

ПРЕДИСЛОВИЕ

Структура книги	16
Учебные системы	17
Целевая аудитория	18
Благодарности	19

Глава 1. ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО СО ВСТРАИВАЕМЫМИ СИСТЕМАМИ

1.1. Что такое встраиваемая система?	22
1.2. Особенности встраиваемых систем	25
1.2.1. Работа в реальном времени	25
1.2.2. Миниатюризация размеров и процесс тестирования	26
1.2.3. Минимизация энергии потребления	26
1.2.4. Интерфейс пользователя и интерфейс сопряжения с объектом	27
1.2.5. Многозадачность	27
1.2.6. Минимизация стоимости	27
1.2.7. Ограничение объема памяти	27
1.2.8. Программно–аппаратный дуализм	28
1.3. Введение в микроконтроллеры семейства 68HC12 и HCS12	29
1.4. Микроконтроллеры HCS12	33
1.4.1. Семейство HCS12	35
1.4.2. Обозначения МК	35
1.4.3. Модельный ряд HCS12	35
1.5. Заключение по главе 1	36
1.6. Вопросы и задания	36

Глава 2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ И СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

2.1. Почему мы программируем микроконтроллеры на Си?	44
2.2. Преимущества программирования на языке ассемблер.....	45
2.3. Преимущества языков высокого уровня	45
2.3.1. Выбираем язык высокого уровня для программирования встраиваемых систем	47
2.3.2. Краткая история языка Си	47
2.4. Оптимальная стратегия - программирование на Си и на ассемблере.....	48
2.5. Структурное проектирование	49
2.5.1. Основные положения метода структурного проектирования	49
2.5.2. Документирование программ.....	58
2.5.3. Как язык Си соотносится со структурным проектированием	59
2.6. Рабочие тетради	59
2.6.1. Порядок ведения записей	59
2.6.2. Содержание записей.....	60
2.7. Блок-схемы алгоритмов.....	60
2.8. Пример применения.....	62
2.9. Заключение по главе 2	63
2.10. Что еще почитать?	65
2.11. Вопросы и задания	66

Глава 3. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ НА СИ

3.1. Введение в программирование на Си.....	71
3.1.1. Глобальные и локальные переменные	71
3.2. Типы данных в Си	72
3.3. Операторы языка Си.....	76
3.4. Функции	82
3.4.1. Что такое функция?	82
3.4.2. Основная программа	83
3.4.3. Прототипы функций.....	84
3.4.4. Описание функций	85
3.4.5. Вызов функций, передача параметров, возврат полученных значений	86
3.5. Файлы заголовков	87
3.6. Директивы компилятора	88

3.6.1. Директива условной компиляции	88
3.7. Конструкции программирования.....	92
3.8. Операторы для организации программных циклов.....	93
3.8.1. Оператор FOR	93
3.8.2. Оператор WHILE	94
3.8.3. Оператор DO – WHILE.....	95
3.9. Операторы принятия решения.....	95
3.9.1. Оператор IF.....	96
3.9.2. Оператор IF-ELSE	97
3.9.3. Оператор IF-ELSE IF-ELSE	97
3.9.4. Оператор SWITCH.....	99
3.10. Массивы.....	100
3.11. Указатели	102
3.12. Структуры.....	104
3.13. Процесс программирования и отладки микропроцессорной системы.....	106
3.13.1. Технология создания программного кода	106
3.13.2. Режим отладки BDM.....	112
3.13.3. Аппаратные и программные средства отладчика P&E от компании PEMICRO	117
3.13.4. Эмуляторы	118
3.13.5. Логические анализаторы	122
3.14. Особенности компилятора и ассемблера	123
3.15. Заключение по главе 3	134
3.16. Что еще почитать?	134
3.17. Вопросы и задания	134

Глава 4. **МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ 68HC12 И HCS12: АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ**

4.1. Аппаратные средства МК семейства 68HC12	139
4.2. Аппаратные средства МК семейства HCS12	147
4.3. Режимы работы МК семейства 68HC12/HCS12	149
4.3.1. Рабочие режимы.....	150
4.3.2. Режимы работы отладочной платы M68EVB912B32.....	151
4.4. Назначение выводов МК	152
4.5. Регистры специальных функций МК.....	153
4.5.1. Виртуальный адрес блока регистров.....	156
4.6. Порты ввода/вывода	157
4.6.1. Спецификация портов ввода/вывода	158
4.7. Подсистема памяти МК B32.....	164

4.7.1. Карта памяти МК В32	166
4.7.2. Изменение адресов в карте памяти МК.....	166
4.8. Подсистема памяти МК DP256	167
4.9. Состояния сброса и прерывания МК	168
4.9.1. Реакция МК на внешние события	169
4.10. Состояния сброса и прерывания в МК 68HC12	170
4.10.1. Состояние сброса МК.....	171
4.10.2. Прерывания.....	173
4.10.3. Вектора исключений	177
4.10.4. Система приоритетов для исключений.....	180
4.10.5. Регистры подсистемы прерывания	182
4.11. Процесс перехода к подпрограмме прерывания.....	183
4.12. Оформление подпрограммы прерывания на Си	187
4.13. Система тактирования.....	189
4.13.1. Система тактирования отладочной платы МС68HC912В32ЕVВ.....	189
4.14. Подсистема реального времени – модуль таймера	191
4.14.1. Структура модуля таймера	192
4.14.2. Счетчик временной базы.....	193
4.14.3. Регистры для управления счетчиком временной базы... 199	
4.14.4. Каналы захвата/сравнения.....	202
4.14.5. Счетчик событий.....	225
4.15. Модуль меток реального времени.....	230
4.16. Модуль таймера EST в составе МК МС68HC12BE32 и HCS12	233
4.16.1. Небуферизированные каналы входного захвата	235
4.16.2. Буферизированные каналы входного захвата	235
4.16.3. Особенности счетчиков событий	236
4.16.4. Регистры управления модуля EST	236
4.17. Обмен информацией в последовательном коде: многофункциональный последовательный интерфейс	240
4.17.1. Термины последовательного обмена	243
4.18. Контроллер асинхронного обмена SCI	245
4.18.1. Передатчик контроллера SCI	248
4.18.2. Приемник контроллера SCI	249
4.18.3. Регистры контроллера SCI	250
4.18.4. Алгоритмы программного обслуживания контроллера SCI.....	257
4.18.5. Пример программирования контроллера SCI.....	258
4.19. Синхронный последовательный интерфейс SPI	260
4.19.1. Концепция интерфейса SPI.....	260

