

Новые компоненты SiLabs для 8-разрядных встраиваемых систем

Михаил РОДИОНОВ
info@electrosnab.ru

Компания Silicon Laboratories была основана в 1996 году и за время своего существования выпустила несколько серий микроконтроллеров с развитой высокоточной аналоговой периферией. Успешному продвижению ее продукции на рынке во многом способствуют КМОП-технологии собственной разработки, использование которых позволяет обеспечить уникальное сочетание качественных показателей (высокая производительность, малое энергопотребление, миниатюрное исполнение, реализация на одном кристалле аналоговых и цифровых модулей).

Особое внимание компания Silicon Laboratories уделяет поддержке разработчиков 8-разрядных встраиваемых систем. Выпускаемые ею недорогие 8051-совместимые микроконтроллеры являются одними из лучших в своем классе по производительности (до 100 MIPS) и набору встроенной периферии. Интерфейсные ИС производства SiLabs (встраиваемые телефонные и ADSL-модемы, проводные и беспроводные интерфейсы, преобразователи интерфейсов, GSM/GPRS-трансиверы, спутниковые тюнеры и др.) отличаются крайне высоким уровнем интеграции, требуют небольшого количества внешних компонентов и позволяют с минимальными затратами добавлять в систему самые современные функции. Огромный опыт, накопленный в области разработки 8-разрядных приложений, и уникальные возможности ИС SiLabs позволяют производителям электронной техники

в сжатые сроки создавать на их основе устройства с превосходными техническими характеристиками и невысокой стоимостью. В начале 2006 года компания Silicon Laboratories сообщила о появлении в этом сегменте рынка новых компонентов, массовое производство которых либо уже освоено, либо планируется освоить в самое ближайшее время. В настоящей статье вниманию читателей предлагается информация об этих новых изделиях, их структуре, основных параметрах и особенностях функционирования.

Ethernet-контроллеры CP2200/1

ИС CP220x представляют собой малогабаритные однокристалльные IEEE802.3 10-BaseT Ethernet-контроллеры и предназначены для интеграции Ethernet-интерфейса в различные системы. Данные ИС реализуют функции MAC- и PHY-уровней стека сетевых про-

токолов и обеспечивают доступ к Ethernet-сетям любым микроконтроллерам или хост-устройствам, имеющим не менее 11 свободных линий ввода-вывода. CP2200 выпускается в 48-выводном корпусе типа TQFP размером 9×9 мм. CP2201 отличается от него типом корпуса (28-выводный QFN размером 5×5 мм), реализацией драйвера светодиодов (см. ниже) и невозможностью поддержки мультитиплексированного режима взаимодействия с внешней хост-системой. В остальном эти ИС идентичны, поэтому далее рассмотрим только контроллер CP2200, структурная схема которого представлена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, CP2200 содержит параллельный хост-интерфейс, энергонезависимую память типа Flash EEPROM объемом 8 кбайт, 2-килобайтный буфер передачи, 4-килобайтный буфер приема типа FIFO, Ethernet-контроллеры MAC- и PHY-уровней, а также тактовый генератор и драйвер светодиодов.

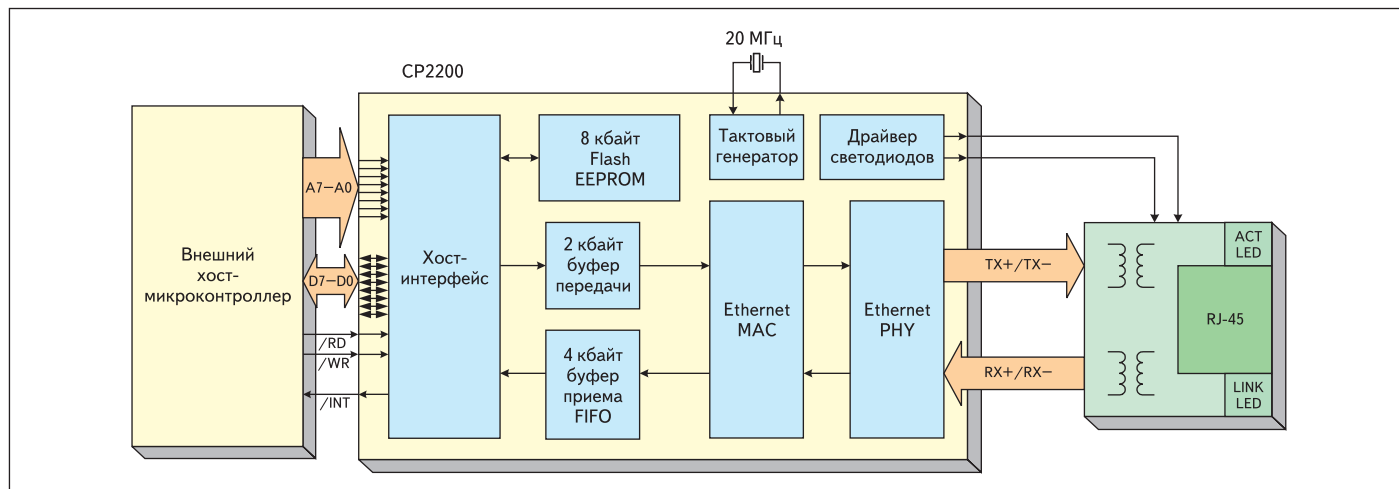


Рис. 1. Структурная схема CP2200

Модуль параллельного хост-интерфейса позволяет передавать данные со скоростью до 30 Мбит/с, работает с шинами формата Intel (Motorola) и поддерживает 8-разрядные (мультиплексированный и немультимплексированный) режимы взаимодействия с внешней хост-системой. Данный модуль обеспечивает доступ к регистрам специального назначения, посредством которых осуществляются прием и передача данных, а также управление функционированием и контроль состояния всех модулей CP2200. Кроме того, хост-интерфейс способен генерировать сигнал прерывания, который может «пробуждать» хост-процессор из режима «сна» при получении пакетов или при подключении CP2200 к сети (Wake-on-LAN). В общей сложности поддерживается 14 событий, которые могут вызывать прерывание. Если хост-процессор не имеет отдельного вывода для подключения сигнала прерывания, то он может периодически опрашивать регистры состояния прерываний CP2200 с целью обнаружения соответствующих событий.

