

Новые семейства микроконтроллеров C8051F41x фирмы SiLabs с пониженным напряжением питания

Олег Николайчук
onic@inbox.ru

Схемотехника

Целью настоящей статьи является ознакомление читателей с последними достижениями фирмы Silicon Laboratories в области создания нового семейства микроконтроллеров C8051F41x с пониженным напряжением питания. В статье рассматриваются различия архитектур новых микроконтроллеров, приводятся различия в разводке корпусов, описываются основные системные особенности и новые узлы.

В начале марта 2006 года фирма Silicon Laboratories Inc., широко известная нашим читателям, как SiLabs, являющаяся мировым лидером в области разработки и производства высокоэффективных аналого-насыщенных микросхем смешанных сигналов, объявила о начале производства нового семейства микроконтроллеров C8051F41x [1] со сниженным напряжением питания и рядом новых оригинальных узлов. Основные параметры микроконтроллеров семейства C8051F41x приведены в таблице 1. Структура базового микроконтроллера семейства - C8051F410 показана на рисунке 1.

Таблица 1

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

Рассмотрим основные характеристики этого семейства микроконтроллеров.

Все микроконтроллеры семейства C8051F41x выполнены на базе модифицированного высокопроизводительного микроконтроллерного ядра CIP-51 фирмы SiLabs, полностью совместимого по набору инструкций со стандартным MCS-51™ ядром. Несомненно, важнейшим достоинством ядра CIP-51 является усовершенствованная конвейерная архитектура, которая позволяет значительно увеличить производительность по сравнению со стандартной x51-совместимой архитектурой. В микроконтроллерах со стандартной архитектурой (i8051) все инструкции, за исключением MUL и DIV, выполнялись за 12 или 24 машинных цикла. При этом максимальная тактовая частота для большинства x51-совместимых микроконтроллеров составляла 12-24 МГц, и лишь некоторые x51-совместимые микроконтроллеры могли работать на более высоких частотах. Модернизированное ядро CIP-51 выполняет 70% инструкций за один или два машинных цикла, и вообще не имеет инструкций, выполняющихся более чем за восемь машинных циклов. Как известно, производительность микроконтроллера прямо пропорциональна тактовой частоте, на которой работает ядро. Поэтому, ядро дополнено развитой встроенной системой из трех тактовых

генераторов и вспомогательных узлов. Первый высокоэффективный тактовый генератор фабрично калиброван на частоту 24,5 МГц. Второй тактовый генератор может работать или с внешним кварцевым резонатором, или с внешней RC цепочкой, или с одним внешним конденсатором, или с внешним генератором. К выходу одного из генераторов может подключаться аппаратный умножитель частоты, обеспечивающий синтез выходной частоты до 50 МГц. Конечно же, обеспечивается возможность оперативного программного переключения генераторов что называется «на лету». Аппаратный делитель частоты и коммутатор обеспечивают программный выбор тактовой частоты в диапазоне от 190 кГц до 50 МГц. При этом может развиваться пиковая (предельная) производительность до 50 MIPS - Million Instructions Per Second (миллионов инструкций в секунду). Ядро дополнено эффективным двухуровневым обработчиком прерываний, обрабатывающим до 18 внутренних и 2 внешних источников прерываний.