4.19.2.	Алгоритмы работы контроллера SPI	261
4.19.3.	Регистры контроллера SPI	263
4.19.4.	Алгоритмы программного обслуживания контроллера SPI	270
4.19.5.	Периферийные ИС с интерфейсом SPI.....	273
4.20.	Введение в теорию аналого-цифрового преобразования	274
4.20.1.	Частота дискретизации сигнала	274
4.20.2.	Представление аналоговой величины в цифровом коде.....	275
4.20.3.	Квантование по уровню и разрешающая способность	277
4.20.4.	Скорость потока данных оцифровки	277
4.21.	Принцип действия АЦП.....	279
4.21.1.	АЦП последовательного приближения	279
4.22.	Подсистема аналого-цифрового преобразования МК 68HC12	282
4.22.1.	Структура и порядок функционирования.....	282
4.22.2.	Регистры управления модуля ATD	284
4.22.3.	Пример программирования модуля ATD.....	293
4.22.4.	Обслуживание прерываний от модуля ATD	296
4.23.	Особенности модуля ATD в составе МК семейства HCS12	297
4.23.1.	Выбор разрядности АЦП	297
4.23.2.	Представление результата измерения.....	297
4.23.3.	Запуск измерительной последовательности от внешнего сигнала	299
4.23.4.	Программируемое число преобразований в измерительной последовательности.....	299
4.23.5.	Увеличение числа аналоговых входов	300
4.23.6.	Регистры модуля ATD HCS12	300
4.24.	Подсистема широтно-импульсной модуляции	300
4.24.1.	Структура модуля PWM.....	302
4.24.2.	Режимы центрированной и фронтальной ШИМ	305
4.24.3.	Система тактирования.....	306
4.24.4.	Регистры модуля PWM	308
4.24.5.	Примеры программирования модуля PWM	313
4.25.	Ограничение энергии потребления.....	317
4.25.1.	Как остановить МК 68HC12	317
4.25.2.	Как вывести МК 68HC12 из состояния пониженного энергопотребления.....	318
4.26.	Советы по использованию платы отладки MC68EV912B32	320
4.27.	Заключение по главе 4	323

- 4.28. Что еще почитать?328
 4.29. Вопросы и задания323

Глава 5. ОСНОВЫ СОПРЯЖЕНИЯ МК С УСТРОЙСТВАМИ ВВОДА/ВЫВОДА

- 5.1. Электрические характеристики МК 68НС12328
 5.1.1. Нагрузочные характеристики330
 5.1.2. Что произойдет, если Вы должным образом не учтете электрические характеристики периферийных ИС?331
 5.1.3. Входные и выходные характеристики логических элементов332
 5.2. Устройства дискретного ввода: кнопки, переключатели, клавиатуры334
 5.2.1. Кнопки и переключатели334
 5.2.2. DIP переключатели335
 5.2.3. Клавиатуры336
 5.3. Устройства индикации: светодиоды, семисегментные индикаторы, индикаторы логического выхода с тремя состояниями342
 5.3.1. Светодиоды342
 5.3.2. Семисегментные индикаторы343
 5.3.3. Индикаторы для логического выхода с тремя состояниями344
 5.4. Программное обслуживание дискретных входов и выходов346
 5.5. Подавление механического дребезга контактов переключателей346
 5.5.1. Аппаратная защита от механического дребезга контактов347
 5.5.2. Программная защита от механического дребезга контактов348
 5.5.3. Пример программной защиты349
 5.6. Жидкокристаллические индикаторы352
 5.6.1. Краткие сведения о жидкокристаллических индикаторах352
 5.6.2. Сопряжение МК с символьным ЖК индикатором353
 5.6.3. Сопряжение МК с графическим ЖК дисплеем359
 5.7. Управление электрическим двигателем367
 5.7.1. Силовые полупроводниковые ключи367
 5.7.2. Оптоэлектронная потенциальная развязка368
 5.7.3. Инвертор напряжения370
 5.8. Кодовый замок371
 5.8.1. Схема подключения периферийных устройств373

5.8.2. Программа управления.....	373
5.9. Интерфейс МК с аналоговыми датчиками	378
5.10.Интерфейс RS-232.....	380
5.11.Заключение по главе 6	381
5.12.Что еще почитать ?	382
5.13.Вопросы и задания	382

Глава 6. ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ В РЕАЛЬНЫЙ МИР!

6.1 Ужасные истории об ошибках проектирования.....	386
6.1.1. Случай квадратичного генератора	386
6.1.2. Случай таймера для лазерного излучения.....	388
6.2. Правила обращения с микросхемой 68HC12 и рекомендации по проектированию	391
6.2.1. Рекомендации по обращению со CMOS	392
6.2.2. Рекомендации по проектированию на CMOS	392
6.3. Исследование помех	393
6.3.1. Что такое помехи.....	393
6.3.2. Электромагнитная совместимость.....	395
6.3.3. Спецификации системы помех – не будем крепки задним умом!	395
6.3.4. Методы снижения помех	396
6.4. Защитное программирование	399
6.5. Методики испытаний на наличие помех.....	401
6.5.1. Обнаружение помех	401
6.5.2. Испытание на чувствительность к помехам	401
6.5.3. Испытания на электромагнитную совместимость	402
6.6. Управление энергопотреблением	403
6.6.1. Параметры потребляемой мощности для процессора 68HC12	403
6.6.2. Типы батарей	404
6.6.3. Емкость батарей	404
6.6.4. Стабилизация напряжения	404
6.6.5. Схемы супервизора для микропроцессора	406
6.6.6. Меры энергосбережения	407
6.7. Заключение по главе 6	408
6.8. Что еще прочитать.....	408
6.9. Вопросы и задания	409

