



# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие автора .....	12
--------------------------	----

## Часть 1

### СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО СЕМЕЙСТВУ MSC12xx

<i>Глава 1. Семейство MSC12xx</i> .....	16
1.1. Особенности ИМС семейства MSC12xx .....	16
1.1.1. Аналоговая часть .....	17
1.1.2. Цифровая часть .....	17
1.1.3. Память .....	17
1.1.4. Периферия .....	18
1.1.5. Другие параметры и характеристики .....	18
1.1.6. Типовые приложения .....	18
1.2. Выводы ИМС MSC12xx .....	24
1.2.1. Порты ввода/вывода (P0, P1, P2, P3) .....	35
1.2.2. Выводы тактового генератора: XOUT и XIN .....	41
1.2.3. Вывод сброса: RST .....	41
1.2.4. Вывод разрешения фиксации адреса: ALE (только в MSC121x) .....	42
1.2.5. Вывод stroba разрешения памяти программ: PSEN (только в MSC121x) .....	42
1.2.6. Вывод разрешения внешнего доступа: EA (только в MSC121x) .....	43
1.3. Расширенное 8051-ядро .....	43
1.4. Совместимость внутри семейства MSC12xx .....	44
1.5. Flash-память .....	45
1.6. Аналоговые функции .....	45
1.7. Периферийные устройства .....	46
<i>Глава 2. Организация памяти</i> .....	47
2.1. Память программ .....	49
2.2. Память данных .....	52
2.2.1. Расширенное СОЗУ .....	52
2.2.2. Flash-память данных на кристалле .....	53
2.2.3. Внешняя память данных .....	53
2.3. Внутренняя оперативная память .....	54

2.3.1. Стек . . . . .	56
2.3.2. Регистровые банки . . . . .	56
2.3.3. Побитно адресуемая память . . . . .	57
2.3.4. Память регистров специальных функций . . . . .	58
<b>Глава 3. Регистры специальных функций . . . . .</b>	<b>60</b>
3.1. Ссылки на РСФ . . . . .	60
3.2. Типы РСФ . . . . .	86
3.3. Описание РСФ . . . . .	86
<b>Глава 4. Базовые регистры . . . . .</b>	<b>99</b>
4.1. Аккумулятор А (ACC) . . . . .	99
4.2. Регистры R . . . . .	99
4.3. Регистр В . . . . .	100
4.4. Программный счетчик (PC) . . . . .	100
4.5. Регистры указателей данных (DPTR0, DPTR1) . . . . .	101
4.6. Регистр указателя вершины стека (SP) . . . . .	101
4.7. Регистр слова состояния программы (PSW) . . . . .	102
<b>Глава 5. Способы адресации . . . . .</b>	<b>104</b>
5.1. Непосредственная адресация . . . . .	104
5.2. Прямая адресация . . . . .	105
5.3. Косвенная адресация . . . . .	105
5.4. Внешняя прямая адресация . . . . .	106
5.5. Внешняя косвенная адресация . . . . .	107
5.6. Кодированная косвенная адресация . . . . .	107
<b>Глава 6. Выполнение программы . . . . .</b>	<b>109</b>
6.1. Условный переход . . . . .	109
6.2. Прямой (безусловный) переход . . . . .	110
6.3. Прямой вызов подпрограммы . . . . .	111
6.4. Возврат из подпрограммы . . . . .	111
6.5. Прерывания . . . . .	111
<b>Глава 7. Системная синхронизация . . . . .</b>	<b>112</b>
7.1. Системные таймеры . . . . .	112
7.1.1. Микросекундный таймер . . . . .	118
7.1.2. Миллисекундный таймер . . . . .	119
7.2. Синхронизация пуска . . . . .	122
<b>Глава 8. Таймеры/счетчики . . . . .</b>	<b>127</b>
8.1. Таймеры/счетчики как измерители времени . . . . .	127
8.1.1. Скорость инкрементирования таймеров/счетчиков . . . . .	127
8.1.2. РСФ таймеров/счетчиков . . . . .	130
8.1.3. РСФ TMOD . . . . .	131