Передача данных через сеть Ethernet осуществляется с помощью буфера передачи объемом 2 кбайта. CP2200 обеспечивает очень простой интерфейс передачи Ethernet-пакетов, требующий от хост-системы загрузить в буфер передачи лишь MAC-адреса отправителя и получателя пакета (по 6 байт каждый), длину и тип пакета (2 байта) и данные (46–1500 байт). Формирование всех остальных полей пакета в соответствии со спецификацией IEEE 802.3 (преамбула, признак начального фрейма, контрольная сумма CRC), а также дополнение поля данных нулями (при необходимости) осуществляется автоматически.

Интерфейс приема Ethernet-данных кроме буфера приема FIFO объемом 4 кбайта содержит также буфер быстрого преобразования адресов (TBL), приемный фильтр и хэш-таблицу. Буфер TBL состоит из 8 записей, каждая из которых содержит начальный адрес (в буфере приема), длину и другую информацию (тип, признаки ошибки CRC, неполного пакета и др.) для одного полученного пакета, то есть в буфере приема может находиться до 8 пакетов данных одновременно. Приемный фильтр и хэш-таблица позволяют настроить CP2200 таким образом, чтобы в процессе приема нежелательные пакеты отбрасывались автоматически. Приемный фильтр отбрасывает пакеты по их типу, однако поддерживаются не все типы пакетов (только широковещательные, групповые пакеты, пакеты с ошибкой CRC и неполные — длиной менее 64 байт). Поэтому в CP2200 реализована возможность произвольного доступа к данным в буфере приема, что позволяет хост-процессору прочитать определенные байты принятого пакета и решить, стоит ли копировать весь пакет данных в память хост-системы. С помощью хэш-таблицы можно установить диапазон MAC-адресов, которые будут разрешены для записи в буфер приема; пакеты с адресами, не попадаю-

щими в установленный диапазон, будут отбрасываться.

Среди других функций Ethernet-интерфейса, реализуемых встроенными контроллерами PHY- и MAC-уровней автоматически, следует выделить следующие:

- расширение коротких пакетов до минимальной длины;
- вычисление и проверка контрольной суммы (CRC);
- проверка длины пакета;
- полная совместимость со стандартами 100/1000 Base-T;
- поддержка стандартов Plug-and-Play (auto-negotiations, auto-polarity);
- дуплексный и полудуплексный режимы работы;
- обнаружение коллизий с автоматическим повтором передачи;
- тестирование и отладка в режиме возвратной петли (возможны два режима: с замыканием канала передачи на PHY-уровне или на MAC-уровне);
- проверка наличия связи с сетью;
- обнаружение и подавление шумов на приеме;
- отсеивание некорректных пакетов при передаче.

Следует также отметить, что буферы приема и передачи Ethernet-интерфейса отображены в одном и том же диапазоне адресного пространства и обращение к ним осуществляется с помощью одного и того же указателя адреса, однако регистры данных (для операций чтения-записи) используются различные.

Кроме буферов приема и передачи в CP2200 имеется еще один блок памяти — встроенная Flash-память объемом 8 кбайт. Она размещена в отдельном адресном пространстве и доступ к ней осуществляется с помощью собственных указателя адреса и регистра данных. Эта память может использоваться для хранения пользовательских констант, контента веб-сервера, а также в качестве энергонезависимой памяти общего назначения. При изготовлении ИС в последние шесть ячеек этой памяти на заводе записывается уникальный 48-разрядный MAC-адрес, что в большинстве случаев позволяет не присваивать серийные номера разрабатываемым устройствам. Flash-память стирается 512-байтными секторами и программируется побайтно. Управление операциями записи-стирания Flash-памяти осуществляется автоматически аппаратными средствами и не препятствует работе параллельного хост-интерфейса. Хост-система уведомляется об окончании операций доступа к Flash-памяти с помощью прерываний.

Для тактирования CP2200 может использоваться либо встроенный тактовый генератор (в этом случае необходимо подключить внешний кварцевый резонатор 20 МГц), либо внешний сигнал тактирования. При исчезновении по каким-либо причинам тактовых импульсов будет сгенерирован сигнал сброса длительностью около 1 мс, в том числе

на внешнем выводе /RST, который можно использовать для сброса внешних модулей. Сигнал сброса генерируется также при исчезновении напряжения питания или снижении его пороговую величину.

Для поддержки приложений, предъявляющих повышенные требования к экономии энергии, в CP2200 реализованы четыре режима электропитания:

- Нормальный режим питания — в этом режиме все модули включены и CP2200 полностью сохраняет свою функциональность.
- Режим ожидания подключения к сети — в этом режиме передатчик отключен. Наиболее целесообразно использовать данный режим при реализации функции Wake-on-LAN.
- Режим поддержки памяти — в этом режиме возможен доступ к Flash-памяти, а также к буферам приема и передачи, однако передатчик и приемник Ethernet-интерфейса отключены.
- Режим останова — в этом режиме все модули CP2200 отключены, тактовый генератор остановлен. Данный режим характеризуется наименьшим энергопотреблением. Выйти из режима останова можно только по сигналу сброса.