Глава 7. ПРИМЕРЫ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

7.1. Система привода робота, движущегося вдоль стенок лабиринта	412
--	-----

7.1.1.	Описание проекта	412
7.1.2.	Системы 68НС12, используемые в проекте	415
7.1.3.	Описание некоторых компонентов системы.....	415
7.1.4.	Структура программы и блок-схема алгоритма	417
7.1.5.	Программный код	418
7.2.	Лазерный проектор	426
7.2.1.	Описание проекта	426
7.2.2.	Системы 68НС12 используемые в проекте	426
7.2.3.	Описание некоторых компонентов системы.....	426
7.2.4.	Аппаратные средства	432
7.2.5.	Структура программы и блок-схема алгоритма	432
7.2.6.	Программный код	433
7.2.7.	Испытания устройства	437
7.2.8.	Заключительные испытания системы управления.....	438
7.3.	Цифровой вольтметр	438
7.3.1.	Описание проекта	438
7.3.2.	Системы 68НС12 используемые в проекте	438
7.3.3.	Основы теории: повторный расчет интерфейса АЦП	438
7.3.4.	Структура программы и блок-схема алгоритма	439
7.3.5.	Программный код	440
7.3.6.	Использование вольтметров для измерения неэлектрических величин	444
7.4.	Стабилизация скорости вращения двигателя с использованием оптического тахомера	445
7.4.1.	Описание проекта	445
7.4.2.	Немного теории.....	448
7.4.3.	Анализ	457
7.4.4.	Структура программы и блок-схема алгоритма	458
7.4.5.	Код	459
7.4.6.	Испытания	463
7.5.	Парящий робот.....	463
7.5.1.	Описание проекта	463
7.5.2.	Системы НС12 используемые в проекте	464
7.5.3.	Теоретическое обсуждение.....	464
7.5.4.	Структура программы и блок-схема алгоритма	465
7.5.5.	Программный код	466
7.5.6.	Некоторые комментарии.....	472
7.6.	Система защиты компьютера, основанная на нечеткой логике ..	472
7.6.1.	Описание проекта	472
7.6.2.	Использование системы НС12	473

7.6.3.	Основы теории	473
7.6.4.	Структура программы и блок-схема алгоритма	473
7.6.5.	Описание системы.....	474
7.6.6.	Обсуждение проекта	480
7.6.7.	Программный код	481
7.6.8.	Некоторые комментарии.....	490
7.7.	Электронная версия игры в «15».....	490
7.7.1.	Описания проекта.....	490
7.7.2.	Системы HCS12 используемые в проекте	492
7.7.3.	Основы теории	492
7.7.4.	Схемное решение, структура программы и блок схема алгоритма	492
7.7.5.	О компонентах системы	492
7.7.6.	Программный код	493
7.7.7.	Некоторые комментарии.....	512
7.8.	Приложение: программирования флеш-памяти B32 EVB	512
7.9.	Заключение по главе 7	513
7.10.	Что еще прочитать ?.....	514
7.11.	Вопросы и задания	515

Глава 8. **ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

8.1.	Образное сравнение: «живая» операционная система в режиме реального времени	518
8.2.	Что является целью ОСРВ?	519
8.3.	Обзор концепций	522
8.3.1.	Требования к динамическому распределению RAM	522
8.3.2.	Динамическое распределение памяти	525
8.3.3.	Структуры данных	526
8.4.	Основные понятия	545
8.4.1.	Что такое задача?	545
8.4.2.	Управление задачами	547
8.4.3.	Компоненты многозадачных систем	558
8.5.	Типы операционных систем реального времени.....	560
8.5.1.	Системы с циклическим опросом.....	560
8.5.2.	Циклический опрос с прерываниями	561
8.5.3.	Круговые системы.....	562
8.5.4.	Смешанные системы	562
8.5.5.	Системы с управлением по прерыванию	563
8.5.6.	Кооперативная многозадачность	564

8.5.7. Многозадачные систем с преимущественным приоритетом	564
8.6. Проблемы ОСРВ	565
8.6.1. Конкуренция	565
8.6.2. Повторная входимость	567
8.6.3. Межзадачные связи	567
8.6.4. Безопасность, проверка и безотказная работа	568
8.6.5. Главный вопрос	568
8.7. Выполнение операционной системы в режиме реального времени	569
8.8. Базовое примечание: контроллер стереоусилителя и система циклического опроса	569
8.8.1. Краткий обзор проекта	569
8.8.2. Пример кода	570
8.8.3. Испытание контроллера усилителя	583
8.9. Другая прикладная программа: цикл опроса с прерываниями	584
8.10. Сложное прикладное устройство: имитатор ОСРВ	585
8.10.1. Краткий обзор проекта	585
8.10.2. Типовой код	587
8.11. Заключение по главе 8	591
8.12. Что еще почитать?	591
8.13. Вопросы и задания	592

Глава 9. **РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СЕТИ С ИНТЕРФЕЙСОМ MSCAN**

9.1. Компьютерные сети	596
9.2. Промышленные сети	597
9.3. Сети с протоколом CAN	598
9.3.1. Протокол CAN	598
9.3.2. Модуль контроллера последовательного обмена msCAN12	602
9.3.3. Проблемы синхронизации	620
9.3.4. Конфигурирование модуля msCAN12 для работы в сети	623
9.4. Различия между контроллерами msCAN в составе 68HC12 и HCS12	626
9.5. Пример программирования контроллера msCAN	627
9.6. Контроллер последовательного обмена BDLC	633
9.7. Заключение по главе 9	633
9.8. Что еще почитать?	634
9.9. Вопросы и задания	634

ПРЕДИСЛОВИЕ

В начале 2002 года наша первая книга «Микроконтроллеры семейства 68HC12: Теория и применение» была издана издательством Prentice Hall. Нашими целями были: представить основы программирования на ассемблере; проиллюстрировать работу отдельных блоков в составе микроконтроллера и представить методы сопряжения различных внешних устройств с микроконтроллерами. В качестве примера мы использовали автономный мобильный робот для иллюстрации совместной работы микроконтроллера во встраиваемой системе.

Наша вторая книга, посвященная встраиваемым микропроцессорным системам «Разработка и применение встраиваемых систем на основе микроконтроллеров семейства 68HC12 и HCS12», охватывает проблемы не раскрытые в первой книге. Нашей целью в ней было разработать учебное пособие по проектированию встраиваемых систем. Мы постарались провести читателя от основ системного программирования через применения операционных систем реального времени к решению задач распределенного управления. Вместо того чтобы «нырнуть на глубину в бассейн» мы начали с обучения концепциям системного проектирования и программирования на языке С. Затем мы двинулись к обсуждению специфического аппаратного обеспечения, реализованного на кристаллах микроконтроллеров семейств 68HC12/HCS12. В начале этих глав мы придерживались идеологии «ходьбы перед бегом». Мы предполагали, что читатель имеет фундаментальные но базовые знания по организации программно-аппаратного обеспечения микроконтроллеров. Мы считаем это правильным подходом поскольку целевой аудиторией для книги являются студенты учебных заведений вовлеченные во второй цикл обучения разработки встраиваемых систем. Темы обучения в начальных главах книги могут быть пропущены инженерами с опытом. Однако мы получили много пожеланий от таких инженеров на включении этого материала в книгу.