8.1.4. Инициализация таймера/счетчика . . . . .	136
8.1.5. Чтение содержимого таймера/счетчика . . . . .	136
8.1.6. Измерение длительности с помощью таймера/счетчика . . . . .	138
8.2. Таймеры/счетчики как счетчики событий . . . . .	139
8.3. Таймер/счетчик 2 . . . . .	140
8.3.1. РСФ T2CON . . . . .	140
8.3.2. Таймер/счетчик 2 в режиме автоперезагрузки . . . . .	142
8.3.3. Таймер/счетчик 2 в режиме захвата . . . . .	142
8.3.4. Таймер/счетчик 2 как генератор скорости обмена через последовательный порт . . . . .	143
<b>Глава 9. Последовательные порты . . . . .</b>	<b>144</b>
9.1. Установка режима последовательного порта . . . . .	145
9.1.1. Режим 0 последовательного порта (синхронный полудуплексный) . . . . .	150
9.1.2. Режим 1 последовательного порта (асинхронный дуплексный) . . . . .	151
9.1.3. Режим 2 последовательного порта (асинхронный дуплексный) . . . . .	155
9.1.4. Режим 3 последовательного порта (асинхронный дуплексный) . . . . .	157
9.2. Задание скорости обмена через последовательный порт . . . . .	157
9.3. Запись в последовательный порт . . . . .	159
9.4. Чтение последовательного порта . . . . .	160
<b>Глава 10. Прерывания . . . . .</b>	<b>161</b>
10.1. События, вызывающие прерывания . . . . .	161
10.2. Разрешение прерываний . . . . .	163
10.3. Последовательность опроса источников прерываний . . . . .	167
10.4. Приоритеты прерываний . . . . .	167
10.5. Обслуживание прерывания . . . . .	172
10.6. Возврат из прерывания . . . . .	173
10.7. Типы прерываний . . . . .	173
10.7.1. Прерывания от последовательных портов . . . . .	173
10.7.2. Внешние прерывания . . . . .	174
10.7.3. Прерывания от таймеров/счетчиков . . . . .	175
10.7.4. Прерывание от сторожевого таймера . . . . .	176
10.7.5. Вспомогательные прерывания . . . . .	176
10.8. Сохранение контекста при прерываниях . . . . .	190
10.9. Общие проблемы при использовании прерываний . . . . .	192
<b>Глава 11. Широтно-импульсный модулятор/тональный генератор . . . . .</b>	<b>194</b>
11.1. Тональный генератор . . . . .	195
11.2. Широтно-импульсный модулятор . . . . .	197
11.2.1. Примеры конфигурирования модуля ШИМ/тонального генератора . . . . .	200
11.2.2. Модификация настроек модуля ШИМ/тонального генератора . . . . .	202
<b>Глава 12. Аналого-цифровой преобразователь . . . . .</b>	<b>205</b>

12.1. Общее описание. . . . .	205
12.2. Синхронизация АЦП . . . . .	208
12.3. Входной мультиплексор . . . . .	210
12.4. Встроенный температурный датчик. . . . .	212
12.5. Источники тока обнаружения обрыва внешнего датчика . . . . .	213
12.6. Входной буфер (BUF) . . . . .	213
12.7. Аналоговые входы АЦП . . . . .	215
12.8. Программируемый усилитель (PGA) . . . . .	216
12.9. ЦАП смещения . . . . .	217
12.10. Модулятор АЦП. . . . .	219
12.11. Калибровки смещения и усиления АЦП. . . . .	219
12.12. Методы компенсации смещения АЦП . . . . .	227
12.13. Методы компенсации ошибки усиления АЦП . . . . .	230
12.13.1. Программная калибровка усиления АЦП. . . . .	234
12.13.2. Подстройка усиления АЦП . . . . .	236
12.13.3. Расширение диапазона входных напряжений АЦП . . . . .	236
12.14. Цифровой фильтр . . . . .	239
12.15. Опорное напряжение АЦП . . . . .	243
12.16. Регистры аппаратного суммирования/сдвига . . . . .	244
12.16.1. Режим ручного суммирования . . . . .	247
12.16.2. Режим суммирования результатов АЦП . . . . .	247
12.16.3. Режим ручного сдвига/деления. . . . .	248
12.16.4. Режим суммирования результатов АЦП с делением/сдвигом. . . . .	248
12.17. Синхронизация нескольких приборов MSC12xx в системе. . . . .	249
12.18. Типовые способы использования АЦП. . . . .	250
12.18.1. Выбор диапазона полной шкалы . . . . .	251
12.18.2. Компенсация ошибок преобразования при измерениях сигналов с датчиков. . . . .	252
<b>Глава 13. Интерфейс SPI/I<sup>2</sup>C MSC120x . . . . .</b>	<b>258</b>
13.1. Модуль интерфейса SPI . . . . .	258
13.2. Модуль интерфейса I2C . . . . .	263
<b>Глава 14. Интерфейс SPI/I<sup>2</sup>C MSC121x . . . . .</b>	<b>267</b>
14.1. Модуль интерфейса SPI . . . . .	267
14.1.1. Функциональное описание . . . . .	267
14.1.2. Управление полярностью и фазой последовательного синхросигнала . . . . .	269
14.1.3. Сигналы интерфейса SPI . . . . .	271
14.1.4. Системные ошибки SPI . . . . .	272
14.1.5. Передача данных через SPI . . . . .	273
14.1.6. Операции с буфером FIFO. . . . .	277
14.1.7. Примеры программного использования SPI . . . . .	278

