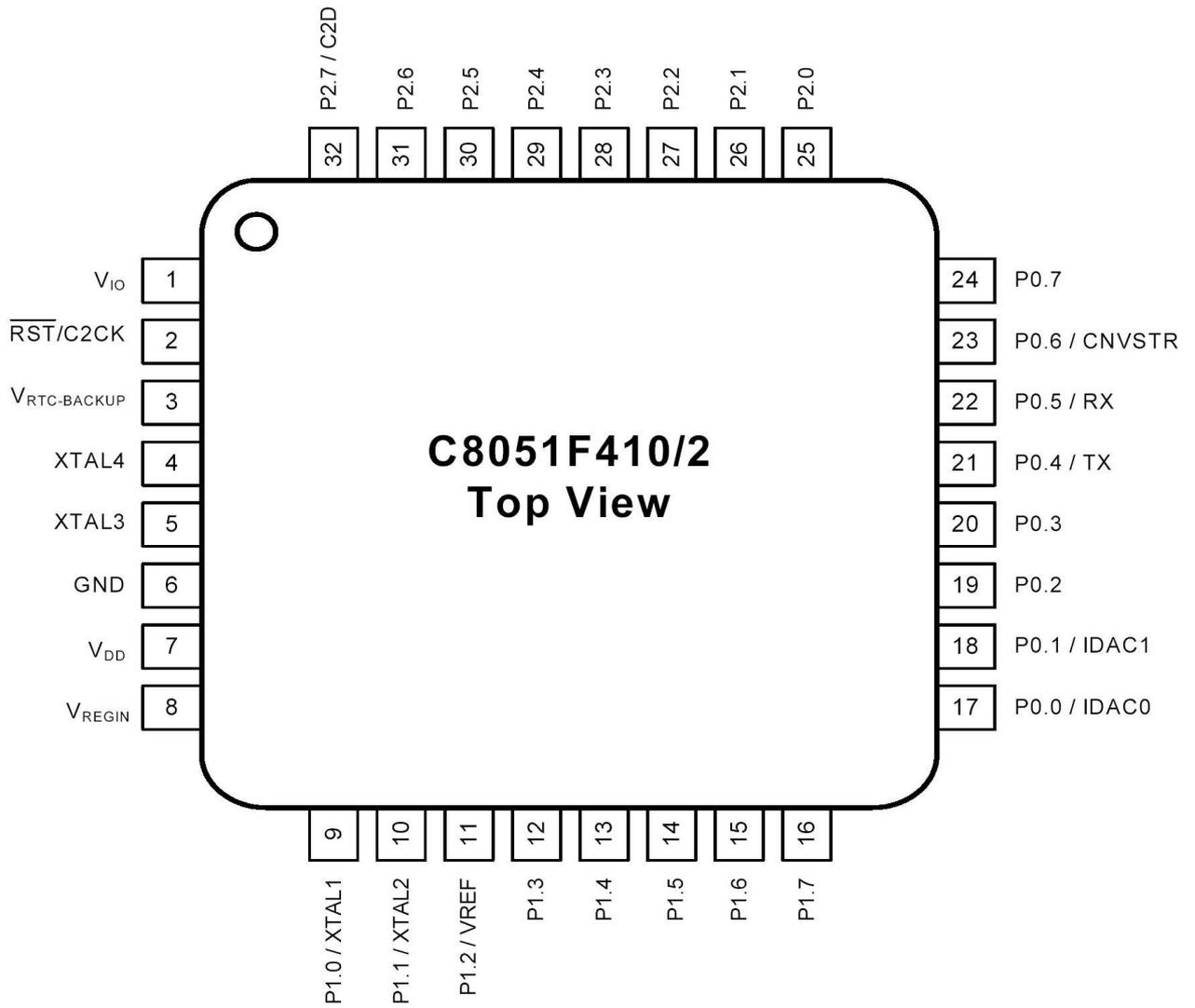


Рис.9.

Два других микроконтроллера C8051F411 и F413 выпускаются в корпусах QFN28 (см. рис.10), имеющих на 4 вывода меньше, причем микроконтроллер F411 имеет в 2 раза больше Flash памяти программ / данных (32 КБ), чем микроконтроллер F413 (16 КБ).