Имея такой задел, мы затем перешли к рассмотрению большого количества примеров встраиваемых систем. Примеры были выбраны таким образом, чтобы читатель познакомился с разнообразными примерами сопряжения различных устройств ввода-вывода с системой. В завершении книги рассматриваются такие разделы как операционные системы реального времени (RTOS) и мультипроцессорные системы. Мы коснулись этих сложных тем только после того как рассмотрели основы микропроцессорных и встраиваемых систем.

Мы имели несколько целей при написании этой книги.

1. Мы хотели, чтобы читатель приобрел навыки программирования как на языке ассемблера так и на языке С при разработке встраиваемых систем управления на основе микроконтроллеров.;

2. Изложить методические аспекты проектирования встраиваемых систем;
3. Представить функциональное аппаратное обеспечение микроконтроллеров;
4. Раскрыть методы сопряжения с микроконтроллерами различных периферийных устройств при создании встраиваемых систем;
5. Рассмотреть технологии по решению узких мест при разработке встраиваемых систем, связанные с применением операционных систем реального времени, а также многопроцессорных систем.

Все содержание книги построено с учетом этих целей. Наша мотивация по написанию этой книги исходила из того, что на моменте ее подготовки не существовало всестороннего учебника для студентов по семействам 68HC12/HCS12, рассматривающего процесс разработки и программирования встраиваемых систем на микроконтроллерах.

Мы предприняли попытку практической ориентации книги с сильным упором на обучение и многочисленными практическими примерами. Основанные на реальных применениях, эти примеры сфокусированы на приобретении навыков по разработке встраиваемых систем, методов синхронизации и подавлению шумов, а также способов отыскания неисправностей. Книга представляет обзор языка программирования Си, методов структурного программирования, микроконтроллеров семейств 68HC12/HCS12, детальное обсуждение проблем RTOS, многопроцессорных систем и иллюстрацию концепций разработки встраиваемых систем.

Вначале книги мы представляем читателю концепции структурной разработки систем. Используя подход функционального разбиения системы сверху вниз, студенты будут в состоянии понять любые проблемы связанные со сложностью структуры встраиваемых систем. Мы коснулись некоторых принципов системного подхода к разработке, описанного Meilir Page-Jones в его классической книге «Practical Guide to Structured Systems Design». Эти методы работают в равной степени хорошо при разработке программного, аппаратного и программно-аппаратного обеспечения встраиваемых систем. Однажды их представив, мы их активно используем в дальнейшем во всей книге.

Структура книги

В каждой главе мы подробно представляем последовательность и значение описываемых разделов. Каждая глава начинается с описания целей поставленных нами при изложении материала. Это позволяет читателю ясно представлять задачу при чтении главы. После представления основных концепций главы, на конкретном примере рассматриваются применение ключевых понятий и технологий.

В первой главе мы представили понятие встраиваемых систем и специфические проблемы связанные с их разработкой и применением. Глава 2 описывает преимущества программирования на языках высокого уровня – High Level Language (HLL). Мы сбалансировали обсуждение методов программирования на языке ассемблер и HLL и показали, что программы для встраиваемых систем могут содержать оба подхода. Мы обсудили ключевые концепции структурного программирования, позволяющие разбить большие проекты на более понятные и легко реализуемые части. Затем мы применили эти понятия на этапах разработки, реализации и тестирования систем. Мы дали почувствовать читателю некую комфортность использования такого подхода на примерах простых систем прежде чем переходить к более сложным случаям.

В главе 3 мы рассматриваем процесс программной/компиляции/асSEMBЛИРОВАНИЯ анализируя принципы программирования на языке C. В завершении главы рассматриваются методы и средства программирования и отладки программ. При рассмотрении проблем программирования мы намерено ушли от любых специфических особенностей компиляторов. На сегодняшний день существуют очень много доступных компиляторов для семейств 68HC12/HSC12. В четвертой главе мы описываем структуру семейств 68HC12/HSC12 и их отдельных представителей. В дальнейшем мы иллюстрируем их применение в реальных системах управления.

В главе 5 мы изучаем методы сопряжения внешних устройств с микроконтроллерами. Анализ начинается с простых примеров подключения переключателей и индикаторов и заканчивается такими более сложными устройствами как жидко-кристаллические дисплеи. Шестая глава развивает методы сопряжения микроконтроллеров с устройствами реального мира. В ней разделяются теоретические проблемы построения встраиваемых систем от проблем реально работающих систем. Каждая проблема вначале определяется, а затем подкрепляется методами ее практической реализации.

В главе 7 мы помещаем микроконтроллеры 68HC12/HSC12 в реальные системы. В каждом примере мы обеспечиваем сквозное описание проекта, алгоритм работы и код, необходимый для реализации системы. Мы скрупулезно подошли к подбору примеров так, чтобы все они были реализуемы на микроконтроллерах семейства 68HC12/HSC12. В восьмой главе мы рассмотрели проблемы применения операционных систем реального времени. Мы начали с определений RTOS, а затем перешли к обсуждению возможностей их реализации. В дальнейшем мы рассмотрели проблемы, связанные с реализацией RTOS. Мы предполагали, что читатель не имеет практического опыта работы с системами подобной сложности.

Глава 9 рассматривает распределенные системы. Такие системы содержат более одного микропроцессора в своей структуре. Мы представили методы и подходы, позволяющие сопрягать их в систему, используя встроенный CAN контроллер в семейства 68HC12/HSC12.

В дополнению к содержанию книги мы подготовили и поддерживаем справочный веб сайт www.prenhall.com/pack. Он содержит справочную информацию по семействам 68HC12/HSC12, файлы программ на C, и программно-аппаратные средства поддержки микроконтроллеров семейства 68HC12/HSC12. Для преподавателей этот веб сайт также содержит дополнительный материал включая лекционные слайды в Power Point и рекомендации как заказать информацию по всем решениям задач, представленных во всех домашних заданиях в каждой главе.