---

14.2. Модуль интерфейса I2C .....	280
<i>Глава 15. Модуль ЦАП</i> .....	285
15.1. Восьмибитный ЦАП MSC120x .....	285
15.2. Шестнадцатибитный ЦАП MSC121x .....	285
<i>Глава 16. Детектор пониженного напряжения питания</i> .....	294
16.1. Общее описание .....	294
16.2. Биты РСФ LVDCON .....	295
16.3. Типовые параметры детектора пониженного напряжения питания .....	297
<i>Глава 17. Сторожевой таймер</i> .....	298
17.1. Общее описание .....	298
17.2. Программное управление сторожевым таймером .....	299
<i>Глава 18. Система ФАПЧ MSC120x</i> .....	302
18.1. Синхронизация от внутреннего генератора .....	303
18.2. Синхронизация от внешнего источника .....	303
18.3. Синхронизация от системы ФАПЧ .....	304
<i>Глава 19. Аппаратная конфигурация</i> .....	306
19.1. Аппаратные регистры конфигурации MSC120x .....	307
19.2. Аппаратные регистры конфигурации MSC121x .....	310
19.3. Память конфигурации MSC121x .....	314
19.4. Доработка механизма прерываний при блокировке сектора сброса .....	315
19.5. РСФ идентификации .....	315
<i>Глава 20. Генератор аппаратных точек останова MSC121x</i> .....	317
20.1. Конфигурирование аппаратных точек останова .....	317
20.2. Прерывания от аппаратных точек останова .....	319
20.3. Отключение аппаратных точек останова .....	320
<i>Глава 21. Оптимизация потребляемой мощности</i> .....	321
21.1. Нерабочий режим .....	321
21.2. Биты РСФ PCON .....	322
<i>Глава 22. Операции с Flash-памятью</i> .....	324
22.1. РСФ управления Flash-памятью .....	324
22.2. Примеры операций с Flash-памятью данных .....	326
<i>Глава 23. Подпрограммы загрузочного ПЗУ (ROM)</i> .....	328
<i>Глава 24. Ошибки и аномалии</i> .....	346
24.1. Ошибки и аномалии MSC120x .....	346
24.2. Ошибки и аномалии MSC121x .....	347

Часть 2

**СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ-ОТЛАДКИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ СЕМЕЙСТВА MSC12XX  
И РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ИХ ОСНОВЕ**

<i>Глава 25. Стратегии отладки приложений для MSC12xx</i> .....	350
25.1. Симуляторы IDE .....	351
25.2. Внутрисистемные отладчики .....	352
25.2.1. Методы программной внутрисистемной отладки .....	353
25.2.2. Методы аппаратной внутрисистемной отладки .....	365
<i>Глава 26. Программирование Flash-памяти MSC12xx</i> .....	366
26.1. Программирование с помощью эмулятора терминала .....	366
26.2. Программирование с помощью загрузчика TI Downloader .....	370
26.3. Защита Flash-памяти .....	374
<i>Глава 27. Ассемблер</i> .....	375
27.1. Синтаксис ассемблера .....	375
27.2. Системы представления чисел .....	377
27.3. Выражения .....	377
27.4. Приоритет операторов .....	378
27.5. Символы и символьные строки .....	378
27.6. Прямые переходы в программе (LJMP, SJMP, AJMP) .....	379
27.7. Подпрограммы (LCALL, ACALL, RET) .....	379
27.8. Перемещение данных (MOV) .....	380
27.9. Инкремент и декремент регистров (INC, DEC) .....	382
27.10. Программные циклы (DJNZ) .....	382
27.11. Установка, сброс и перемещение битов (SETB, CLR, CPL, MOV) .....	383
27.12. Бит-ориентированные условные переходы (JB, JBC, JNB, JC, JNC) .....	384
27.13. Сравнение двух значений на предмет равенства (CJNE) .....	384
27.14. Сравнение двух значений на предмет нахождения большего (CJNE) .....	385
27.15. Переходы по результату сравнения с нулем (JZ, JNZ) .....	385
27.16. Суммирование (ADD, ADDC) .....	386
27.17. Вычитание (SUBB) .....	386
27.18. Умножение (MUL) .....	387
27.19. Деление (DIV) .....	388
27.20. Сдвиг битов (RR, RRC, RL, RLC) .....	388
27.21. Побитные логические инструкции (ANL, ORL, XRL) .....	389
27.22. Обмен значениями регистров (XCH) .....	391
27.23. Обмен байт аккумулятора (SWAP) .....	391
27.24. Обмен байт между аккумулятором и IRAM (XCHD) .....	391
27.25. Коррекция аккумулятора в двоично-десятичное представление (DA) .....	392
27.26. Операции со стеком (PUSH/POP) .....	392

