
СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	10
ПРЕДИСЛОВИЕ ПЕРЕВОДЧИКА	12
ГЛАВА 1. ЗНАКОМСТВО С МИКРОКОНТРОЛЛЕРАМИ СЕМЕЙСТВА SX	13
1.1. ВВЕДЕНИЕ	13
1.2. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ	13
1.3. ВОЗМОЖНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА	14
1.4. ВОЗМОЖНОСТИ ВВОДА/ВЫВОДА	14
1.5. АРХИТЕКТУРА	15
1.6. СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ	15
1.7. ТИПЫ ПРИЛОЖЕНИЙ	15
1.8. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ И МАРКИРОВКА	16
1.9. ОПИСАНИЕ ВЫВОДОВ	22
ГЛАВА 2. АРХИТЕКТУРА	23
2.1. ВВЕДЕНИЕ	23
2.2. ПАМЯТЬ ПРОГРАММ	25
2.3. ПАМЯТЬ ДАННЫХ	25
2.3.1. Банки памяти	25
2.3.2. Организация банков памяти в SX18/20/28AC	26
2.3.3. Организация банков памяти в SX48/52BD	28
2.3.4. Примеры обращения к регистрам для SX48/52BD	30
2.4. РЕГИСТРЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ	34
2.4.1. Рабочий регистр (аккумулятор) (W)	36
2.4.2. Регистр косвенной адресации (INDF)	36
2.4.3. Таймер/счетчик реального времени (RTCC)	36
2.4.4. Счетчик команд (PC)	37
2.4.5. Регистр состояния (STATUS)	37
2.4.6. Индексный регистр (FSR)	40
2.4.7. Порты ввода/вывода (RA, RB, RC, RD, RE)	40
2.4.8. Регистры MODE и PCR	41
2.4.9. Регистр ОПЦИОН	43
2.5. РАБОТА КОНВЕЙЕРА	46
2.5.1. Влияние режима работы схемы синхронизации	47

2.5.2. Задержки в конвейере	.47
2.5.3. Меры предосторожности при использовании команд типа «чтение/модификация/запись»	.48
2.6. СЧЕТЧИК КОМАНД	.49
2.6.1. Команды типа «проверка/пропуск» (Test & Skip)	.49
2.6.2. Безусловный переход	.50
2.6.3. Косвенный и условный переходы	.51
2.6.4. Вызов подпрограммы командой Call	.52
2.6.5. Возврат из подпрограммы командой Return	.53
2.7. СТЕК	.54
2.8. ВОЗМОЖНОСТИ КОНФИГУРИРОВАНИЯ	.56
ГЛАВА 3. СИСТЕМА КОМАНД	.67
3.1. ВВЕДЕНИЕ	.67
3.2. ОПЕРАНДЫ	.67
3.3. ТИПЫ КОМАНД	.69
3.3.1. Команды логических операций	.69
3.3.2. Команды арифметических операций и команды сдвига	.69
3.3.3. Команды операций с битами	.70
3.3.4. Команды передачи данных	.70
3.3.5. Команды передачи управления	.71
3.3.6. Команды управления системой	.72
3.4. СВОДНЫЕ ТАБЛИЦЫ КОМАНД	.73
3.5. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ МНЕМОНИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ АССЕМБЛЕРОМ	.77
3.6. ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ КОМАНД	.77
ГЛАВА 4. ТАКТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР, РЕЖИМ Пониженного Энергопотребления и сброс	.137
4.1. ВВЕДЕНИЕ	.137
4.2. КОНФИГУРИРОВАНИЕ ТАКТОВОГО ГЕНЕРАТОРА	.138
4.2.1. Выбор числа периодов тактового сигнала, приходящихся на одну команду	.138
4.2.2. Внутренний RC-генератор	.139
4.2.3. Внешний RC-генератор	.140
4.2.4. Внешний кварцевый или керамический резонатор	.142
4.2.5. Внешний сигнал синхронизации	.146
4.2.6. Электромагнитная совместимость	.146