Учебные системы

Для иллюстрации системных принципов в главах с 1 по 9 мы рассматривали многочисленные примеры. Примеры были разработаны для двух учебных систем: отладочной платы M68HC912B32EVБ (B32EVБ) и для MC9S12DP256 или DP256. Мы выбрали отладочную плату B32EVБ ввиду ее широкого распространения, разумной цены и что наиболее важно ее многими полезными функциями. EVБ имеет интерфейс RS-232, работает от одного источника питания, имеет легкий доступ к основным контрольным точкам через четыре группы разъемов и монтажное поле для размещения дополнительной схемотехники при анализе систем. EVБ также

имеет хороший набор функций памяти, включающий в себя 32К байт электрически перепрограммируемой флэш памяти программ (EPROM), 1К байт ОЗУ и 768 байт побайтно стираемой EEPROM для записи данных. Во флэш памяти расположен резидентный монитор/отладчик программ D-Bug12. Мы опишем в деталях все отмеченные свойства в гл. 4. В32 является отличным учебным средством, но оно может быть также успешно использована для реализации прототипов отлаживаемых систем.

Читатели, которые не намерены использовать В32 EVB, могут быть уверены, что большинство из рассмотренных в книге примеров могут быть реализованы на других вариантах отладочных средств семейств 68HC12/HSC12.

Поскольку базисные концепции и функциональные блоки различных микроконтроллеров практически идентичны друг другу, то полученные знания семейств 68HC12/HSC12 могут быть естественным образом применены и для других микроконтроллеров. В гл.7 и 9 мы используем микроконтроллер MC9S12DP256. HCS12 микроконтроллер имеет 256 К байт флэш память, несколько каналов msCAN интерфейсов с соответствующими контроллерами. Он также имеет большой объем ОЗУ. В распоряжении разработчиков имеются различные типы отладочных плат.

Целевая аудитория

Основной аудиторией для книги являются студенты университетов, изучающих курс вычислительные микропроцессорные системы. Поскольку все ABET (Accreditation Board for Engineering and Tehnology, Inc) требуют наличия такого курса в своих программах, мы надеемся, что преподаватели этих дисциплин будут активно использовать данную книгу в своей практике. Мы ожидаем также, что студенты первого года обучения языков программирования найдут эту книгу для себя также полезной. Владение темой языков программирование позволит студентам легко разобраться с приведенными в книге примерами. В идеале студенты будут имеет полный курс введения в микроконтроллеры. Однако ввиду экспериментальной направленности книги студенты должны будут самостоятельно заполнить пробелы в знаниях там где это будет необходимо.

Основной упор в книге делается на второй семестр курса микроконтроллеры/микропроцессоры программы электротехнического и вычислительного цикла дисциплин. Разные учебные заведения предлагают микропроцессорный цикл на различных этапах обучения студентов. Наши студенты слушают базовый курс по цифровой технике на первом году обучения. После этого они изучают первую часть курса микропроцессорных систем. В завершении, вторую часть микропроцессорного курса они слушают на последних годах обучения. Мы надеемся, что данная книга будет востребована студентами на втором этапе обучения после освоения первого этапа изучения микроконтроллеров.

Мы написали эту книгу для применения ее в качестве учебного пособия для учебных заведений, читающих цикл микропроцессорной техники. В тоже время мы надеемся, что практическая направленность материала будет полезна инженерам для самостоятельного изучения раздела. Мы уверены, что знания о встраиваемых системах будут все больше и больше востребованы для все более широкой аудитории студентов электротехнических и электронных специальностей. Мы живем в обществе

где все больше инженерных проблем решается с помощью встраиваемых систем. Мы предвидим, что скорость внедрения встраиваемых систем будет увеличиваться с ростом требований к интеллектуальности локальных систем.

Благодарности

Эта книга является совокупным трудом многих специалистов. Конечно же ни одна хорошая книга не может появиться без выдающегося издателя и его команды. Мы благодарны Tom Robbins и Alice Dworkin из Prentice Hall за их веру в проект. Было большим удовольствием работать с Kevin Bradley и его сотрудниками из Sunflower Publishing Services. Мы благодарны им за их отличную редакторскую работу. Мы высоко оцениваем отзыв и обратную связь от Barry Mullins из Air Force Institute of Technology. В результате всех этих усилий содержание книги значительно улучшилось. Мы также высоко ценим дельные замечания и обратную связь, полученную по окончательной версии книги от Jerry Hamman из University of Wyoming; John Reece из Mercer College из Macon, Georgia и William Stapleton из University of Alabama. Мы также очень благодарны Karen Bosco из Motorola за ее помощь в получении разрешения от Motorola использовать рисунки в книге.

Мы признательны руководству нашего факультета за их поддержку. Colonel Alan Klayton (USAF Academy) постоянно поддерживал нашу работу и осуществлял многостороннюю помощь. John Steadman (ранее работавший в University of Wyoming, а в настоящее время декан электротехнического факультета в University of South Alabama), активно воодушевлял нас на написание этой книги. Мы благодарны большому количеству студентов вовлеченных в учебный процесс по курсам микропроцессорной технике в отмеченных выше университетах. Их обратная связь оказала нам большую помощь в изложении материала книги. Abbie Wells, Scott Lewis, Joel Perlin, Carrie Hernandez, Ted Dibble, Tom Schei, Charles Straley, Pamela Beavis и Austin Griffith из университета Wyoming написали ряд программ в примерах и оказали значительную помощь в переходе от семейства от семейства 68HC11 к семейству HC12. В дополнении к этому мы хотели бы поблагодарить многих наших коллег из Air Force Academy и University of Wyoming.

Ряд примеров, представленных в книге базировались на нашем опыте работы на факультетах электротехники в отмеченных ранее университетах. Несмотря на то, что мы старались исправить все допущенные ранее ошибки, книга может содержать еще не выявленные, что может еще сказаться на работе программ.