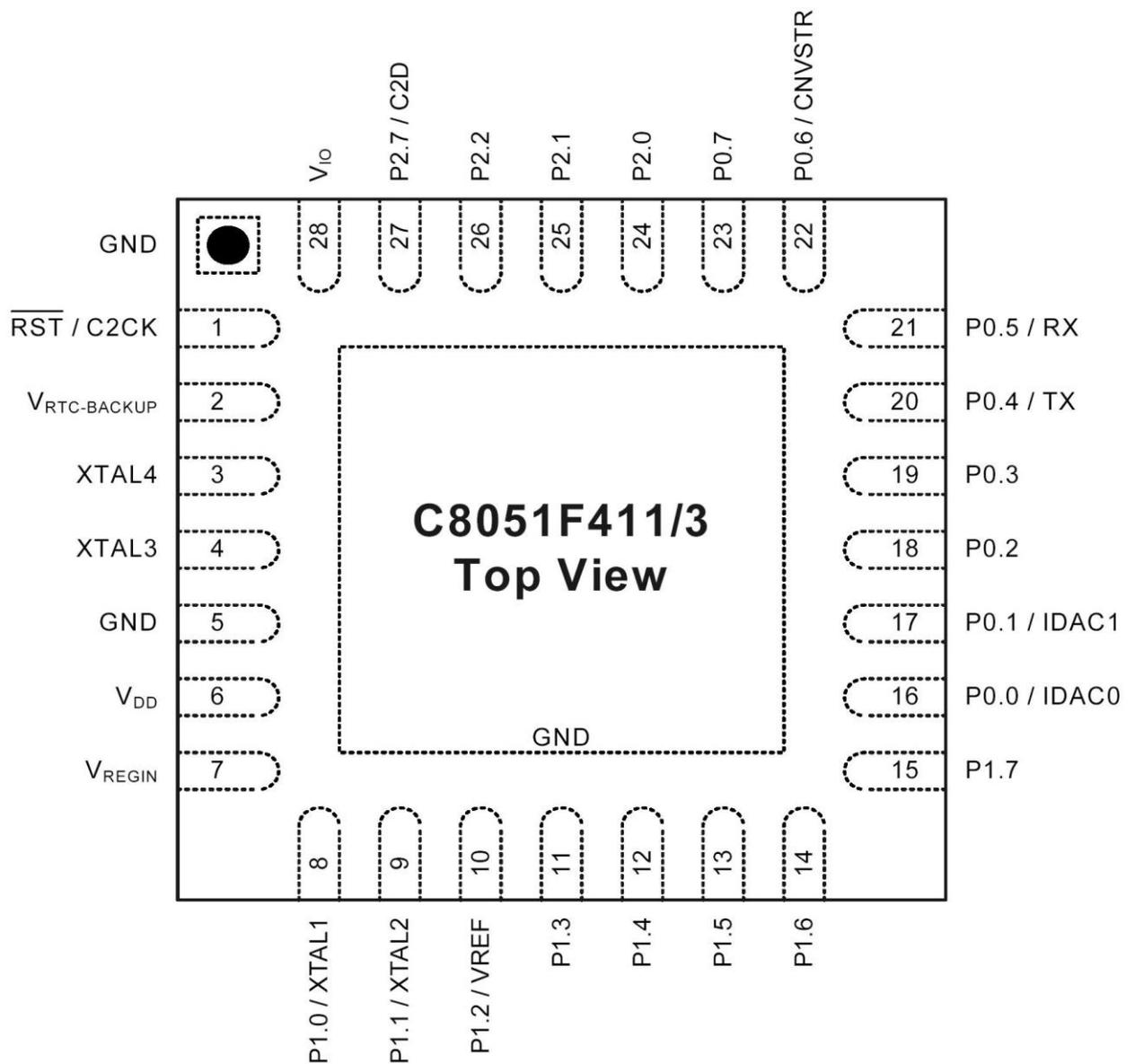


Рис.10.

Теперь рассмотрим основные особенности нового семейства.

Отметим, что несмотря на высокую насыщенность структуры периферийными узлами, микроконтроллеры семейства C8051F41x имеют одностороннюю SFR карту - регистров специальных функций (Special Function Registers). Напомним читателю основные понятия о SFR.

Известно, что практически все современные микроконтроллеры имеют так называемые SFR регистры – определенный массив регистров, через которые вычислительное ядро имеет доступ ко всем периферийным (по отношению к ядру) подсистемам микроконтроллера. Впервые SFR механизм доступа к периферийным подсистемам микроконтроллера был применен фирмой Intel при создании первых микроконтроллерных семейств iMCS-48 и iMCS-51. С тех пор прошло уже около 30 лет, предложенный механизм прижился, и стал «de facto» - стандартом в микроконтроллерной технике.

Напомним читателю, что стандартная карта SFR регистров микроконтроллера i8051 занимала 128 байт, расположенных в пространстве основной оперативной памяти по шестнадцатеричным адресам с 0x80 по 0xFF. Первоначально в SFR карте использовалось только незначительное количество регистров, например, в микроконтроллере i8051 – 22 регистра (17%), в AT89C52 – 27 регистров (21%), в AT89C2051 – 19 регистров (14%), в AT90S8515 – 45 регистров (35%). Ситуация значительно осложнилась с появлением современных мощных микроконтроллеров, в состав которых входит большое количество новых подсистем. Микроконтроллеры фирмы SiLabs являются классическим примером функционально насыщенных микроконтроллеров. Например, для самого маленького из микроконтроллеров семейства C8051F30x

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 SiLabs вынуждены были изменить размеры SFR карты и впервые применили механизм многостраничной SFR карты (SFR paging). На сегодняшний день многостраничную SFR карту имеют три самых мощных семейства (F04x, F06x, F12x). Суть этого механизма заключается в том, что вместо одной стандартной страницы SFR регистров с адресами 0x80-0xFF ядро микроконтроллера может поддерживать до 256 таких страниц. Переключение страниц возможно несколькими способами через специальные SFR регистры, доступные с любой из страниц. Недостатком такого механизма является необходимость выполнения дополнительных программных операций для переключения страниц, что, естественно увеличивает время выполнения программы на 1-2% по сравнению с временем выполнения без использования этого же механизма.