4.3. РЕЖИМ ПОНИЖЕННОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ SLEEP	147
4.3.1. Вход в режим SLEEP («ЗАСЫПАНИЕ» МК)	147
4.3.2. Выход из режима SLEEP («ПРОБУЖДЕНИЕ» МК)	148
4.4. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВХОДЫ («ПРОБУЖДЕНИЕ» И ПРЕРЫВАНИЕ)	148
4.4.1. Конфигурирование выводов порта В как многофункциональных входов	149
4.4.2. Чтение и запись регистра WKPND_V	151
4.5. СБРОС	152
4.5.1. Состояние регистров после сброса	153
4.5.2. Сброс по включении питания	155
4.5.3. Выход из режима SLEEP	158
4.5.4. Сброс при снижении напряжения питания (brown-out)	160
4.5.5. Сброс от сторожевого таймера (тайм-аут сторожевого таймера)	160
4.5.6. Вывод /MCLR (Master Clear Reset)	160
ГЛАВА 5. ПОРТЫ ВВОДА/ВЫВОДА	161
5.1. ВВЕДЕНИЕ	161
5.2. ЗАПИСЬ И ЧТЕНИЕ ПОРТОВ	162
5.3. КОНФИГУРИРОВАНИЕ ПОРТОВ	165
5.3.1. Доступ к регистрам управления портами	165
5.3.2. Регистр MODE	165
5.3.3. Регистры управления портами	168
5.3.4. Регистры управления портами после сброса	170
5.3.5. Структурная схема портов ввода/вывода	171
ГЛАВА 6. ТАЙМЕРЫ, СТОРОЖЕВОЙ ТАЙМЕР И ПРЕРЫВАНИЯ	173
6.1. ВВЕДЕНИЕ	173
6.2. ТАЙМЕР/СЧЕТЧИК РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ (RTCC)	174
6.2.1. Предделитель (предварительный делитель)	175
6.2.2. Переполнение счетчика RTCC	175
6.2.3. Использование регистра RTCC в качестве таймера или счетчика реального времени	176
6.2.4. Использование регистра RTCC в качестве счетчика внешних событий	177
6.2.5. Прерывание по переполнении счетчика RTCC	177
6.3. СТОРОЖЕВОЙ ТАЙМЕР WDT	178

6.3.1. Период сторожевого таймера	179
6.3.2. Работа сторожевого таймера в режиме SLEEP	180
6.4. ПЕРЫВАНИЯ	180
6.4.1. Единственный уровень прерывания	181
6.4.2. Обслуживание прерывания	181
6.4.3. Прерывание от таймера RTCC	183
6.4.4. Прерывание от порта В	183
6.4.5. Особые источники прерываний	183
6.4.6. Возврат из прерываний	184
6.4.7. Пример обработки прерываний	184
6.4.8. Вложенные прерывания	185
ГЛАВА 7. АНАЛОГОВЫЙ КОМПАРАТОР	187
7.1. ВВЕДЕНИЕ	187
7.2. РЕГИСТР РАЗРЕШЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ КОМПАРАТОРА	188
7.3. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОМПАРАТОРА	189
ГЛАВА 8. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТАЙМЕРЫ	191
8.1. ВВЕДЕНИЕ	191
8.2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТАЙМЕРОВ	192
8.2.1. Режим ШИМ	193
8.2.2. Режим программного таймера	193
8.2.3. Режим «внешнее событие»	194
8.2.4. Режим «захват/сравнение»	194
8.3. НАЗНАЧЕНИЕ ВЫВОДОВ	195
8.4. РЕГИСТРЫ УПРАВЛЕНИЯ ТАЙМЕРОМ	195
8.4.1. Регистр управления А таймера T1 (T1CNTA)	196
8.4.2. Регистр управления В таймера T1 (T1CNTB)	197
8.4.3. Регистр управления А таймера T2 (T2CNTA)	198
8.4.4. Регистр управления В таймера T2 (T2CNTB)	199
ГЛАВА 9. ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ	201
9.1. ВВЕДЕНИЕ	201
9.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ	201
9.3. ОПИСАНИЕ ВЫВОДОВ	206
9.4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	209
ГЛАВА 10. ВИРТУАЛЬНЫЕ ПЕРИФЕРИЙНЫЕ МОДУЛИ	215
10.1. ВВЕДЕНИЕ	215

10.2. СОСТАВ БИБЛИОТЕКИ ВИРТУАЛЬНОЙ ПЕРИФЕРИИ	216
10.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ПЕРИФЕРИЙНЫХ МОДУЛЕЙ	219
10.3.1. Использование в подпрограмме обработки прерывания	210
10.3.2. Использование в подпрограмме или в основной программе	220
ГЛАВА 11. СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ	221
11.1. ВВЕДЕНИЕ	221
11.2. ФИРМЕННЫЙ АССЕМБЛЕР SASM	221
11.3. КОМПИЛЯТОРЫ ЯЗЫКА С	224
11.4. СИМУЛЯТОРЫ	225
11.5. ПРОГРАММАТОРЫ	227
11.6. ЭМУЛЯТОРЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	227
11.6.1. Интегрированная среда отладки SX-DEV	229
11.6.2. Аппаратная часть	231
11.6.3. Инсталляция	233
11.6.4. Создание проекта	234
11.6.5. Редактор	236
11.6.6. Отладчик	237
11.6.7. Кондуктор окон контроля	244
11.7. ОТЛАДОЧНЫЕ ПЛАТЫ	248
11.7.1. Модуль SX-Ethernet	248
11.7.2. Макетная плата SX-28DEMO	251
Постскрипtum	253
Адреса	254
Приложения	
1. Сводная таблица различных типов микроконтроллеров SX фирмы «Scenix» («Ubicom»)	255
2. Описание выражений, используемых в средствах разработки фирмы «Scenix»	258
3. Предопределенные обозначения для моделей SX18/20/28AC	260
4. Предопределенные обозначения для моделей SX48/52D	261
5. Предопределенные обозначения, общие для всех моделей	262
6. Обобщенный список команд моделей микроконтроллеров фирмы «Scenix»	263
Предметный указатель	267