Я хотел бы еще отметить Clarence Zarn, очень дорогого друга семьи, из-за влияния которого я стал инженером. Когда я был еще ребенком, моя семья проводила много отпусков с семьей Zarns. Меня брали в офис Clarence, полный книг, справочников, схем и плакатов, иллюстрирующих многообразный мир техники. В то время Clarence работал инженером и был вице-президентом компании Pentzien Corporation of Omaha, Nebraska в течение долгого времени. Недавно он подарил мне свою логарифмическую линейку (1940), которой он пользовался долгие годы. Я буду хранить ее всегда. Он повторял, что инженерная работа была и всегда останется востребованной. Большое спасибо моим родителям. Спасибо моим бабушкам Eleonore и Jackie, а также дедушке Frank за постоянную веру в меня. Спасибо Young Shin и Rana и Sung Bock и Chong Kon за мотивацию и постоянную поддержку. Осо-

бая благодарность моему отцу за воодушевления меня на этот труд, в то время когда он сам боролся с раком. В заключении хочется отметить, что эта работа не могла бы осуществиться без поддержки членов нашей семьи: Cindy, Heidi, Hearther, Jon R., Christine, Jon B., Andrew и Graham. Примите нашу благодарность

Steven F. Barrett
Daniel J. Pack

Глава

1

ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО СО ВСТРАИВАЕМЫМИ СИСТЕМАМИ

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ГЛАВЫ ВЫ СМОЖЕТЕ:

- Дать определение термину «вычислитель»;
- Перечислить основные блоки вычислителя. Описать функции этих блоков;
- Объяснить значение терминов: встраиваемая система, микроконтроллер, компьютер общего применения;
- Привести примеры встраиваемых микропроцессорных систем управления;
- Перечислить основные проблемы, которые возникают в процессе разработки встраиваемых систем;
- Пояснить термин «работа в реальном времени» в контексте обсуждения встраиваемых систем;
- Описать основные функциональные блоки микроконтроллеров семейства 68HC12 и семейства HCS12.
- Перечислить основные различия между микроконтроллерами семейства 68HC12 и семейства HCS12.

1.1.	Что такое встраиваемая система?	22
1.2.	Особенности встраиваемых систем.....	25
1.3.	Введение в микроконтроллеры семейства 68HC12 и HCS12	29
1.4.	Микроконтроллеры HCS12.....	33
1.5.	Заключение по главе 1.....	36
1.6.	Вопросы и задания	36

В этой главе мы познакомим Вас с теми проблемами, которые возникают при проектировании, реализации и тестировании встраиваемых микропроцессорных систем. Мы начнем наше рассмотрение с достаточно общих понятий, однако в разделе 1.3 произойдет Ваше первое знакомство с системами на микроконтроллерах семейств 68HC12 и HCS12.

1.1. Что такое встраиваемая система?

Любая механическая или электрическая система, которая имеет в своем составе устройство управления, выполненное на основе вычислителя, называется встраиваемой системой (Embedded System). Перед тем, как мы продолжим, следует дать определение термину «вычислитель». Все вычислители обязательно состоят из следующих функциональных блоков: центрального процессора (ЦП), запоминающего устройства (ЗУ) устройств ввода/вывода (УВВ) и межмодульных магистралей. Центральный процессор содержит в себе арифметико-логическое устройство (АЛУ), устройство управления и некоторое количество регистров. АЛУ выполняет операции над данными, которые представлены в цифровом коде. Типовыми для АЛУ являются следующие арифметические и логические операции: сложение, вычитание, умножение, деление, логические операции И, ИЛИ. ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, НЕ (инверсия).

Вычислитель, центральный процессор которого выполнен на основе одной большой интегральной схемы (ИС), именуемой микропроцессором (МП), называют микро_ЭВМ. Самый известный пример микро_ЭВМ – это персональный компьютер (ПК). Интегральные схемы, которые объединяют на одном полупроводниковом кристалле все основные функциональные блоки вычислителя, т.е. центральный процессор, запоминающее устройство, устройства для ввода и вывода информации и межмодульные магистрали, называют микроконтроллером (МК).

Блок памяти вычислителя или микроконтроллера хранит коды программы и данные, которые необходимы для выполнения вычислений. По способу организации блока памяти различают вычислительные системы с архитектурой фон Неймана или с Гарвардской архитектурой. Архитектура фон Неймана предоставляет возможность хранения в одних и тех же ячейках памяти, как кодов программы, так и данных. При Гарвардской архитектуре для программы и для данных выделены отдельные области памяти. Гарвардскую архитектуру можно встретить в мощных вычис-

лительных системах, для которых характерно наличие области кэш памяти. В целом архитектура современных компьютеров и микроконтроллеров представляет собой некоторую оригинальную структуру на основе двух этих архитектур.

Устройства ввода/вывода обеспечивают связь центрального процессора с внешним миром. Обычно устройства ввода используются для приема в вычислительную систему информации с датчиков, фиксирующих состояние управляемого объекта, а также для приема команд управления от оператора. Устройства вывода предназначаются для выдачи команд и сигналов управления объектом, а также для отображения информации о текущем состоянии объекта. Система межмодульных магистралей обеспечивает соединение трех перечисленных блоков: центрального процессора, памяти и устройств ввода/вывода, создавая на их основе вычислительную систему. По магистралям передаются коды программы, данные и сигналы управления. Каждому виду сигналов соответствует одноименная магистраль системной шины компьютера: магистраль адреса, магистраль данных и магистраль управления.

Вернемся в встраиваемым системам. Напомним, что встраиваемой системой называется система, управляемая вычислителем, являющимся неотъемлемой составной частью этой системы. Следует различать вычислители общего применения, которые называются компьютерами, и вычислители встраиваемых систем. Компьютер общего применения, например ноутбук, может выполнять множество программ, начиная от текстового редактора, заканчивая сложными расчетными задачами моделирования механических конструкций и электронных схем. Вычислитель встраиваемой системы, который может быть реализован на процессоре с не меньшей вычислительной производительностью, чем ноутбук, выполняет только специальную программу управления. При этом вычислителя встраиваемой системы может иметь дополнительные аппаратные средства, которые будут отличать его от компьютера общего применения.

Вычислители встраиваемых систем не являются некоторым дополнением к знакомому Вам миру персональных компьютеров. Вы удивитесь, если узнаете, что ежегодно объем продаж встраиваемых систем значительно превышает объем продаж персональных компьютеров. Так в 2000 году было продано 150 миллионов компьютеров общего применения, в то время, как объем продаж встраиваемых систем в том же году исчислялся 8000 миллионами. Большинство современных встраиваемых систем выполняется на основе микроконтроллеров (МК) – вычислителей, все функциональные блоки которых объединены на одном полупроводниковом кристалле. Конструктивно МК представляет собой одну интегральную схему (ИС) большой степени интеграции.