С целью дополнительного уменьшения энергопотребления можно также отключить монитор питания, «подтгивающие» резисторы и драйвер светодиодов.

Реализация драйвера светодиодов различна для CP2200 и CP2201. Драйвер светодиодов CP2200 поддерживает два отдельных выхода (сигналы LINK и ACT), каждый из которых обеспечивает выходной ток до 10 мА и имеет два устойчивых состояния («горит», «не горит»). Драйвер светодиодов CP2201 поддерживает только один выход; подключенный к нему светодиод загорается при наличии подключения к сети (LINK) и мигает при приеме-передаче пакетов данных (ACT).

В заключение приводим типовые схемы включения Ethernet-контроллеров CP2200/1, рекомендуемые компанией Silicon Laboratories (рис. 2, 3). Как можно заметить, используется минимальное количество внешних компонентов, которые никак нельзя назвать дорогими и дефицитными. Учитывая этот факт, невысокую стоимость CP2200/1, а также наличие серьезной программной поддержки со стороны производителя (бесплатный стек TCP/IP с драйверами устройств, программный мастер TCP/IP Configuration Wizard, ПО для диагностики аппаратных ресурсов с примерами программного кода), можно с уверенностью сказать, что использование данных контроллеров позволит производителям электронной техники существенно упростить и ускорить процесс разработки устройств с Ethernet-интерфейсом, обеспечив при этом минимальные размеры и стоимость конечных изделий.

Ethernet-контроллеры CP2200/1 могут использоваться для решения самых разнообразных задач — от создания простейших