27.27. Задание значения указателя данных DPTR (MOV DPTR) . . . . .	394
27.28. Запись и чтение внешней оперативной памяти/памяти данных (MOVX) . . . . .	394
27.29. Чтение программной памяти/таблиц (MOVC) . . . . .	395
27.30. Таблицы переходов (JMP @A+DPTR) . . . . .	397
<b>Глава 28. Интегрированная среда разработки-отладки RIDE</b> . . . . .	398
28.1 Общее описание . . . . .	398
28.2. Создание пользовательского проекта. . . . .	400
28.3. Дополнительные возможности RIDE . . . . .	404
<b>Глава 29. База для создания приложений</b> . . . . .	405
29.1. Аппаратная платформа . . . . .	405
29.2. Встроенное программное обеспечение . . . . .	407
<b>Глава 30. Программы обслуживания периферийных устройств</b> . . . . .	420
30.1. Интерфейс ввода/вывода . . . . .	420
30.1.1. Интерфейс кнопок управления . . . . .	420
30.1.2. Интерфейс ЖКИ . . . . .	425
30.2. Интерфейс АЦП . . . . .	429
30.2.1. Преобразования без усреднения . . . . .	429
30.2.2. Преобразования с усреднением по выборке . . . . .	447
30.3. Интерфейс ШИМ/тонального генератора . . . . .	455
30.4. Часы реального времени на базе системных таймеров . . . . .	463
30.5. Интерфейс ЦАП . . . . .	471
30.6. Интерфейс SPI . . . . .	478
30.6.1. Обмен через SPI с внешним АЦП. . . . .	478
30.6.2. Обмен через SPI с внешней памятью . . . . .	492
30.7. Операции с Flash-памятью MSC12xx . . . . .	511
30.7.1. Чтение/модификация XRAM и Flash-памяти данных . . . . .	511
30.7.2. Чтение/модификация Flash-памяти программ . . . . .	520
30.8. Интерфейс USART . . . . .	529

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

<b>Приложение 1. Электрические параметры</b> . . . . .	544
Электрические параметры аналоговой части MSC120x при $V_{DD} = 5\text{ В}$ . . . . .	544
Электрические параметры аналоговой части MSC120x при $V_{DD} = 3\text{ В}$ . . . . .	548
Электрические параметры аналоговой части MSC121x при $V_{DD} = 5\text{ В}$ . . . . .	552
Электрические параметры аналоговой части MSC121x при $V_{DD} = 3\text{ В}$ . . . . .	559
Электрические параметры Flash-памяти MSC12xx . . . . .	565
Электрические параметры цифровой части MSC120x . . . . .	565
Электрические параметры цифровой части MSC1210 . . . . .	567
Электрические параметры цифровой части MSC1211/12/13/14. . . . .	569
Предельно допустимые режимы эксплуатации MSC12xx . . . . .	570



<i>Приложение 2. Динамические параметры и временные диаграммы</i> .....	571
Параметры внешнего тактового сигнала MSC120x .....	571
Динамические параметры MSC120x .....	572
Динамические параметры MSC1210 .....	572
Динамические параметры MSC1211/12/13/14 .....	575
Цикл чтения внешней памяти программ MSC121x .....	577
Цикл чтения внешней памяти данных MSC121x .....	577
Цикл записи внешней памяти данных MSC121x .....	578
Импульсы внешней тактовой частоты MSC12xx .....	578
<i>Приложение 3. Типовые характеристики MSC12xx</i> .....	579
<i>Приложение 4. Адреса точек входа в подпрограммы загрузочного ROM MSC121x</i> .....	586
<i>Приложение 5. Инструкции ассемблера 8051-совместимых микроконтроллеров</i> .....	588
ACALL — абсолютный вызов подпрограммы в пределах 2К .....	588
ADD, ADDC — суммирование, суммирование с учетом переноса .....	589
AJMP — переход по абсолютному адресу в пределах 2К .....	590
ANL — поразрядное логическое И .....	590
CJNE — сравнение и переход, если не равно .....	591
CLR — сброс регистра .....	591
CPL — дополнение (инверсия) регистра .....	591
DA — десятичная коррекция аккумулятора .....	591
DEC — декремент регистра .....	592
DIV — деление аккумулятора на В .....	592
DJNZ — декремент и переход, если не ноль .....	592
INC — инкремент регистра .....	593
JB — переход, если бит установлен .....	593
JBC переход, если бит установлен с последующим сбросом бита .....	593
JC — переход, если флаг переноса установлен .....	593
JMP — переход по адресу указатель данных + аккумулятор .....	594
JNB — переход, если бит не установлен .....	594
JNC — переход, если флаг переноса не установлен .....	594
JNZ — переход, если аккумулятор не нулевой .....	594
JZ — переход, если аккумулятор нулевой .....	594
LCALL — длинный вызов .....	594
LJMP — длинный переход .....	595
MOV — перемещение памяти из/в аккумулятор .....	595
MOV — перемещение из/в флаг переноса .....	596
MOV — перемещение из/в IRAM .....	596
MOV DPTR — перемещение значения в DPTR .....	597
MOVC — перемещение байта кода в аккумулятор .....	597
MOVX — перемещение данных из/в внешней RAM .....	597
MUL — умножение аккумулятора на регистр В .....	598
NOP — пустая операция .....	598
ORL — поразрядное логическое ИЛИ .....	598
POP — выгрузка значения из стека .....	598
PUSH — помещение значения в стек .....	599
RET — возврат из подпрограммы .....	599