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время микроконтроллеры находят все большее применение в товарах народного потребления, транспортных средствах и других технических устройствах. Их можно встретить в системах дистанционного управления, телефонах, кухонных плитах, пылесосах, стиральных машинах и в большом количестве в автомобилях. Микроконтроллер (МК) в миниатюре повторяет персональный компьютер и представляет собой микроЭВМ, которая содержит все ее функциональные узлы на одном полупроводниковом кристалле и выполнена в виде одной микросхемы. Основные преимущества использования микроконтроллеров по сравнению с другими технологиями являются следствием их малых размеров и гибкости применения. Благодаря этой гибкости разработчик получает в свое распоряжение легкую и быструю методику разработки изделия. Кроме того, за время существования изделия можно с небольшими затратами исправить или усовершенствовать программу микроконтроллера.

До настоящего времени в несложных приложениях, работающих с высокой скоростью, использование микроконтроллеров было затруднительно. Как правило, в таких случаях разработчики стремились использовать решения на базе ПЛИС различных типов (CPLD, FPGA) или на базе специализированных БИС (ASIC). Несомненно, указанные компоненты выполняют возложенные на них функции, однако они не обладают той гибкостью, которая присуща микроконтроллерам.

Известно, что в мире электроники нет ничего постоянного, все меняется очень быстро. Недавно появились микроконтроллеры, которые можно назвать сверхзвуковыми, по сравнению с конкурентными изделиями. Это микроконтроллеры фирмы «Scenix», о которых пойдет речь в этой книге. Они заняли нишу между простыми 8-разрядными микроконтроллерами и

«большими» 16- и 32-разрядными микроконтроллерами. Кроме того, микроконтроллеры этого семейства являются микроконтроллерами общего назначения и не предназначены для какого-либо конкретного приложения. И в самом деле, эти микроконтроллеры не имеют специализированных функций, каждый вывод может быть сконфигурирован как вход и/или как выход. При необходимости такая топология позволяет программно эмулировать периферию, которая требуется заказчику.

Заметим, что в настоящее время микроконтроллеры фирмы «Scenix» являются самыми быстродействующими 8-разрядными микроконтроллерами в мире: их быстродействие может достигать 100 MIPS (миллионов операций в секунду). Они представляют собой современное семейство микроконтроллеров, которые основываются на RISC-архитектуре с четырехуровневой конвейеризацией, имеют флэш-память программ и изготавливается по одной из наиболее эффективных технологий.

В данной книге содержится вся информация, необходимая для изучения и дальнейшего использования микроконтроллеров фирмы «Scenix».

Хотя фирма «Scenix» ныне называется «Uvicom», что отражено, например, в названии Web-сайта и в других случаях, но оставлено старое название «Scenix» при описании микроконтроллеров SX.

ПРЕДИСЛОВИЕ ПЕРЕВОДЧИКА

В мире нет ничего постоянного — это известно всем. То, что казалось незыблемым вчера, может исчезнуть завтра. А может и не исчезнуть, а просто принять иную форму. В полной мере эти слова относятся и к рынку радиоэлектроники. Слияния, переименования, распад различных фирм происходят так часто, что иногда за этим трудно уследить. И фирма «Uvicom», об изделиях которой пойдет речь в этой книге, не является исключением. Несмотря на то что с выхода оригинального издания этой книги прошло не так уж много времени, произошло одно очень значительное событие. А именно: 30 ноября 2000 года компания Scenix Semiconductor Inc. объявила о смене своего названия на Uvicom Inc.

Таким образом, в настоящий момент микроконтроллеры семейства SX производятся компанией «Uvicom». Это изменение отражено частично в тексте книги, но не в ее названии, к которому привыкли специалисты.