Микроконтроллеры семейства C8051F41x имеют очень большой объем SFR регистров – 125 регистров (98%). Однако, не смотря на это, разработчикам компании SiLabs удалось создать одностраничную SFR карту, что конечно является большим достижением.

Микроконтроллеры нового семейства имеют ряд новых оригинальных узлов.

Новые микроконтроллеры имеют четыре режима работы:

- Active (Активный режим) – нормальный режим работы микроконтроллера.
- Idle (Режим сохранения) – режим работы, когда вся периферия активна, тактовый генератор работает, и только ядро не имеет доступа к Flash памяти. Из этого режима микроконтроллер может быть выведен любым разрешенным прерыванием или сбросом.
- Suspend (Заторможенный режим) – режим работы, в котором периферия может быть частично активна (но не тактируется), а ядро и тактовый генератор заторможены. Из этого режима микроконтроллер может быть выведен определенным событием или сбросом.
- Stop (Режим останова) – все системы микроконтроллера остановлены. Из этого режима микроконтроллер может быть выведен внешним прерыванием или сбросом.

Новые микроконтроллеры имеют несколько измененный аналоговый мультиплексор для аналого-цифрового преобразователя ADC0. С одной стороны, он позволяет обеспечить коммутацию всех 24 линий ввода / вывода. С другой стороны, из режимов работы аналогового мультиплексора исключена возможность работы в дифференциальном режиме.

Источник опорного напряжения нового семейства также особенный. Впервые фирма SiLabs использовала в этом семействе программируемый источник опорного напряжения с двумя величинами напряжения: 1,5 или 2,2 В.

Еще одним новшеством является наличие встроенного регулятора напряжения, работающим до напряжения 5,25 В. Выходное напряжение регулятора управляется программно и может иметь значение 2,1 или 2,5 В. Имеется внешний вывод, позволяющий подключать фильтрующие конденсаторы и внешнюю нагрузку с потреблением до 50 мА.

Поскольку микроконтроллеры нового семейства C8051F41x могут работать на частотах до 50 МГц, в их состав введен новый узел двухбайтной предварительной выборки команд (2-byte Prefetch Engine).

Еще одно интересное новшество – аппаратный вычислитель циклического контрольного кода CRC (Cyclic Redundancy Check Unit). Этот узел позволяет вычислять контрольный код с использованием 16- или 32-битного полинома. Контрольный код может использоваться для контроля сохраняемых или передаваемых по различным интерфейсам данных.

Flash память программ / данных нового семейства сохраняет возможность к стиранию и записи при напряжениях не ниже 2,2 В. При этом, время стирания составляет около 20 мс, а время записи – 46 мкс. Гарантируется минимальное количество циклов стирания / записи – не менее 20 тысяч циклов, при этом типовое значение циклов стирания / записи составляет примерно 90 тысяч циклов.

Новые интересные возможности имеют и два порта ввода / вывода P0 и P1. В их структуру введены два дополнительных SFR регистра: регистра сравнения PxMAT (Port x Match Register) и регистр маски PxMASK (Port x Mask Register). При возникновении ситуации, когда (Px & PxMASK) does not equal (PxMAT & PxMASK) для портов 0 и 1 возникает событие, которое может служить причиной прерывания. Это событие может, например, использоваться для вывода микроконтроллера из заторможенного (SUSPEND) режима.

Узлы интерфейсов SMBus, SPI и UART практически не отличаются от аналогичных узлов других семейств микроконтроллеров фирмы SiLabs.

В заключение отметим, что новые USB микроконтроллеры семейства C8051F34x, согласно классификации, принятой компанией “Silicon Laboratories”, вошли в группу «*Микроконтроллеров с интерфейсом USB*», а микроконтроллеры семейства C8051F41x вошли в группу «*Малоразмерных микроконтроллеров*».

В рамках этой статьи мы рассмотрели основные особенности и параметры всех микроконтроллеров компании “Silicon Laboratories”, причем особое внимание было уделено новым микроконтроллерам нового поколения, выпуск которых начался в текущем году. Эти микроконтроллеры способны заменить многие устаревшие модели, обеспечив новым изделиям более широкие функциональные возможности и большую производительность.

#### **Литература:**

1. <http://www.silabs.com>
2. <http://www.silabs.ru>
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, №3,2004– №12,2005.
5. [http://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F326.pdf](http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F326.pdf)
6. [http://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F34x.pdf](http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F34x.pdf)
7. [http://www.silabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Small\\_Form\\_Factor/en/C8051F41x.pdf](http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Small_Form_Factor/en/C8051F41x.pdf)