RET1 — возврат из прерывания . . . . .	599
RL — сдвиг аккумулятора влево . . . . .	599
RLC — сдвиг аккумулятора влево через перенос . . . . .	599
RR — сдвиг аккумулятора вправо . . . . .	599
RRC — сдвиг аккумулятора вправо через перенос . . . . .	600
SETB — установка бита . . . . .	600
SJMP — короткий переход . . . . .	600
SUBB — вычитание из аккумулятора с заимствованием . . . . .	600
SWAP — смена тетрад аккумулятора . . . . .	601
XCH — обмен байтов . . . . .	601
XCHD — обмен цифр (младших тетрад) . . . . .	601
XRL — поразрядное исключающее ИЛИ . . . . .	602
Неопределенная инструкция . . . . .	602
<i>Приложение 6. Таблица шрифтов для русифицированного ЖКИ со встроенным контроллером управления, совместимым с HD44780 . . . . .</i>	603
Заключение . . . . .	604
Рекомендуемая литература . . . . .	605

# Предисловие автора

В настоящее время для разработки электронной аппаратуры различного назначения чрезвычайно широко используются встраиваемые микроконтроллеры (по отечественной классификации — однокристальные ЭВМ). Их выпускает и продвигает на рынок масса различных фирм-производителей. Ориентироваться во всем многообразии предлагаемых приборов довольно сложно, и разработчики зачастую испытывают определенные трудности при выборе элементной базы. Ситуация осложняется еще и тем, что многие производители не сопровождают свои изделия описаниями и спецификациями на русском языке.

Предлагаемая книга имеет целью предоставить заинтересованным читателям комплексную информацию о приборах семейства MSC12xx, выпускаемым фирмой Texas Instruments Incorporated.

Появление семейства MSC12xx на рынке последовало за слиянием фирм Texas Instruments Incorporated и Burr-Brown Products. Очевидно, поэтому приборы MSC12xx сочетали в себе достижения технологий обеих фирм. Во всяком случае, на момент написания этой книги микросхемы семейства MSC12xx являлись лидером в своем классе приборов. Есть все основания полагать, что фирма Texas Instruments и в дальнейшем будет развивать и расширять производство приборов этого семейства.

Приведенных в книге сведений, по мнению автора, вполне достаточно для использования MSC12xx на всех стадиях разработки электронных систем. Несмотря на то что предлагаемая книга в своей справочной части основана на переводе оригинальной документации производителя, ее полный англоязычный прототип отсутствует, поскольку на момент написания книги фирма Texas Instruments Incorporated ограничилась выпуском всего лишь индивидуальных описаний каждого из представителей семейства [1]...[8].

Книга представляет собой практическое руководство и справочное пособие для изучения приборов семейства MSC12xx и создания на их основе различных пользовательских проектов. Она предназначена для разработчиков электронной техники, студентов радиотехнических специальностей

тей и радиолюбителей. Необходимый уровень подготовки читателей предполагает знание основ цифровой и аналоговой схемотехники электронных устройств, а также основ написания программ на языках программирования низкого уровня. Некоторое количество приведенных в книге примеров программ написано на языке С, однако для освоения описываемых приборов MSC12xx умение программировать на С не является обязательным.

Первая часть книги содержит достаточно полную справочную информацию по семейству MSC12xx. В ее основу легли сведения, собранные и систематизированные автором путем перевода и анализа источников [1]...[13], [15]...[18]. Сюда входят: перечень типовых технических характеристик микросхем MSC12xx, описание их архитектуры, программной модели, аппаратного построения и программирования периферийных модулей семейства MSC12xx (каждый периферийный модуль описан в отдельной главе), а также рекомендации производителя по программированию и применению отдельных узлов приборов MSC12xx. Описание работы периферийных узлов и вычислительного ядра сопровождается примерами программных фрагментов на ассемблере и С, предоставленных фирмой-производителем.

Вторая часть содержит информацию о способах и средствах разработки-отладки приложений на основе приборов семейства MSC12xx, собранную и обработанную автором путем перевода и анализа источников [19]...[22]. Эти сведения дополнены сведениями из личного опыта автора, приобретенного при работе с MSC12xx. Описание программирования средств разработки-отладки и программирования снабжены примерами, поясняющими их применение на практике. Приведено краткое описание языка ассемблера для 8051-совместимых микроконтроллеров, включающее рекомендации по использованию ассемблерных инструкций, составленное на основе источника [1]. Помимо этого, во вторую часть книги входит описание алгоритмов и исходных тестов управляющих программ на ассемблере (с приведением самих этих текстов), демонстрирующих пользователю в «железе» работу основных периферийных узлов одного из представителей семейства MSC12xx — MSC1211Y5. Все программы написаны и отлажены до рабочего состояния лично автором. Каждая из них подробно документирована и является полностью законченным продуктом. Программы содержат демонстрационные компоненты, отдельные программные блоки-драйверы (оформленные в виде подпрограмм) периферийных узлов MSC1211 и нескольких внешних устройств. Это дает возможность применять их в пользовательских приложениях, содержащих MSC12xx и другие 8051-совместимые микроконтроллеры.