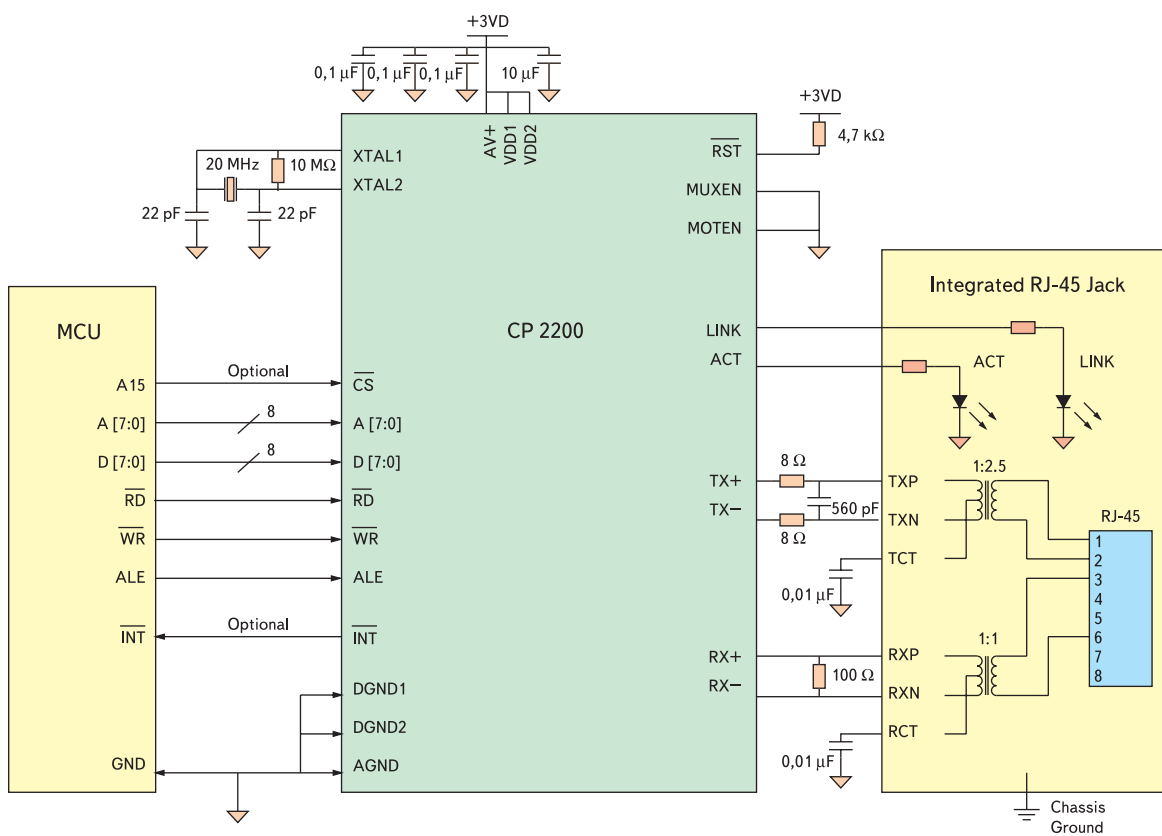


Рис. 2. Типовая схема включения CP2200

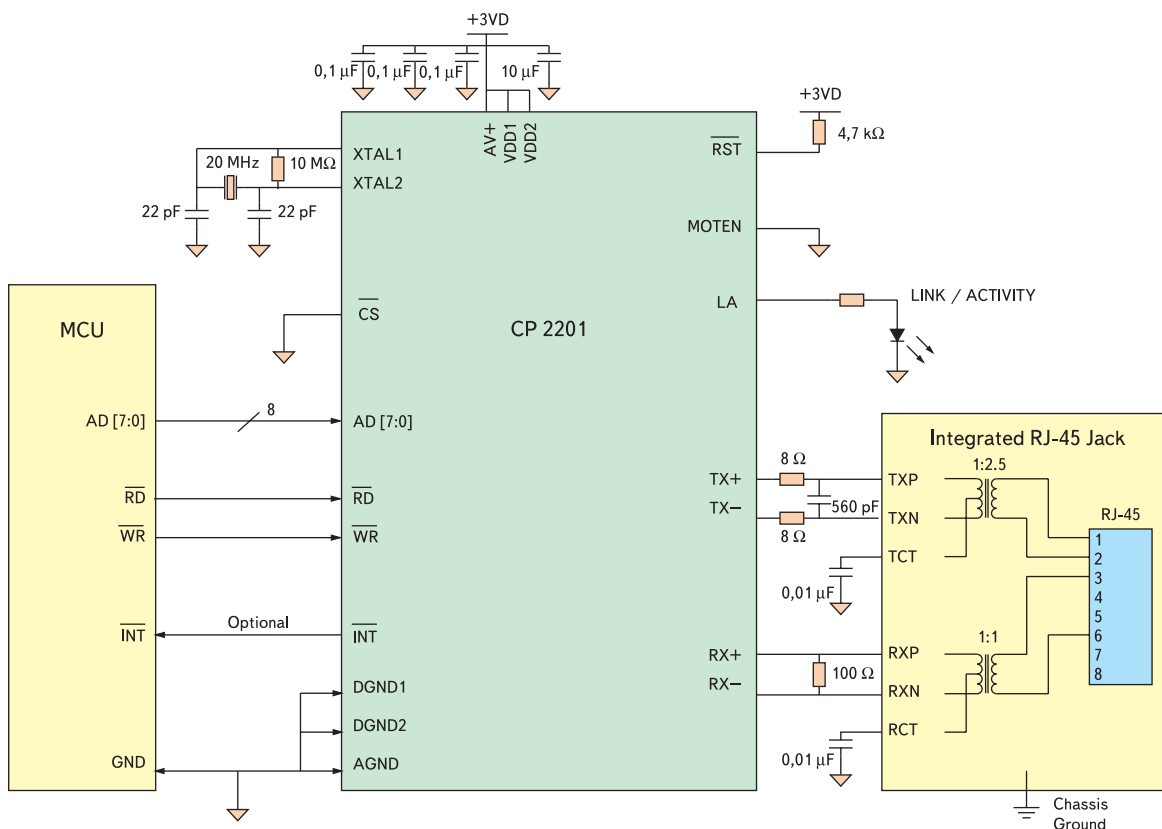


Рис. 3. Типовая схема включения CP2201

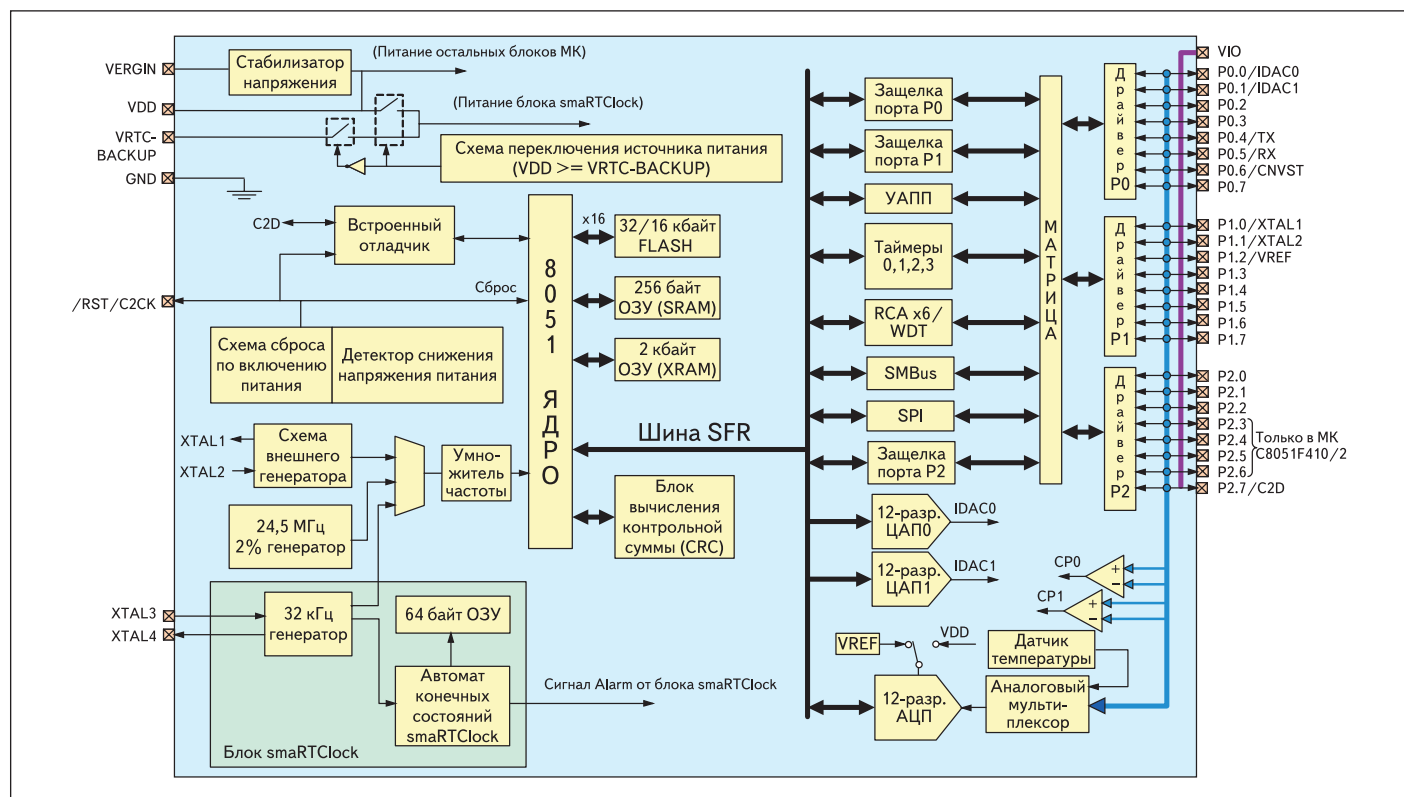


Рис. 4. Структурная схема МК семейства C8051F41x

преобразователей интерфейсов (например, Ethernet/UART) до разработки сложнейших систем управления технологическими и производственными процессами. Данные ИС представляют собой универсальное решение, которое позволяет быстро подключить к сети Ethernet практически любое устройство (удаленные датчики, управляющие механизмы, телефонные интерфейсы, торговые терминалы и т. п.), и по соотношению цена-качество занимают одно из лидирующих положений в своем сегменте рынка.

Для оценки возможностей CP220x выпускается недорогой оценочный комплект CP2201EK. Этот комплект содержит демонстрационные программы удаленного измерения температуры и яркости с просмотром результата в веб-браузере, поддерживается отправка сообщений по электронной почте. Комплект CP2201EK не позволяет производить разработку собственных приложений. Для этой цели компания Silicon Laboratories предлагает набор средств разработки EthernetDK, в состав которого входят программно-инструментальные средства для разработки собственных приложений на базе Ethernet-контроллеров CP220x.

Микроконтроллеры семейства C8051F41x

Новое семейство миниатюрных микроконтроллеров (МК) C8051F41x является продолжением линейки 8051-совместимых МК компании Silicon Laboratories и состоит из 4 устройств, которые отличаются друг от друга

объемом встроенной Flash-памяти, количеством портов ввода-вывода и типом корпуса (LQFP-32 или QFN-28). Структурная схема данных МК представлена на рис. 4. Большинство встроенных периферийных модулей уже знакомы разработчикам, имеющим опыт работы с другими МК компании Silicon Laboratories, поэтому ограничимся здесь лишь их перечислением:

