

## НОВОЕ СЕМЕЙСТВО МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ F8051F35x ФИРМЫ SILICON LABORATORIES СО ВСТРОЕННЫМ 24-БИТНЫМ АЦП

Олег Николайчук  
[onic@ch.moldpac.md](mailto:onic@ch.moldpac.md)

Статья опубликована: Схемотехника, 2004, №9, с. 17-19

*Настоящая статья знакомит читателей с новым малоформатным семейством микроконтроллеров фирмы Silicon Laboratories (SiLabs), впервые оснащенный многоканальным 24-битным аналого-цифровым преобразователем. Приводятся состав встроенной периферии, основные характеристики, функциональная схема.*

В конце прошлого года было анонсировано еще одно новое семейство микроконтроллеров – C8051F35x [1]. Промышленный выпуск этого семейства начат с марта 2004 года. Семейство состоит из четырех микроконтроллеров, основные параметры которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

ТИП	Производительность пиковая, MIPS	Объем Flash памяти, Кбайт	Встроенная RAM, байт	Интерфейс SMBus (I2C)	Интерфейс SPI	Интерфейс UART	Таймеры (16 бит)	РСА с 3 модулями захвата	Линии ввода/вывода	Разрядность ADC (1 ksp/s)	Количество каналов ADC	Программируемый усилитель PGA 1x+128x	Температурный датчик	Количество 8-разрядных токовых DAC	Компараторы	Источник опорного напряжения	Калибруемый генератор 24,5 МГц	Корпус
C8051F350	50	8	256+512	√	√	√	4	√	17	24	8	√	√	2	1	√	√	LQFP32
C8051F351	50	8	256+512	√	√	√	4	√	17	24	4	√	√	2	1	√	√	MLP28
C8051F352	50	8	256+512	√	√	√	4	√	17	16	8	√	√	2	1	√	√	LQFP32
C8051F353	50	8	256+512	√	√	√	4	√	17	16	4	√	√	2	1	√	√	MLP28

Структура микроконтроллеров семейства F35x состоит из трех основных подсистем: аналоговой периферии, цифровой периферии и ядра.

Подсистема аналоговой периферии включает полностью 24-разрядный (для микроконтроллеров F350/351) или 16-разрядный (для микроконтроллеров F352/353) Δ-Σ аналого-цифровой преобразователь (ADC), не содержащий пропущенные коды и имеющий нелинейность 0,0015% (для F350/351). Быстродействие ADC составляет до 1 ksp/s. Перед аналого-цифровым преобразователем включен программируемый усилитель - PGA позволяющий устанавливать усиление входного сигнала в диапазоне от 1 до 128. Вход этого усилителя подключен к выходу аналогового мультиплексора (AMUX0), имеющего 8 или 4 входа для микроконтроллеров F350/352 и F351/353 соответственно. К еще одному внутреннему входу аналогового мультиплексора AMUX0 подключен температурный датчик с точностью ±3°C. Кроме этого, аналоговая подсистема имеет два 8-разрядных цифро-аналоговых преобразователя с токовыми выходами, стабильный встроенный источник опорного напряжения и один аналоговый компаратор с программируемой петлей гистерезиса и временем отклика.

Функциональная схема основного микроконтроллера семейства – C8051F350 показана на рис.1.