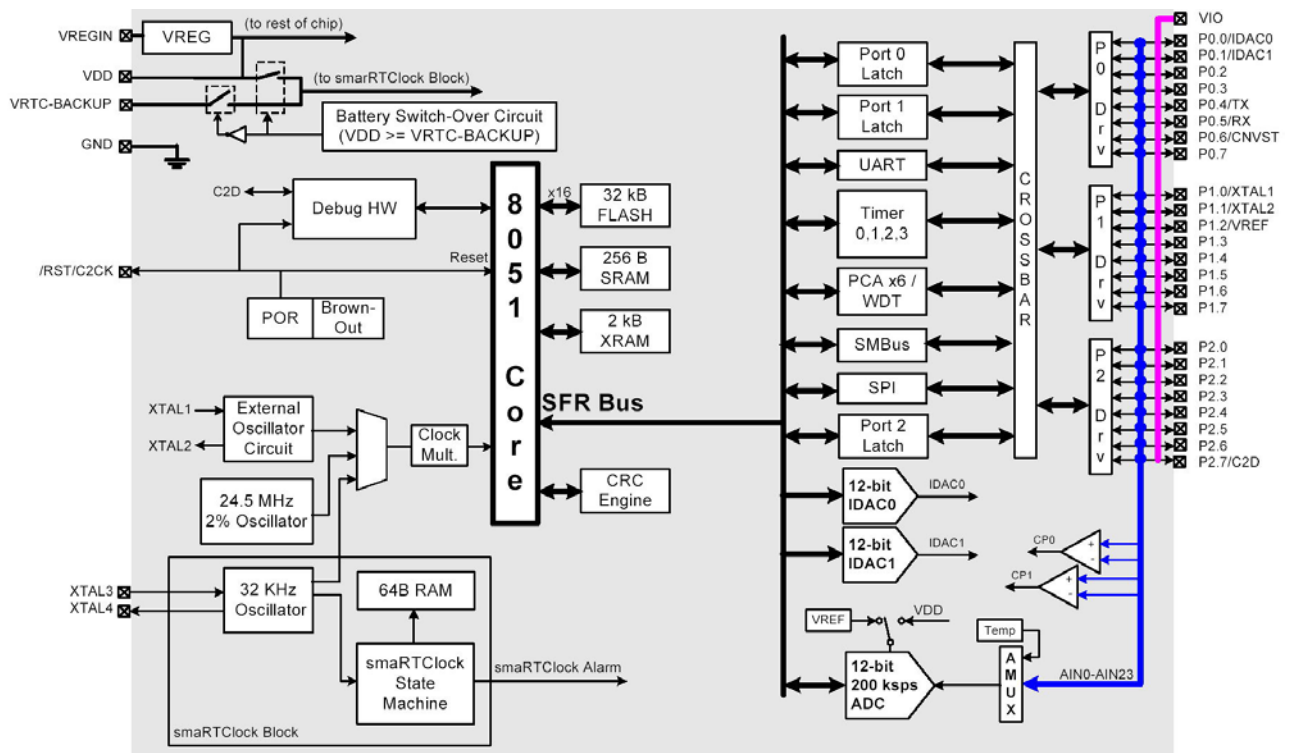


Рис.1. Структура базового микроконтроллера C8051F410

Микроконтроллеры семейства C8051F41x оснащаются 32 КБайтами (F410/F411) или 16 КБайтами (F412/F413) Flash памяти программ / данных, которую можно модифицировать непосредственно в ходе выполнения рабочей программы. Оперативная память имеет объем 2304 Бита (256 + 2048). Кроме этого, имеется 64 Бита оперативной памяти таймера реального времени (RTC) с сохранением информации от подзаряжаемой батареи.

Микроконтроллеры имеют по 3 полных восьмибитных порта ввода/вывода, т.е. по 24 линии ввода/вывода, совместимых с питанием +5 В.

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 Битами 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 двенадцатибитными 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.2).

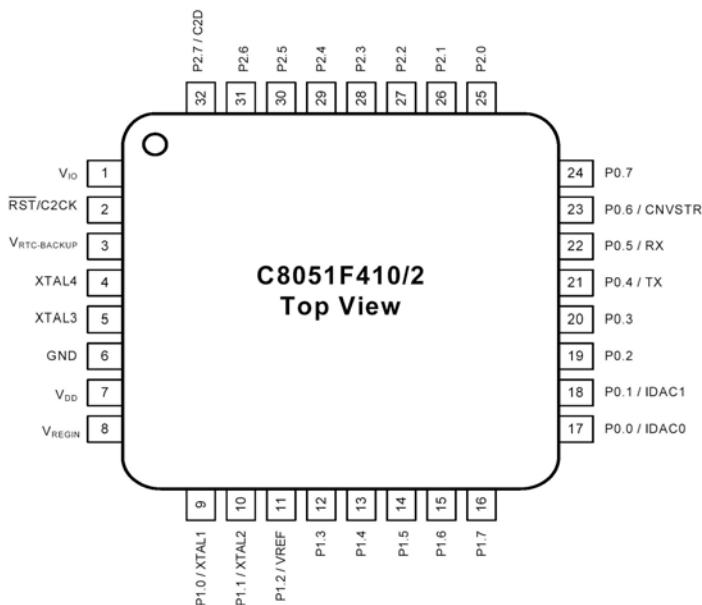


Рис.2. Разводка выводов микроконтроллеров C8051F410 и C8051F412 в корпусах LQFP32

Два других микроконтроллера C8051F411 и F413 выпускаются в корпусах QFN28 (см. рис.3), имеющих на 4 вывода меньше, причем микроконтроллер F411 имеет в 2 раза больше Flash памяти программ / данных (32 КБ), чем микроконтроллер F413 (16 КБ).