- Высокопроизводительное (до 50 MIPS) ядро ЦПУ с конвейерной организацией, поддерживающее 18 источников прерываний.
- Встроенный отладчик, обеспечивающий «неразрушающую» внутрисистемную отладку в режиме реального времени.
- 12-разрядный АЦП:
 - нелинейность ± 1 МЗР;
 - программируемая производительность (до 200 тыс. преобразований в секунду);
 - 24-канальный (C8051F410/2) или 20-канальный (C8051F411/3) входной мультиплексор;
 - детектор диапазона, генерирующий прерывание при выходе измеряемого сигнала за установленные рамки;
 - встроенный датчик температуры (± 3 °C).
- Внутренний источник опорного напряжения.
- Два 12-разрядных ЦАП с токовым выходом.
- Два компаратора напряжения.
- Прецизионный программируемый внутренний генератор 24,5 МГц.
- Умножитель частоты.
- Внутренняя Flash-память объемом 32 кбайта (C8051F410/1) или 16 кбайт (C8051F412/3).

- Внутреннее ОЗУ объемом 2304 байт.
- Последовательные интерфейсы SMBus/I²S, UART и SPI.
- Четыре 16-разрядных таймера общего назначения.
- Программируемый массив счетчиков с шестью модулями захвата-сравнения и функцией сторожевого таймера.
- Схема сброса по включению питания.
- Монитор питания.
- Внутренний стабилизатор напряжения питания.
- 24 (C8051F410/2) или 20 (C8051F411/3) портов ввода-вывода, совместимых с 5-вольтовой логикой.
- Коммутирующая матрица.

Все эти модули уже встречались в МК SiLabs предыдущих серий. Описание их структуры, особенностей их функционирования и управления ими посвящено немало публикаций в отечественных изданиях и Интернете [1–4]. Кроме того, в Интернете доступны русскоязычные версии Datasheet на МК более ранних семейств компании Silicon Laboratories [5]. В них можно найти наиболее полную и точную информацию, касающуюся функционирования всех этих модулей. В данной статье более подробно рассмотрим модули, которые впервые появились в структуре МК компании Silicon Laboratories — модуль SmartClock и модуль аппаратного вычисления контрольной суммы.