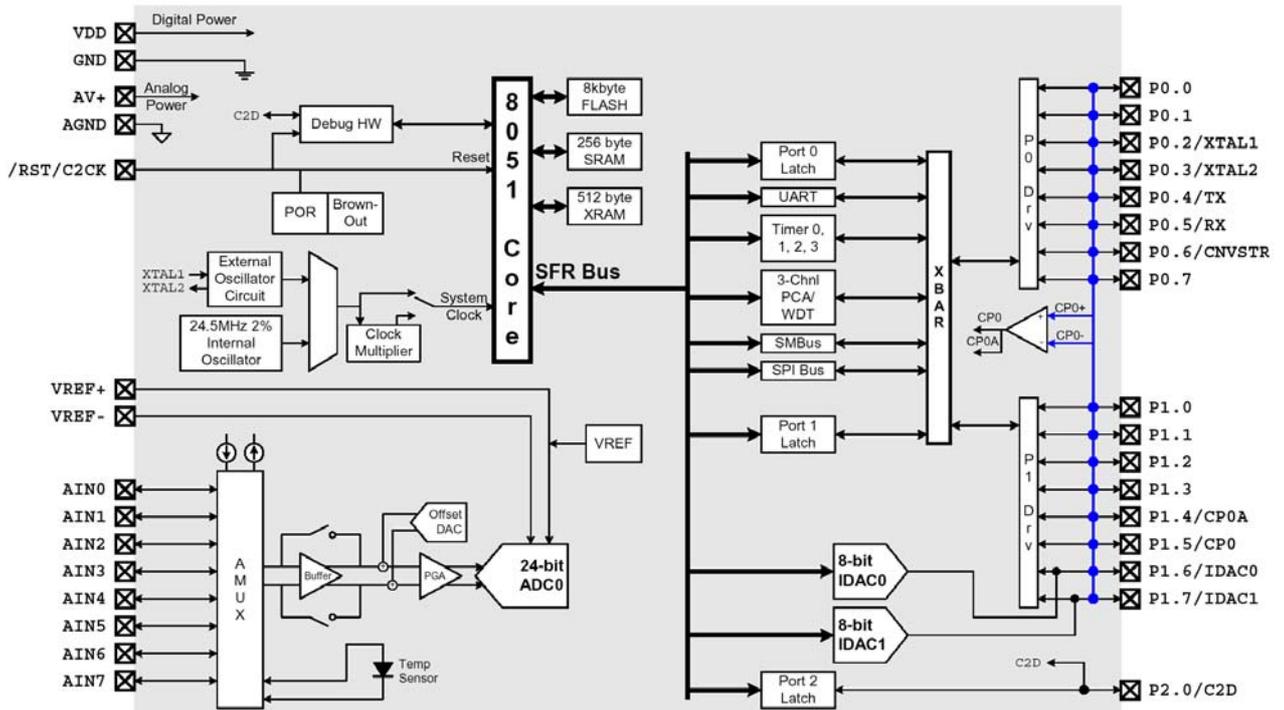


Рис.1. Функциональная схема основного микроконтроллера семейства – C8051F350

На рисунке показано, что в микроконтроллере C8051F350 входы аналогового мультиплексора AIN0:AIN7 имеют индивидуальные выходы, а входы аналогового компаратора могут быть ассоциированы со входами/выводами портов P0 и P1, причем неинвертирующий вход компаратора CP0+ может быть подключен только к четным входам этих портов, а инвертирующий вход компаратора CP0- может быть подключен только к нечетным входам. Аналогична функциональная схема и для микроконтроллера C8051F352. Микроконтроллеры C8051F351/353 отличаются от C8051F350/352 тем, что у них входы аналогового мультиплексора AIN0:AIN3 имеют индивидуальные выходы, а входы AIN4:AIN7 могут быть ассоциированы с младшей тетрадой линий ввода/вывода порта P1 (P10-P13). Микроконтроллеры C8051F350/351 имеют 24-битный аналого-цифровой преобразователь, а микроконтроллеры C8051F352/353 отличаются от тем, что у них аналого-цифровой преобразователь – 16-битный. Во всем остальном микроконтроллеры идентичны.

Подсистема цифровой периферии имеет стандартный набор интерфейсов: UART, расширенный SPI, SMBus, четыре 16-разрядных таймера общего назначения, 16-разрядный программируемый массив-счетчик PCA с тремя модулями захвата/сравнения, один из которых может быть использован в качестве таймера реального времени (RTC) при использовании внешнего тактового генератора, а также работать в режиме программируемого охранного таймера WDT.

Подсистема ядра содержит модифицированное ядро CIP-51 оснащенное оригинальным встроенным тактовым генератором, программируемым до частоты 24,5 МГц с точностью, обеспечивающей 2%-ую ошибку последовательного порта UART. Тактирование собственно вычислительного ядра производится от встроенного аппаратного умножителя частоты x2, так что тактовая частота ядра составляет примерно 50 МГц, и соответственно, пиковая производительность составляет около 50 MIPS. Конечно же, в микроконтроллерах имеется и тактовый генератор, обеспечивающий работу от внешнего кварцевого резонатора, RC цепочки, конденсатора или внешнего генератора. Как и у всех остальных семейств, переключение источников тактовой частоты и настройка частоты генераторов возможны «на лету», что очень удобно для приложений с критичным энергопотреблением. В обоих микроконтроллерах имеется 17 линий портов ввода/вывода, все совместимые с 5-вольтовым питанием. Микроконтроллеры имеют небольшую Flash память программ-данных объемом 8 К, а также встроенные основное оперативное устройство объемом 256 байт и дополнительное – объемом 512 байт.

Семейство микроконтроллеров F35x имеет расширенную встроенную подсистему отладки – программирования, оснащенную интерфейсом C2.