В заключение хотелось бы заметить, что данная книга не является справочником. Поэтому, прежде чем использовать на практике рассматриваемые микроконтроллеры, необходимо обратиться к официальной информации, предоставляемой фирмой-изготовителем. Вся эта информация расположена на Web-сайте компании Uvicom (см. Адреса).

Глава 1. Знакомство с микроконтроллерами семейства SX

1.1. Введение

Микроконтроллеры семейства SX производства фирмы «Scenix» состоят из нескольких модификаций, относятся к 8-разрядным микроконтроллерам высокой производительности и позволяют реализовать недорогие компактные встраиваемые приложения. Микроконтроллеры изготавливаются по усовершенствованной КМОП-технологии, которая в сочетании с RISC-архитектурой обеспечивает высокую скорость вычислений, гибкое управление вводом/выводом и эффективную обработку данных. Данная технология позволяет микроконтроллерам функционировать на частотах вплоть до 100 МГц и использовать оптимизированную систему команд, большая часть которых выполняется за один машинный цикл.

1.2. Отличительные особенности

- Основные особенности архитектуры семейства микроконтроллеров SX:
- возможность вычислений со скоростью до 100 MIPS (миллионов операций в секунду) при тактовой частоте 100 МГц;
 - флэш-память программ с числом циклов стирания/записи не менее 10000. Объем памяти программ составляет от 2048 до 4096 слов длиной 12 бит;
 - объем ОЗУ от 136 до 262 байт;
 - внутрисхемное программирование через выходы генератора (отсутствуют специализированные выходы);
 - возможность использования различных типов генераторов для синхронизации: встроенный RC-генератор, сигнал от источника

- внешней синхронизации или внешний генератор (*RC*-генератор, пьезокерамический резонатор, кварцевый резонатор);
- встроенный аналоговый компаратор;
- детектор снижения напряжения питания (*brown out*);
- восемь входов прерывания от внешнего источника.

1.3. Возможности центрального процессора

Основные характеристики центрального процессора:

- полностью статическая архитектура; тактовый генератор работает на частотах выше 0 до 100 МГц;
- длительность машинного цикла не более 10 нс (при тактовой частоте 100 МГц);
- большинство команд выполняются за один машинный цикл;
- восьмиуровневый аппаратный стек подпрограмм;
- один уровень прерываний;
- время реакции на прерывание фиксировано и составляет 3 такта для внутреннего и 5 тактов для внешнего прерывания, т.е. 60/100 нс на частоте 100 МГц;
- аппаратное сохранение и восстановление контекста во время прерываний.

1.4. Возможности ввода/вывода

К основным характеристикам системы управления портами ввода/вывода относятся:

- программное конфигурирование и выбор портов ввода/вывода;
- каждый вывод может быть запрограммирован как вход или как выход независимо от других;
- выбор логических уровней по входам (ТТЛ или КМОП);
- возможность подключения внутренних подтягивающих резисторов к входам (примерно 20 кОм);
- возможность подключения триггеров Шмитта к входам (ко всем портам кроме порта А);
- выходы порта А имеют симметричные ключи.

1.5. Архитектура

Семейство микроконтроллеров SX использует Гарвардскую архитектуру. Эта архитектура характеризуется раздельной памятью программ и данных (статическое ОЗУ), каждая из которых имеет собственную шину адреса. Такая организация позволяет одновременно работать как с памятью программ, так и с памятью данных. Преимуществом данной архитектуры является возможность организации многоступенчатого конвейера.

Семейство микроконтроллеров SX имеет четырехступенчатый конвейер (чтение, декодирование, выполнение и запись), что обеспечивает выполнение команды за один цикл тактового генератора. Время выполнения одной команды (машинный цикл) составляет всего 10 нс на частоте 100 МГц.

1.6. Средства разработки

Микроконтроллеры фирмы «Scenix» поддерживаются многими средствами разработки. Эти средства представляют собой интегрированное программное обеспечение, в состав которого входят: редактор, компилятор, отладчик (эмулирующий) и программатор. Наиболее известные средства разработки производятся фирмами SV TENS (SX-DEV) и Parallax (SX-Key).

1.7. Типы приложений

Высокие характеристики микроконтроллеров SX открывают достаточно интересные перспективы для их применения. Помимо всего прочего, благодаря этим характеристикам имеется возможность программно эмулировать различную периферию, обычно реализуемую аппаратными средствами микроконтроллера. Такой подход позволяет обходиться при разработке одним стандартным многофункциональным элементом.