SmartClock представляет собой аппаратно реализованный модуль RTC (Real Time Clock — часы реального времени). Структурная схема

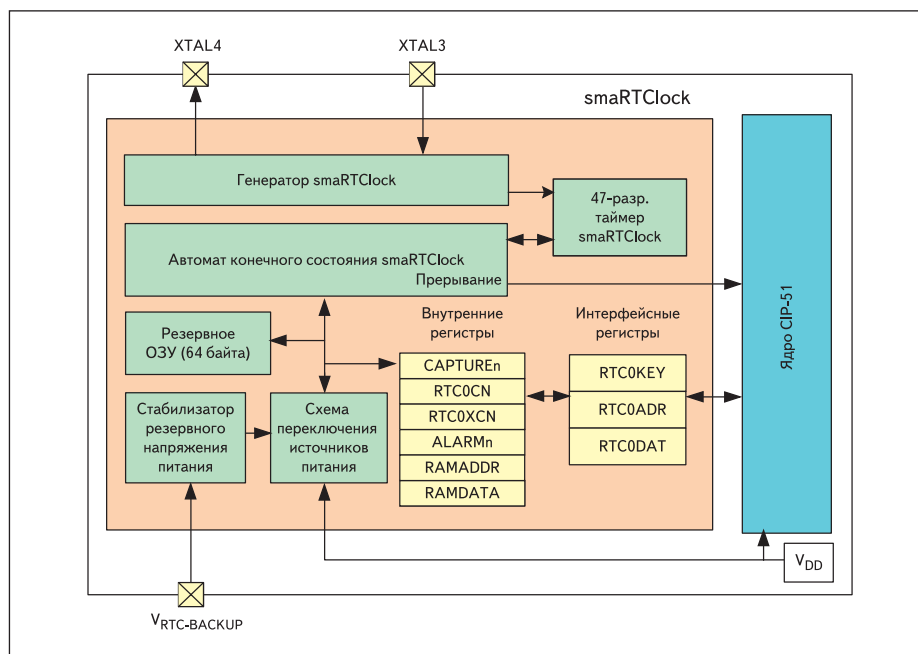


Рис. 5. Структурная схема модуля smaRTClock

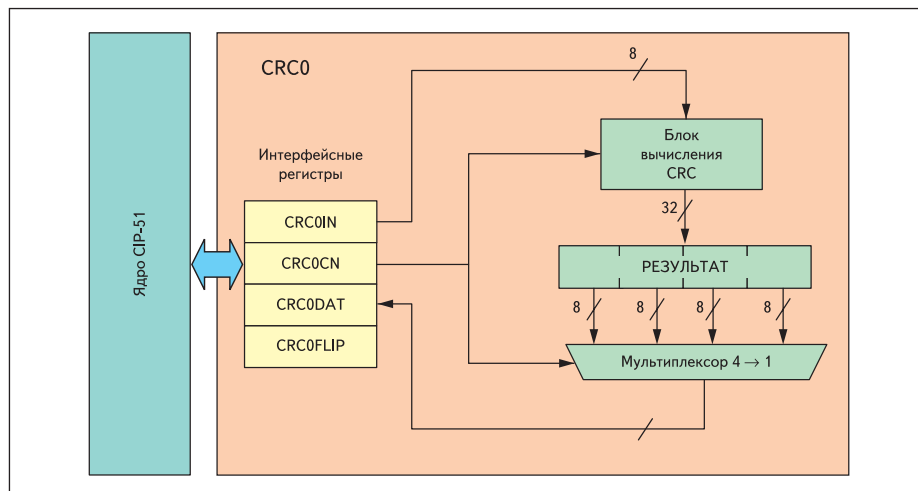


Рис. 6. Структурная схема модуля CRC0

его приведена на рис. 5. Модуль SmaRTClock содержит собственный генератор, способный работать как с кварцевым резонатором 32,768 кГц, так и без него (генерируя сигнал с частотой приблизительно 20 или 40 кГц). Выходной сигнал этого генератора используется для тактирования 47-разрядного таймера. При тактировании сигналом с частотой 32,768 кГц таймер SmaRTClock может отсчитывать временные интервалы длительностью до 137 лет. При достижении таймером заранее установленного значения (а также в случае остановки генератора SmaRTClock) генерируется сигнал Alarm, который может использоваться для вызова прерывания, сброса ЦПУ или вывода внутреннего генератора МК из режима останова. Частоту генератора SmaRTClock можно измерить относительно частоты другого генератора МК с помощью внутренних таймеров, что позволяет осуще-

ствлять в автоматическом режиме программную калибровку часов. Кроме того, выходной сигнал генератора SmaRTClock может использоваться в качестве основного системного тактового сигнала.

Модуль SmaRTClock содержит также блок резервного ОЗУ объемом 64 байта и схему резервирования по питанию, состоящую из стабилизатора резервного напряжения питания и схемы переключения источников питания. Стабилизатор резервного напряжения питания позволяет поддерживать работоспособность модуля SmaRTClock при исчезновении напряжения на основной линии питания V_{DD} . Диапазон входного напряжения $V_{RTC-BACKUP}$ этого стабилизатора — от 1 до 5,25 В. Схема переключения источников питания автоматически переключит модуль SmaRTClock на питание от резервного источника, если напряжение V_{DD} опустится ниже $V_{RTC-BACKUP}$.

Блок резервного ОЗУ также подключается к резервному источнику питания и позволяет сохранять калибровочные коэффициенты, параметры настройки или другие критичные данные, потеря которых недопустима для нормального функционирования системы.

Управление модулем smaRTClock, его настройка, а также доступ к резервному ОЗУ осуществляются с помощью набора внутренних регистров. Поскольку эти регистры не отображены в адресном пространстве ЦПУ, доступ к ним возможен только в косвенном режиме через интерфейсные регистры RTC0KEY, RTC0ADR и RTC0DAT, которые являются обычными SFR-регистрами МК C8051F41x. Для ускорения доступа к резервному ОЗУ реализован режим автоматического инкрементирования указателя адреса после каждой операции чтения или записи.