В списке рекомендуемой литературы приводятся названия источников, материал которых был использован при написании книги. В основ-

ном это оригинальные фирменные описания приборов и программных продуктов.

Поскольку в предлагаемой книге большое внимание уделено описанию архитектуры, программирования и способов применения встроенного модуля сигма-дельта АЦП MSC12xx, ее можно также использовать для изучения выпускаемых Texas Instruments специализированных микросхем АЦП семейства ADS, содержащих модуль сигма-дельта АЦП со сходной архитектурой.

Автор выражает благодарность фирме «Компэл» г. Москва (официальному дистрибьютеру Texas Instruments Incorporated в России) за любезно предоставленные образцы микросхем MSC1210, MSC1211, отладочные платы для их освоения и инструментальные программные средства разработки-отладки приложений на основе MSC12xx.

Материал, изложенный в книге, многократно проверен. Однако, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, автор не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. Кроме того, необходимо заметить, что при переводе и анализе оригинальной технической документации производителя автором было выявлено некоторое количество ошибок и несоответствий. В связи с этим автор не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием информации, содержащейся в данной книге.

Если кто-то из читателей пожелает высказать свои замечания по содержанию книги, он может это сделать, написав автору по адресу [ppr@yandex.ru](mailto:ppr@yandex.ru).

*П.П. Редькин*

# Часть 1

## СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО СЕМЕЙСТВУ MSC12xx

- Глава 1. Семейство MSC12xx
- Глава 2. Организация памяти
- Глава 3. Регистры специальных функций
- Глава 4. Базовые регистры
- Глава 5. Способы адресации
- Глава 6. Выполнение программы
- Глава 7. Системная синхронизация
- Глава 8. Таймеры/счетчики
- Глава 9. Последовательные порты
- Глава 10. Прерывания
- Глава 11. Широтно-импульсный модулятор/тональный генератор
- Глава 12. Аналого-цифровой преобразователь
- Глава 13. Интерфейс SPI/I<sup>2</sup>C MSC120x
- Глава 14. Интерфейс SPI/I<sup>2</sup>C MSC121x
- Глава 15. Модуль ЦАП
- Глава 16. Детектор пониженного напряжения питания
- Глава 17. Сторожевой таймер
- Глава 18. Система ФАПЧ MSC120x
- Глава 19. Аппаратная конфигурация
- Глава 20. Генератор аппаратных точек останова MSC121x
- Глава 21. Оптимизация потребляемой мощности
- Глава 22. Операции с Flash-памятью
- Глава 23. Подпрограммы загрузочного ПЗУ (ROM)
- Глава 24. Ошибки и аномалии

## Глава 1. СЕМЕЙСТВО MSC12xx

Семейство MSC12xx позиционируется фирмой-изготовителем как «прецизионные АЦП (и ЦАП) на одном кристалле с ядром 8051 и Flash-памятью» и, в соответствии с внутренней классификацией фирмы, относится к «микросистемам для обработки смешанных сигналов». Приборы MSC12xx ориентированы на прецизионные измерения напряжения и обработку результатов этих измерений с помощью аппаратных средств, размещенных на одном кристалле. Семейство MSC12xx рекомендуется для использования в приложениях, связанных со сбором и обработкой аналоговой информации. Каждый из членов семейства включает в себя не только модули, предназначенные для измерений (оцифровки) аналоговых сигналов и обработки их цифровых значений, но и целый набор дополнительных аналоговых и цифровых периферийных устройств.

ИМС MSC12xx имеют в своем составе аппаратный модуль высокоточного АЦП с целым набором встроенных вспомогательных узлов и функций, обеспечивающих весьма высокую разрешающую способность преобразований, и вычислительное ядро стандарта 8051 (8052) со средней, по сегодняшним меркам, предельной производительностью (до 8 MIPS) с разнообразной периферией.

Основные компоненты:

- расширенное по сравнению со стандартным микроконтроллерное ядро, совместимое со стандартом 8051 (8052);
- Flash-память программ и данных;
- аналоговые измерительные и обслуживающие модули;
- аналоговая и цифровая периферия.

### 1.1. Особенности ИМС семейства MSC12xx

Ниже приведены параметры и характеристики составляющих частей (блоков) MSC12xx, а также типовые параметры и характеристики для всего семейства.