В настоящее время многие производители полупроводниковых компонентов, такие как Intel, Microchip, Hitachi, NEC, Atmel, Texas Instruments и др., выпускают микроконтроллеры различной сложности. Относительно простые МК находят применение в бытовой технике и игрушках. Наиболее сложные высокопроизводительные МК используются в коммуникационном оборудовании, для управления самолетами и военной техникой. В этой книге мы предлагаем Вам изучить два типа МК: семейства 68HC12 и HCS12 компании Motorola.

Встраиваемые системы на основе МК окружают Вас со всех сторон. Вы не можете прожить без них и часа. Например, Ваш будильник, телефон и карманный компьютер – все это встраиваемые системы на микроконтроллерах. Ваш дом буквально наводнен встраиваемыми системами: кофеварка, телевизор с дистанционным пультом управления, стиральная машина, кухонный комбайн, электрическая духовка и СВЧ печь, холодильник, система охранной сигнализации, музыкальный центр и DVD проигрыватель...Мы перечислили отнюдь не все домашние устройства.

А Ваш автомобиль? Он ежедневно «возит с собой» от 10 до 50 микроконтроллеров. Встроенные МК делают агрегаты Вашего автомобиля более безопасными, экономичными, обеспечивающими легкость управления и комфортабельность движения. Микроконтроллеры используются в системе впрыска топлива и в системе торможения, для управления трансмиссией и рулевой колонкой, в устройствах приборной панели, маршрутного компьютера, центрального замка и аудио системы. Микроконтроллеры нагревают или охлаждают сиденья Вашего автомобиля, поворачивают зеркала, вращают фары, управляют движением дворников и стекол дверей. В некоторых моделях они могут даже измерить давление в шинах, показать маршрут до цели назначения, определить усталость водителя. Неправда ли, Ваше перемещение на автомобиле не было бы привлекательным без всех этих встроенных систем, ставших уже привычными?

А теперь обратимся к тем областям нашего существования, в которых встраиваемые микропроцессорные системы играют ключевую роль. Технические и общественные системы, перечисленные на рис. 1.1, просто не могли бы существовать без разнообразных встраиваемых систем. ак наша военная безопасность и система коммуникаций для управления государством основываются на множестве высокопроизводительных встраиваемых систем. На борту орбитальных космических станций и спутников считают и управляют встраиваемые системы. Любой современный станок и измерительный прибор – это тоже встраиваемая система. Большинство сложных медицинских диагностических комплексов использует для обработки результа-



Рис. 1.1. Области применения встраиваемых систем

тов встраиваемые системы. Совершенствование узлов современного автомобиля и других транспортных средств также немислимо без встраиваемых систем. И наконец, бытовая техника и устройства домашнего развлечения с мультимедийными технологиями – все это встраиваемые системы.

1.2. Особенности встраиваемых систем

Встраиваемые системы существенно отличаются от компьютеров общего применения. В данном параграфе мы обсудим специфические проблемы, которые должны быть решены разработчиком встраиваемой системы на начальном этапе проектирования.

1.2.1. Работа в реальном времени

Когда мы говорим, что встраиваемая система должна работать в реальном масштабе времени, мы подразумеваем, что система должна производить определенные вычисления за строго определенные временные интервалы. Если система не может произвести необходимые вычисления за отведенный временной интервал, то в лучшем случае объект ее управления будет работать с низкими техническими характеристиками, а в худшем случае будет создана аварийная ситуация. Используя термин «вычисления в реальном времени», мы имеем в виду, что интервал времени, предоставляемый для этих вычислений, ограничен. При этом его численное значение определяется конкретной задачей и может существенно различаться для разных систем. Например, система антиблокировки колес автомобиля должна опросить датчики состояния каждого из четырех колес (колесо скользит или катится) и выработать необходимые сигналы для приводов тормозов в течение нескольких миллисекунд. О такой задаче мы говорим, что она исполняется в реальном времени. Другой пример – система GPS навигации автомобиля, которая должна обновлять карту на дисплее в кабине водителя за несколько секунд. Это тоже будет система реального времени. Однако вычислительную систему, которая рассчитывает оптимальные коэффициенты сложного цифрового фильтра в течение трех часов, мы не называем системой реального времени, поскольку время ее исполнения важно, но не критично для пользователя.

Познакомившись с терминологией, давайте обсудим, какой должна быть встраиваемая система для того, чтобы успешно работать в реальном времени. Во-первых, система должна быть разработана таким образом, чтобы необходимый цикл вычислений укладывался в отведенный временной интервал. Для этого необходимо выбрать соответствующую вычислительную производительность микроконтроллера, разработать эффективный по быстродействию алгоритм, разработать схемы интерфейсов с минимально возможными задержками в передаче сигналов. Во-вторых, встраиваемая система должна обладать устойчивостью по отношению к внешним данным. Допустим, для формирования результата система должна получать данные извне. А эти данные не пришли вовремя. Тогда система не может выдать необходимый результат в требуемый момент времени, однако она не должна «зависнуть». Она должна продолжить поставлять результаты в реальном времени, но в ином, возможно сокращенном виде.

В противоположность системам реального времени компьютеры общего назначения не имеют жесткого ограничения по времени выполнения программы. Долгое ожидание завершения расчетов может расстроить пользователя, но не приведет к заметным негативным последствиям. А вот если встроенная в медицинское оборудование система не выполнит задачу за отведенный для нее срок, то это может закончиться в некоторых случаях и смертельным исходом. Поэтому организация работы встраиваемых систем в реальном времени является одной из основных проблем проектирования.

1.2.2. Миниатюризация размеров и процесс тестирования

Многие современные системы должны встраиваться в достаточно миниатюрные устройства, такие как мобильный телефон, пульт управления телевизором, датчик расхода воды и т. д. Очень часто геометрия печатной платы системы определяется корпусом того устройства, для которого она предназначена. Поэтому миниатюризация исполнения – одна из проблем разработчика современных встраиваемых систем.

Другая важная проблема – учет на начальной стадии разработки способов тестирования готового изделия, как на этапе разработки, так и на этапе производства. Большинство встраиваемых систем должны иметь внутренние тестовые программы, которые позволяют быстро и с большой степенью достоверности убедиться в работоспособности программы управления.