Возможные применения микроконтроллеров рассматриваемого семейства самые разнообразные. Микроконтроллер может быть «сердцем» системы управления каким-либо процессом, средства связи, измерительного оборудования. Все эти приложения могут быть реализованы благодаря виртуальным (программным) периферийным модулям, о которых будет сказано ниже. В качестве примеров виртуальных периферийных модулей можно упомянуть следующие функции:

- передача последовательных данных по протоколу RS-232;
- передача параллельных данных по протоколу Centronics;

- реализация шины I²C;
- передача данных по протоколу SCI;
- передача данных по протоколу SPI;
- реализация шины X-10;
- передача и прием данных с использованием инфракрасного излучения;
- генерирование сигналов и измерение частоты;
- спектральный анализ;
- управление динамической памятью;
- генератор ШИМ-сигнала;
- дельта-сигма цифро-аналоговое преобразование;
- кодирование и декодирование DTMF-сигналов;
- формирование и детектирование сигналов с фазовой и частотной манипуляцией;
- формирование или обработка видеосигнала и др.

Большая часть указанных виртуальных периферийных модулей вместе с комментариями доступна на Web-сайте фирмы «Scenix».

1.8. Конструктивное исполнение и маркировка

Семейство SX включает восемь модификаций микроконтроллеров. Все модификации имеют различное конструктивное исполнение, что позволяет выбрать модель, наилучшим образом отвечающую требованиям по компоновке.

Выпускаемые микроконтроллеры можно разделить на 2 группы:

- модели SX18AC, SX20AC и SX28AC (**Рис. 1.1**) имеют внутреннюю память программ размером 2048 слов и 12 или 20 портов ввода/вывода в зависимости от типа корпуса;
- модели SX48BD и SX52BD (**Рис. 1.2, 1.3**) имеют внутреннюю память программ размером 4096 слов и 36 или 40 портов ввода/вывода в зависимости от типа корпуса;

Для сравнения различных моделей предлагается **Табл. 1.1**. С помощью этой таблицы можно быстро определить ресурсы, которыми обладает каждый микроконтроллер.

Для маркировки своих микроконтроллеров фирмой «Scenix» принято простое и удобное соглашение. Обозначение микроконтроллера состоит из нескольких полей, которые содержат информацию о количестве выводов, исполнении, объеме памяти, типе корпуса, температурном диапазоне и максимальной рабочей частоте.

Таблица 1.1. Ресурсы микроконтроллеров серии SX

Прибор	Количество выводов	Количество портов ввода/вывода	Тактовая частота	Объем памяти программ	Объем ОЗУ данных	Диапазон температуры
			[МГц]	[слов]	[байт]	[°C]
SX18AC/SO	18	12	50	2К×12	136	0...+70
SX18AC/DP	18	12	50	2К×12	136	0...+70
SX20AC/SS	20	12	50			0...+70
SX20AC-I/SS	20	12	50	2К×12	136	-40...+85
SX20AC75/SS	20	2	75			0...+70
SX28AC/SO	28	20	50			0...+70
SX28AC-I/SO	28	20	50	2К×12	136	-40...+85
SX28AC75/SO	28	20	75			0...+70
SX28AC/DP	28	20	50			0...+70
SX28AC-I/DP	28	20	50	2К×12	136	-40...+85
SX28AC75/DP	28	20	75			0...+70
SX28AC/SS	28	20	50			0...+70
SX28AC-I/SS	28	20	50	2К×12	136	-40...+85
SX28AC75/SS	28	20	75			0...+70
SX48BD/TQ	48	36	50			0...+70
SX48BD-I/TQ	48	36	50	4К×12	262	-40...+85
SX52BD/PQ	52	40	50			0...+70
SX52BD-I/PQ	52	40	50			-40...+85
SX52BD75/PQ	52	40	75	4К×12	262	0...+70
SX52BD100/PQ	52	40	100			0...+70

Префикс «SX» является общим для всех моделей микроконтроллеров. Таким образом, каждый раз, когда упоминается только этот префикс, сказанное относится ко всем моделям семейства.

Дополнительно, под обозначением микроконтроллера (**Рис. 1.4**), на корпус наносится условное обозначение даты изготовления изделия, также имеющее простой формат. Для облегчения чтения далее в тексте это обозначение будем называть «код даты».

Существует две разновидности кода даты. На **Рис. 1.5** приведена расшифровка кода даты микроконтроллеров SX18/20/28AC первого поколения и SX48/52BD, а на **Рис. 1.6** — кода даты микроконтроллеров SX18/20/28AC второго поколения. Благодаря двум разновидностям кода даты, можно с легкостью различить различные поколения моделей SX18/20/28AC. Вообще говоря, отличия не столь важны и большей частью они касаются изменений в регистрах FUSE и FUSEX (см. параграф 2.8).