Семейство рассчитано на функционирование в диапазоне температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ .

Напряжение питания – от 2,7 В до 3,6 В, при этом на частоте 50 МГц микроконтроллеры потребляют не более 12 мА, а на частоте 32 кГц – всего 11 мкА. В режиме энергосбережения ток потребления не превышает 0,1 мкА.

Разводка выводов микроконтроллеров семейства F35x приведена в таблице 2.

Таблица 2

Наименование сигнала	Номер вывода		Тип сигнала	Описание
	F350 F352	F351 F353		
VDD	21	17	Power	Цифровое напряжение питания, должно быть от +2,7 В до +3,6 В
DGND	22	18	GND	Цифровая земля
AV+	10	6	Power	Аналоговое напряжение питания, должно быть от +2,7 В до +3,6 В
AGND	9	5	GND	Аналоговая земля
/RST	12	8	D I/O	Вход цифрового сброса. Выход с открытым истоком встроенного монитора сброса. Внешний источник может инициировать системный сброс подачей нулевого потенциала на этот вход как минимум на 15 мкс. Рекомендуется подтягивающий резистор на напряжение питания 1 К.
C2CK			D I/O	Тактирующий сигнал интерфейса программирования/отладки C2
P2.0	11	7	D I/O	Цифровой вход/выход - Port 2.0
C2D			D I/O	Двухнаправленный сигнал данных интерфейса программирования / отладки C2
P0.0	13	9	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 0.0 или аналоговый вход
P0.1	14	10	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 0.1 или аналоговый вход
P0.2	15	11	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 0.2 или аналоговый вход
XTAL1			A In	Аналоговый вход/выход внешнего кварцевого резонатора или RC цепочки
P0.3	16	12	D I/O	Цифровой вход/выход - Port 0.3
XTAL2			A I/O or D In	Аналоговый вход/выход внешнего кварцевого резонатора или RC цепочки или цифровой вход для внешнего генератора
P0.4	17	13	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 0.4 или аналоговый вход
P0.5	18	14	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 0.5 или аналоговый вход
P0.6	19	15	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 0.6 или аналоговый вход
CNVSTR			D In	Внешний вход запуска преобразования для токовых цифро-аналоговых преобразователей IDAC
P0.7	20	16	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 0.7 или аналоговый вход
P1.0	23	19	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 1.0 или аналоговый вход
AIN0.4			A In	Аналоговый вход канала 4 аналого-цифрового преобразователя ADC0 (только для C8051F351/3)

P1.1	24	20	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 1.1 или аналоговый вход
AIN0.5			A In	Аналоговый вход канала 5 аналого-цифрового преобразователя ADC0 (только для C8051F351/3)
P1.2	25	21	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 1.2 или аналоговый вход
AIN0.6			A In	Аналоговый вход канала 6 аналого-цифрового преобразователя ADC0 (только для C8051F351/3)
P1.3	26	22	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 1.3 или аналоговый вход
AIN0.7			A In	Аналоговый вход канала 7 аналого-цифрового преобразователя ADC0 (только для C8051F351/3)
P1.4	27	23	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 1.4 или аналоговый вход
P1.5	28	24	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 1.5 или аналоговый вход
P1.6	29	25	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 1.6 или аналоговый вход
IDAO			A Out	Аналоговый токовый выход IDAC0
P1.7	30	26	D I/O or A In	Цифровой вход/выход - Port 1.7 или аналоговый вход
IDA1			A Out	Аналоговый токовый выход IDAC1
AIN0.0	1	1	A In	Аналоговый вход канала 0 аналого-цифрового преобразователя ADC0
AIN0.1	2	2	A In	Аналоговый вход канала 1 аналого-цифрового преобразователя ADC0
AIN0.2	3	3	A In	Аналоговый вход канала 2 аналого-цифрового преобразователя ADC0
AIN0.3	4	4	A In	Аналоговый вход канала 3 аналого-цифрового преобразователя ADC0
AIN0.4	5	-	A In	Аналоговый вход канала 4 аналого-цифрового преобразователя ADC0 (только для C8051F350/2)
AIN0.5	6	-	A In	Аналоговый вход канала 5 аналого-цифрового преобразователя ADC0 (только для C8051F350/2)
AIN0.6	7	-	A In	Аналоговый вход канала 6 аналого-цифрового преобразователя ADC0 (только для C8051F350/2)
AIN0.7	8	-	A In	Аналоговый вход канала 7 аналого-цифрового преобразователя ADC0 (только для C8051F350/2)
VREF+	31	27	A I/O	Аналоговый вход/выход положительного опорного напряжения VREF
VREF-	32	28	A I/O	Аналоговый вход/выход отрицательного опорного напряжения VREF

Даже беглого взгляда на таблицу 2 и разводку выводов достаточно, чтобы осознать, что это семейство очень похоже на предыдущие малоформатные семейства F32x и F31x. Однако кроме некоторого сходства имеются достаточно значительные отличия.