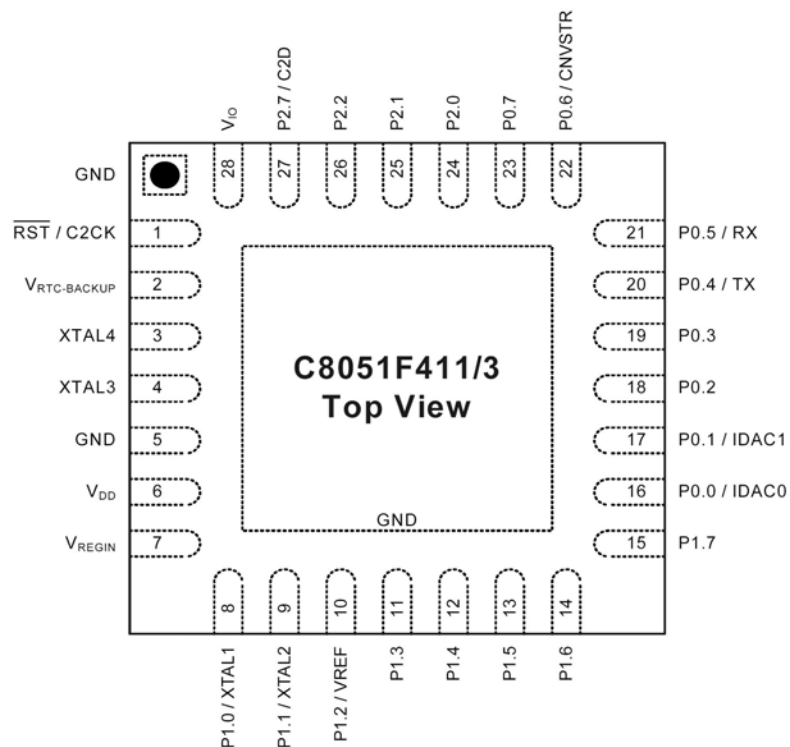


Рис.3. Разводка выводов микроконтроллеров C8051F411 и C8051F413 в корпусах QFN28

В таблице 2 приведено назначение выводов микроконтроллеров семейства C8051F41x.

Таблица 2

Имя вывода	Номер вывода		Тип вывода	Описание
	F410, F412	F411, F413		
Vdd	7	6		Напряжение питания ядра
Vio	1	28		Напряжение питания портов ввода / вывода
GND	6	5		Общий питания (Земля)
V _{RTC BACKUP}	3	2		Напряжение питания таймера реального времени (Батарея)
V _{REGIN}	8	7		Встроенный регулятор напряжения
RST/	2	1	Цифровой вход/выход	Вход сброса микроконтроллера и выход с открытым стоком. Внешний источник сброса должен обеспечивать перевод входа RST/ в нулевое состояние как минимум на 15 мкс. Рекомендуется подтягивающий резистор величиной в 1 кОм.
C2CK			Цифровой вход	Тактовый вход интерфейса отладки C2
P2.7	32	27	Цифровой вход/выход	Линия входа/выхода порта P2.7
C2D			Цифровой вход/выход	Двухнаправленная линия ввода / вывода данных интерфейса отладки C2
XTAL3	5	4	Аналоговый вход	Аналоговый вход кварцевого резонатора таймера реального времени RTC
XTAL4	4	3	Аналоговый выход	Аналоговый выход кварцевого резонатора таймера реального времени RTC
P0.0	17	16	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P0.0 или аналоговый вход
IDAC0			Аналоговый выход	Аналоговый выход цифро-аналогового токового преобразователя IDAC0
P0.1	18	17	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P0.1 или аналоговый вход
IDAC1			Аналоговый выход	Аналоговый выход цифро-аналогового токового преобразователя IDAC1
P0.2	19	18	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P0.2 или аналоговый вход
P0.3	20	19	Цифровой вход/выход или	Линия входа/выхода порта P0.3 или аналоговый вход