### 1.1.1. Аналоговая часть

Параметры и характеристики аналогового блока:

- 24-битный (16-битный у MSC1202) АЦП без пропуска кодов;
- реальное разрешение 24-битного АЦП — 22 бита для частоты преобразования 10 Гц;
- реальное разрешение 16-битного АЦП — 16 бит для частоты преобразования 200 Гц;
- уровень собственных шумов 4-битного АЦП — 75 нВ;
- усилитель аналоговых сигналов на входе с программируемым коэффициентом усиления от 1 до 128;
- точность установки напряжения встроенного ИОН — 0.2%;
- температурный дрейф встроенного ИОН — 5 ppm/°C;
- температурный дрейф смещения — 0.02 ppm/°C;
- температурный дрейф усиления — 0.5 ppm/°C;
- до восьми дифференциальных/несимметричных аналоговых каналов;
- калибровка смещения/усиления, производимая программно;
- встроенный датчик температуры;
- буфер, подключаемый программно на вход АЦП;
- аппаратное обнаружение обрыва внешнего датчика;
- четыре 16-битных ЦАПа с возможностью программирования выходов (выход по напряжению или токовый выход);
- 8-битный ЦАП с токовым выходом (MSC120x).

### 1.1.2. Цифровая часть

Параметры и характеристики цифрового блока:

- 8051/8052-совместимый микроконтроллер;
- высокоскоростное ядро, у которого один командный цикл занимает четыре тактовых цикла;
- максимальная тактовая частота — до 40 МГц;
- длительность выполнения одной инструкции — 100 нс;
- система ФАПЧ с возможностью тактирования от внешнего резонатора 32 кГц;
- двойной регистр-указатель данных.

### 1.1.3. Память

Параметры и характеристики блока памяти:

- до 32К Flash-памяти программ/данных;
- разделяемая Flash-память программ и данных;
- ресурс памяти - 1 млн циклов стирания/записи;
- время хранения содержимого памяти - 100 лет;



- возможность последовательного программирования Flash-памяти;
- возможность подключения внешней памяти программ/данных (до 64К);
- СОЗУ данных на кристалле объемом 1280 байт;
- защита Flash-памяти от несанкционированного считывания;
- загрузочное ПЗУ объемом до 1К (2К);
- программирование управления «спящим» режимом.

### 1.1.4. Периферия

Параметры и характеристики периферии:

- до 34 линий ввода/вывода;
- дополнительный 32-битный аппаратный сумматор;
- 2 (3) 16-битных таймеров/счетчиков;
- системные таймеры;
- программируемый сторожевой таймер;
- 1 (2) полнодуплексный USART;
- ведущий/ведомый интерфейс SPI с режимом DMA;
- ведущий/ведомый интерфейс I<sup>2</sup>C;
- 16-битный ШИМ/генератор тональной частоты;
- программное управление подачей на узлы ИМС питающего напряжения;
- внутренний делитель частоты тактирования ядра;
- ток потребления в «спящем» режиме < 200 мкА;
- ток потребления в режиме останова < 100 нА;
- программируемый узел сброса при провалах напряжения питания;
- программируемый детектор пониженного напряжения питания;
- 20/21 источников прерываний;
- две аппаратных точки останова.

### 1.1.5. Другие параметры и характеристики

Параметры и характеристики, присущие всему семейству MSC12xx:

- исполнение в корпусах QFN-36, TQFP-48, TQFP-64;
- потребляемая мощность < 4 мВт;
- промышленный диапазон рабочих температур: –40...+125°C;
- диапазон питающих напряжений: 2.7...5.25 В.

### 1.1.6. Типовые приложения

Наиболее часто семейство MSC12xx используется в таких приложениях, как:

- управление производственными процессами;
- измерительная техника;

## 1.1. Особенности ИМС семейства MSC12xx

- жидкостная/газовая хроматография;
- анализаторы крови;
- портативные измерительные приборы;
- преобразователи давления;
- электронные весы;
- интеллектуальные датчики;
- системы сбора данных.

Особенности каждой микросхемы семейства MSC12xx приведены в Табл. 1.1 – 1.4.

Таблица 1.1. Аналоговая периферия и ядро семейства MSC12xx

Прибор	Разрешение/количество каналов АЦП	16-битный ЦАП с выходом по напряжению/напряжению или току	8-битный ЦАП с токовым выходом	Максимальная тактовая частота ядра [МГц]	Длительность командного цикла [нс]	Система ФАПЧ 32 кГц
MSC1200	24/8	—	1	33	121	●
MSC1201	24/6	—	1	33	121	●
MSC1202	16/6	—	1	33	121	●
MSC1210	24/8	—	—	33	121	
MSC1211	24/8	2/2	—	40	100	
MSC1212	24/8	2/2	—	40	100	
MSC1213	24/8	—/2	—	40	100	
MSC1214	24/8	—/2	—	40	100	