Модуль smaRTClock характеризуется очень малой потребляемой мощностью: если ядро ЦПУ выключено и работают только часы реального времени, то ток потребления МК составляет всего 0,7 мкА (при напряжении питания 1,5 В). МК семейства C8051F41x вообще отличаются хорошей экономичностью: типичное значение максимального тока потребления при активном ЦПУ и $F_{ЦПУ} = 50$ МГц составляет всего 13,5 мА (17 мкА при $F_{ЦПУ} = 32$ кГц). Следует также отметить, что впервые МК компании Silicon Laboratories имеют расширенное напряжение питания (от 2,0 до 5,25 В), что обеспечивается наличием встроенного стабилизатора напряжения. Выходное напряжение этого стабилизатора (2,1 или 2,5 В) подается на вывод V_{DD} микросхемы и может использоваться для питания не только внутренних модулей МК, но и внешних устройств (с общим током потребления до 50 мА).

Еще одной отличительной особенностью МК C8051F41x является наличие модуля аппаратного вычисления контрольной суммы (CRC0), структурная схема которого представлена на рис. 6. Данный модуль принимает входной поток 8-разрядных данных, записываемых в регистр CRC0IN, и вычисляет для него 16- или 32-разрядную циклическую контрольную сумму (с использованием полиномов 0x1021 или 0x04C11DB7 соответственно). Получаемая контрольная сумма записывается в 32-разрядный регистр результата, доступ к которому осуществляется косвенно с помощью интерфейсных регистров и 4-канального мультиплексора.

Кроме того, в модуле CRC0 реализована функция аппаратной перестановки бит (рис. 7): каждый байт, записываемый в регистр CRC0FLIP, будет считываться из него с обратным расположением битов. Например, если записать в регистр CRC0FLIP значение 0x0C, то при чтении этого регистра будет возвращен результат 0x03. Это простая, но очень полезная функция — она используется во многих алгоритмах (например, в алгоритме быстрого преобразования Фурье), и ее аппаратная реализация позволяет несколько сократить время выполнения вычислений.

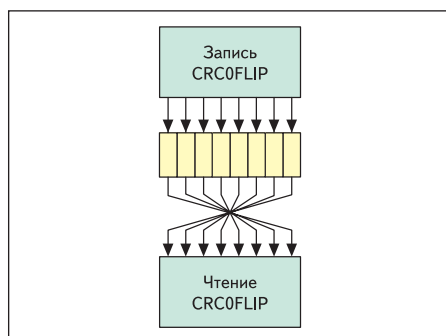


Рис. 7. Перестановка бит

С учетом особенностей МК семейства C8051F41x (мощный набор аналоговой периферии, часы реального времени с резервным питанием, низкое энергопотребление и др.) наиболее перспективным видится их использование для тех приложений, в которых требуется ведение календаря, учет времени суток или просто отсчет реального времени: управление освещением, уличным движением (светофорами), тепличным хозяйством, инкубаторы, нагревательные установки, медицинское оборудование, системы регистрации, приборы учета (например, двухтарифные счетчики электроэнергии) и т. п. Вычисляемая аппаратно контрольная сумма может использоваться не только при реализации различных протоколов связи с внешними системами, но и в системах регистрации, учета и ведения статистики для подтверждения достоверности собранной информации с целью исключения ее преднамеренного или случайного искажения в процессе передачи или хранения. Кроме того, расширенный диапазон напряжения питания и низкое энергопотребление делают данные МК весьма привлекательными для мобильных приложений и устройств с автономным питанием, так как позволяют сохранять работоспособность системы достаточно длительное время и практически до полного разряда аккумулятора или батареи. Для ознакомления с МК C8051F41x и разработки приложений на их основе компаний Silicon Laboratories предлагаются оценочный комплект C8051F411EK и отладочный комплект C8051F410DK, демонстрирующие возможности МК нового семейства и позволяющие разработчикам в минимальные сроки освоить основные приемы работы с ними.

Новые МК с USB-интерфейсом

В начале 2006 года компания Silicon Laboratories объявила о существенном расширении номенклатуры 8051-совместимых МК с USB-интерфейсом. В дополнение к ранее выпускавшимся C8051F320/1 анонсированы C8051F326/7, а также новое семейство C8051F34x, состоящее из восьми устройств. Основные параметры всех этих микроконтроллеров приведены в таблице. Даже беглого взгляда на эту таблицу достаточно,

Таблица. Сводная таблица параметров МК SiLabs с USB-интерфейсом

| Тип МК | Максимальная производительность, MIPS | Flash-память, кбайт | Внутреннее ОЗУ, байт | Интерфейс внешней памяти | Порты ввода/вывода | Последовательные интерфейсы | 16-разрядные таймеры | Количество каналов ПМС* | Встроенный калиброванный генератор | Встроенный низкочастотный генератор | Количество каналов 10-разрядного (240 тыс. преобр./с) АЦП | Датчик температуры | Внутренний источник опорного напряжения | Количество аналоговых компараторов | Тип корпуса |
|-----------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------|---|------------------------------------|---------------|
| C8051F320 | 25 | 16 | 2304 | — | 25 | SPI, UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | — | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм LQFP32 |
| C8051F321 | 25 | 16 | 2304 | — | 21 | SPI, UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | — | 13 | √ | √ | 2 | 5×5 мм QFN28 |
| C8051F326 | 25 | 16 | 1536 | — | 15 | UART, USB2.0 | 2 | — | √ | — | — | — | — | — | 5×5 мм QFN28 |
| C8051F327 | 25 | 16 | 1536 | — | 15 | UART, USB2.0 | 2 | — | √ | — | — | — | — | — | 5×5 мм QFN28 |
| C8051F340 | 48 | 64 | 4352 | √ | 40 | SPI, два UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | √ | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм TQFP48 |
| C8051F341 | 48 | 32 | 2304 | √ | 40 | SPI, два UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | √ | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм TQFP48 |
| C8051F342 | 48 | 64 | 4352 | — | 25 | SPI, UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | √ | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм LQFP32 |
| C8051F343 | 48 | 32 | 2304 | — | 25 | SPI, UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | √ | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм LQFP32 |
| C8051F344 | 25 | 64 | 4352 | √ | 40 | SPI, два UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | √ | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм TQFP48 |
| C8051F345 | 25 | 32 | 2304 | √ | 40 | SPI, два UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | √ | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм TQFP48 |
| C8051F346 | 25 | 64 | 4352 | — | 25 | SPI, UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | — | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм LQFP32 |
| C8051F347 | 25 | 32 | 2304 | — | 25 | SPI, UART, SMBus, USB2.0 | 4 | 5 | √ | — | 17 | √ | √ | 2 | 9×9 мм LQFP32 |