Отметим основные особенности семейства C8051F35x.

- Ядро CIP-51 микроконтроллеров семейства C8051F35x работает на тактовой частоте до 50 МГц и развивает пиковую производительность до 50 MIPS (миллионов инструкций в секунду). Это позволяет производить достаточно сложные вычисления непосредственно в микроконтроллере, в том числе и с формате с плавающей запятой.
- В подсистему сброса добавлен источник сброса, анализирующий ошибки чтения, записи или стирания Flash памяти.
- Охранный таймер WDT выполнен не в виде отдельного автономного таймера, а в виде одного из режимов канала 2 программируемого массива/счетчика PCA.
- В микроконтроллер встроен прецизионный генератор, фабрично калиброванный на частоту 24,5 МГц  $\pm$  2%, а также фазовый множитель на 2, позволяющий получить их этой частоты 49 МГц, используемые в качестве источника тактовой частоты.
- Аналого-цифровой преобразователь ADC0 в рассматриваемом семействе имеет возможность внутрисхемной калибровки.
- Имеются также два независимых цифровых фильтра, которые могут быть настроены на частоту среза до 1 кГц.
- Встроенный источник опорного напряжения имеет напряжение 2,5 В.
- Могут быть использованы как встроенный, так и внешние дифференциальные источники опорного напряжения.
- Программируемый усилитель может обеспечивать усиление с коэффициентами 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 и 128.
- Аналоговый мультиплексор может назначать дифференциальные входы на 8 выводов.
- После мультиплексора могут быть подключены встроенные высокоомные или низкоомные буферные усилители, позволяющие подключать входы мультиплексора непосредственно к высокоомным или низкоомным датчикам.
- В микроконтроллере имеются два 8-разрядных цифро-аналоговых преобразователя с токовым выходом IDAC.
- Выходы цифро-аналоговых преобразователей IDAC могут быть использованы для корректировки напряжения смещения аналого-цифрового преобразователя.
- Поскольку максимальное быстродействие Flash памяти программ составляет 40 нс, а минимальное время выполнения команды составляет 20 нс, для согласования работы ядра CIP-51 с Flash памятью программ имеется узел предвыборки (Prefetch Engine), выбирающий за одно обращение к Flash памяти сразу два байта. Это позволяет избежать задержек при работе на линейных участках программы.
- Порты микроконтроллеров F35x имеют развитый механизм пропуска отдельных линий, что позволяет оптимизировать работу коммутатора ресурсов Crossbar.
- Последовательный порт UART микроконтроллеров семейства F35x имеет расширенный генератор скорости передачи, позволяющий назначать различные скорости на прием и передачу данных.

Конечно, кроме перечисленных достоинств микроконтроллеров семейства F35x, нельзя не отметить и ряд существенных недостатков:

1. Микроконтроллеры имеют довольно маленький объем Flash памяти программ, не позволяющий разместить в ней более-менее серьезные программы обработки данных.
2. Микроконтроллеры имеют достаточно малый объем встроенной оперативной памяти, затрудняющий создание серьезных программ обработки.
3. Встроенный генератор микроконтроллеров фабрично калибруется на частоту 24,5 МГц, однако при этой частоте UART обеспечивает работу на высоких скоростях (115200 байт/сек) с достаточно большой ошибкой – около 0,4 %. Это вынуждает разработчиков либо самостоятельно калибровать встроенный генератор на другую частоту, либо программно корректировать ошибки UART, либо использовать внешний кварцевый генератор.

Однако, не смотря на указанные недостатки, описываемое семейство микроконтроллеров, безусловно, является уникальным, т.к. содержит одновременно и встроенный 24-битный аналого-цифровой преобразователь с расширенными функциональными возможностями, и быстродействующее вычислительное ядро, работающее на частотах до 50 МГц, и ряд периферийных узлов и интерфейсов. Все это позволяет создавать на базе этого микроконтроллерного семейства необычайно мощные измерительные устройства.

**Литература:**

- 1 [https://www.mysilabs.com/public/documents/tpub\\_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision\\_Mixed-Signal/en/C8051F35x.pdf](https://www.mysilabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F35x.pdf)