Таблица 1.2. Память семейства MSC12xx

Прибор	Размер встроенной Flash-памяти данных/программ [Кбайт]	Размер SRAM данных [байт]	Размер Boot ROM памяти [Кбайт]	Возможность подключения внешней памяти данных/программ (64К)
MSC1200	4 или 8	256	1	
MSC1201	4 или 8	256	1	
MSC1202	4 или 8	256	1	
MSC1210	4, 8, 16 или 32	1280	2	●
MSC1211	4, 8, 16 или 32	1280	2	●
MSC1212	4, 8, 16 или 32	1280	2	●
MSC1213	4, 8, 16 или 32	1280	2	●
MSC1214	4, 8, 16 или 32	1280	2	●

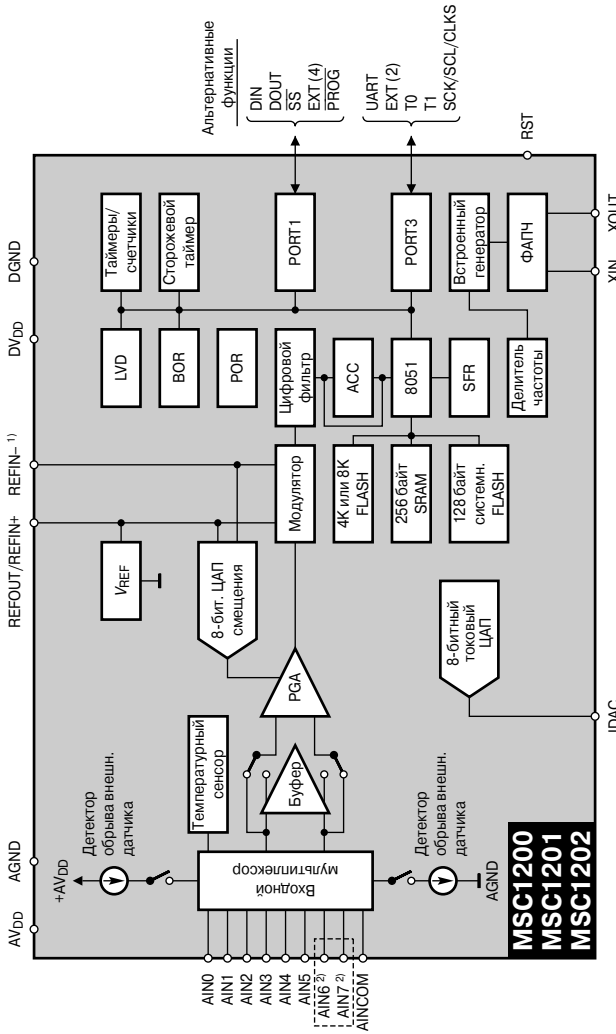
Таблица 1.3. Цифровая периферия семейства MSC12xx

Прибор	Линии ввода/вывода	Совместимость со стандартом	16-битные таймеры/счетчики	USART	SPI	I <sup>2</sup> C	16-битный ШИМ/тональный генератор	Источники прерываний
MSC1200	16	8051	2	1	1	1	—	20
MSC1201	16	8051	2	1	1	1	—	20
MSC1202	16	8051	2	1	1	1	—	20
MSC1210	34	8052	3	2	1	—	1	21
MSC1211	34	8052	3	2	1 (с DMA)	1	1	21
MSC1212	34	8052	3	2	1 (с DMA)	—	1	21
MSC1213	34	8052	3	2	1 (с DMA)	1	1	21
MSC1214	34	8052	3	2	1 (с DMA)	—	1	21

Таблица 1.4. Общие параметры MSC12xx

Прибор	Совместимость по выводам с другими приборами семейства	Потребляемая мощность в нормальном режиме [мВт]	Потребляемый ток в спящем режиме [мкА]	Потребляемый ток в режиме останова [нА]	Корпус
MSC1200	—	3	< 200	< 100	TQFP-48
MSC1201	MSC1202	3	< 200	< 100	QFN-36
MSC1202	MSC1201	3	< 200	< 100	QFN-36
MSC1210	—	4	< 1000	< 1000	TQFP-64
MSC1211	MSC1210	4	< 200	< 100	TQFP-64
MSC1212	MSC1210/1211	4	< 200	< 100	TQFP-64
MSC1213	MSC121x	4	< 200	< 100	TQFP-64
MSC1214	MSC121x	4	< 200	< 100	TQFP-64

Электрические параметры, временные диаграммы и типовые характеристики приборов семейства MSC12x приведены в приложении 1, а структурные схемы ИМС MSC12xx на Рис. 1.1 — 1.3.



<sup>1)</sup> При использовании внутреннего  $V_{REF}$  вывод  $REFIN-$  следует подключить к  $AGND$ .

<sup>2)</sup> AIN6 и AIN7 только в MSC1200.

Рис. 1.1. Структурная схема MSC1200/1201/1202