			аналоговый вход	
P0.4	21	20	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P0.4 или аналоговый вход
TX			Цифровой выход	Выходная линия данных TX интерфейса UART
P0.5	21	20	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P0.5 или аналоговый вход
RX			Цифровой вход	Входная линия данных RX интерфейса UART
P0.6	23	22	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P0.6 или аналоговый вход
CNVSTR			Аналоговый вход	Входная линия запуска ADC0 или IDAC0 или IDAC1
P0.7	24	23	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P0.7 или аналоговый вход
P1.0	10	9	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P1.0 или аналоговый вход
XTAL1			Аналоговый вход	Аналоговый вход кварцевого резонатора тактового генератора
P1.1	10	9	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P1.1 или аналоговый вход
XTAL2			Аналоговый выход или цифровой вход	Аналоговый выход кварцевого резонатора тактового генератора или цифровой вход внешнего CMOS генератора, конденсатора или времязадающей RC цепочки
P1.2	11	10	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P1.2 или аналоговый вход
V _{REF}			Аналоговый вход	Аналоговый вход источника опорного напряжения
P1.3	12	11	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P1.3 или аналоговый вход
P1.4	13	12	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P1.4 или аналоговый вход
P1.5	14	13	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P1.5 или аналоговый вход
P1.6	15	14	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P1.6 или аналоговый вход
P1.7	16	15	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P1.7 или аналоговый вход
P2.0	25	24	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P2.0 или аналоговый вход
P2.1	26	25	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P2.1 или аналоговый вход
P2.2	27	26	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P2.2 или аналоговый вход
P2.3 только F410/412	28	-	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P2.3 или аналоговый вход
P2.4 только F410/412	29	-	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P2.4 или аналоговый вход
P2.5 только F410/412	30	-	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P2.5 или аналоговый вход
P2.6 только F410/412	31	-	Цифровой вход/выход или аналоговый вход	Линия входа/выхода порта P2.6 или аналоговый вход

Теперь рассмотрим основные особенности нового семейства.

Отметим, что несмотря на высокую насыщенность структуры периферийными узлами, микроконтроллеры семейства C8051F41x имеют одностраничную 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 фирмы SiLabs удалось создать одностраничную SFR карту (см. таблицу 3), что конечно является большим достижением.

Таблица 3

Начальный адрес строки	Младший полубайт адреса SFR регистра							
	x0 (x8) Бит адресуемые регистры	x1 (x9)	x2 (xA)	x3 (xB)	x4 (xC)	x5 (xD)	x6 (xE)	x7 (xF)
F8	SPI0CN	PCA0L	PCA0H	PCA0CPL0	PCA0CPH0	PCA0CPL4	PCA0CPH4	VDM0CN
F0	B	P0MDIN	P1MDIN	P2MDIN	IDA1L	IDA1H	EIP1	EIP2
E8	ADC0CN	PCA0CPL1	PCA0CPH1	PCA0CPL2	PCA0CPH2	PCA0CPL3	PCA0CPH3	RSTSRC
E0	ACC	XBR0	XBR1	PFE0CN	IT01CF	-	EIE1	EIE2
D8	PCA0CN	PCA0MD	PCA0CPM0	PCA0CPM1	PCA0CPM2	PCA0CPM3	PCA0CPM4	CRC0FLIP
D0	PSW	REF0CN	PCA0CPL5	PCA0CPH5	P0SKIP	P1SKIP	P2SKIP	P0MAT
C8	TMR2CN	REG0CN	TMR2RLL	TMR2RLH	TMR2L	TMR2H	PCA0CPM5	P1MAT
C0	SMB0CN	SMB0CF	SMB0DAT	ADC0GTL	ADC0GTH	ADC0LTL	ADC0LTH	P0MASK
B8	IP	IDA0CN	ADC0TK	ADC0MX	ADC0CF	ADC0L	ADC0H	P1MASK
B0	P0ODEN	OSCXCN	OSCI CN	OSCI CL	-	IDA1CN	FLSCL	FLKEY
A8	IE	CLKSEL	EMI0CN	CLKMUL	RTC0ADR	RTC0DAT	RTC0KEY	ONESHOT
A0	P2	SPI0CFG	SPI0CKR	SPI0DAT	P0MDOUT	P1MDOUT	P2MDOUT	-
98	SCON0	SBUF0	CPT1CN	CPT0CN	CPT1MD	CPT0MD	CPT1MX	CPT0MX
90	P1	TMR3CN	TMR3RLL	TMP3RLH	TMR3L	TMR3H	IDA0L	IDA0H
88	TCON	TMOD	TL0	TL1	TH0	TH1	CKCON	PSCTL
80	P0	SP	DPL	DPH	CRC0CN	CRC0IN	CRC0DAT	PCON

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 новое семейство C8051F41x содержит мощные перспективные аналого-насыщенные микроконтроллеры, которые несомненно понравятся разработчикам.

Литература:

1. http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Small_Form_Factor/en/C8051F41x.pdf