* программируемый массив счетчиков

чтобы понять, что расширение линейки USB-микроконтроллеров произошло как в сторону усложнения их структуры и расширения возможностей по сравнению с базовыми устройствами, так и в сторону упрощения (и, соответственно, удешевления) МК.

МК C8051F326/7 отличаются сокращенной по сравнению с базовыми МК функциональностью и представляют собой урезанную по возможностям модификацию C8051F321. Они выпускаются в таком же корпусе (5×5 мм QFN28), однако имеют внутреннее ОЗУ меньшего объема, меньшее количество портов ввода-вывода и таймеров, в них полностью отсутствуют аналоговые периферийные модули, а также интерфейсы SMBus, SPI и модуль ПМС (а значит нет и возможности реализовать на ПМС функцию сторожевого таймера). Кроме того, в данных МК уменьшен до 256 байт объем внутреннего USB-буфера, а также сокращено до 3 количество конечных точек (USB Endpoints). Компания Silicon Laboratories позиционирует МК C8051F326/7 как наиболее доступные по стоимости микроконтроллеры с USB-интерфейсом и предлагает их для реализации несложных приложений нижнего ценового диапазона, не требующих аналоговой подсистемы.

Противоположное направление развития USB-микроконтроллеров (в сторону улучшения их параметров и наращивания встроенной периферии) представляют МК нового семейства C8051F34x. К данному семейству относятся восемь устройств, что позволяет разработчикам подобрать модификацию, наиболее подходящую для разрабатываемых ими приложений как по функциональности, так и по цене. Ниже перечислены основные отличия данных МК от базового (C8051F320).

- Пиковая производительность МК C8051F340/1/2/3 увеличена до 48 MIPS.
- Существенно увеличен объем встроенной Flash-памяти: до 64 кбайт (C8051F340/2/4/6) и 32 кбайт (C8051F341/3/5/7).
- Объем встроенного ОЗУ в МК C8051F340/2/4/6 увеличен до 4352 байт.
- В МК C8051F340/1/2/3/4/5 добавлен программируемый низкочастотный генератор ($F_{НОМ} = 80$ кГц).
- В МК C8051F340/1/4/5 добавлен второй интерфейс UART, а также интегрирован интерфейс внешней памяти данных с 16-разрядным адресным диапазоном, поддерживающий мультиплексированный и немultipлексированный режимы работы. Количество портов ввода-вывода в данных МК увеличено до 40.

Увеличение числа портов ввода-вывода в МК C8051F340/1/4/5 потребовало использования корпуса другого типоразмера (TQFP-48). Остальные МК семейства C8051F34x выпускаются в таком же корпусе, как и базовый микроконтроллер C8051F320 (LQFP-32), и по расположению выводов совместимы с ним. Это позволяет производителям электронной техники модернизировать выпускаемые ими изделия без изменения технологического цикла, заменяя лишь «прошивку» МК. Следует также отметить, что в МК C8051F34x расширен диапазон входного напряжения питания (2,7–5,25В), что, как и в МК C8051F41x (см. выше), положительно сказывается на времени автономной работы от аккумулятора или батареи. Справедливости ради нужно сказать, что в МК нового семейства несколько увеличился (по сравнению с МК C8051F320/1) ток потребления практически во всех режимах. Данный факт обусловлен уве-

личившимися объемами ОЗУ и Flash-памяти, а также большей частотой тактирования ЦПУ. Однако несмотря на это, по соотношению производительности и энергопотребления МК семейства C8051F34x все равно являются одними из лучших в своем сегменте рынка, а наличие USB-интерфейса и развитой аналоговой периферии выгодно выделяет их на фоне других 8-разрядных микроконтроллеров. ■

Литература

1. Николайчук О. Анализ SFR-совместимости микроконтроллеров фирмы SiLabs // Схемотехника. 2004. № 3–6, 8, 10–12. 2005. № 1–11.
2. Ракович Н. Три «С» в одном флаконе: однокристалльный аналого-цифровой комплекс Silicon Labs // Компоненты и технологии. 2004. № 4.
3. Николайчук О. Микроконтроллеры фирмы Silicon Laboratories // Современная электроника. 2005. № 4.
4. Ламберт Е. Как работать с АЦП и ЦАП в микроконтроллерах SiLabs // Компоненты и технологии. 2005. № 7.
5. www.electrosnab.ru/silabs/Silabs_1_1.htm
6. www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Small_Form_Factor/en/C8051F41x.pdf
7. www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F32x.pdf
8. www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F326.pdf
9. www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/USB/en/C8051F34x.pdf
10. www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Interface/en/CP2200.pdf