1.2.3. Минимизация энергии потребления

Разработчики компьютеров общего назначения (за исключением ноутбуков) уделяют значительно меньше внимания вопросам энергопотребления устройства, нежели разработчики встраиваемых систем. Дело в том, что, во-первых, персональные компьютеры питаются от централизованной сети, которая не накладывает существенных ограничений на энергию потребления, и, во-вторых, объем корпуса персонального компьютера достаточно велик для размещения в нем устройства принудительного охлаждения. В противоположность компьютерам общего назначения, современные встраиваемые системы должны работать в условиях резкого ограничения потребляемой энергии, поскольку число встраиваемых систем с автономным питанием непрерывно возрастает. К тому же пользователи предъявляют все большие требования к миниатюризации систем. Вспомните современный мобильный телефон, карманный электронный органайзер, CD–плеер.

Для ограничения энергии потребления разработчики используют разные решения. Одним из них является снижение частоты тактирования МК. Однако такая мера имеет ограничение, поскольку для любой задачи реального времени имеется ограничение снизу по вычислительной производительности. Другим решением (или дополнительным к первому) является временное отключение питания тех периферийных модулей МК, которые в данный момент исполнения программы не используются. Аппаратные средства современных МК предоставляют такую возможность. Последний способ требует особого внимания разработчика, поскольку отключение какого-либо модуля в составе системы может привести к изменению электрических характеристик ее входов и выходов, которое не должно сказаться на работоспособности системы в целом.

1.2.4. Интерфейс пользователя и интерфейс сопряжения с объектом

Любая встраиваемая система должна взаимодействовать с пользователем или с окружающей средой. Например, перемещающийся в пространстве робот (рис. 1.2) должен с помощью инфракрасных датчиков обнаруживать препятствия и обходить их. Микроволновая печь должна взаимодействовать с человеком посредством кнопок режимов, установленных на передней панели прибора. А система охранной сигнализации должна взаимодействовать как датчиками сохранности помещения, так и с органами управления человеком. Подобные примеры могут быть продолжены. И на их основе можно сделать вывод, что для разработчика встраиваемых систем вопросы выработки решений по взаимодействию с человеком и с объектом управления являются чрезвычайно важной задачей. Причем возможные решения лежат на стыке выбора типа датчиков (включая принцип действия датчика), дизайн-проекта, конструктивного исполнения, аппаратного решения электронных блоков и, наконец, алгоритмов обработки информации.

1.2.5. Многозадачность

Большинство встраиваемых систем должно обслуживать в реальном времени сразу несколько внешних устройств. Причем периоды повторения алгоритмов вычисления в реальном времени для каждого из устройств различаются. При разработке таких систем разработчик стоит перед дилеммой, использовать для решения задачи один высокоскоростной МК, или сделать мультипроцессорную систему, в которой для каждой задачи будет использован собственный микропроцессор или микроконтроллер.

1.2.6. Минимизация стоимости

Большое количество встраиваемых систем предназначено для управления недорогими устройствами массового спроса, такими как СВЧ печь, мобильный телефон и т.п. Успех реализации таких устройств будет определяться их конечной стоимостью, что накладывает жесткие ограничения на стоимость встраиваемой системы. Каждая встраиваемая система имеет множество возможных решений, как на уровне способа реализации (микроконтроллер или программируемая логическая матрица, вариации интерфейсных схем к тому и другому решениям), так и на уровне выбора конкретной элементной базы. Поэтому выбор правильной стратегии проектирования с целью минимизации стоимости – одна из основных проблем проектирования встраиваемой системы.

1.2.7. Ограничение объема памяти

Если Вы достаточно грамотный пользователь персонального компьютера, то хорошо знакомы с постоянным увеличением объема памяти ПК, которое не сопровождается пропорциональным увеличением ее стоимости. Поэтому программисты для ПК со-

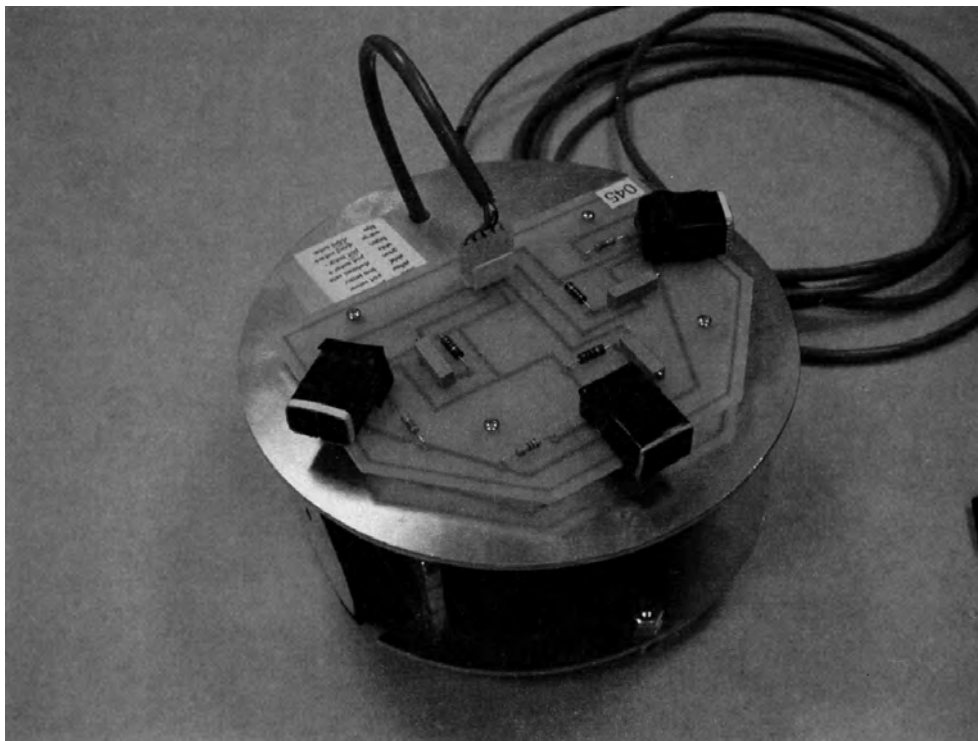


Рис. 1.2. Робот, способный двигаться сквозь лабиринт

вершенствуют свои продукты, в том числе, используя без ограничения увеличение объема памяти программ. Встраиваемые системы не предоставляют разработчику такой возможности, поскольку объем резидентной памяти МК оказывает существенное влияние на его стоимость. Современная элементная база позволяет выполнить мобильный телефон с несколькими Гб внутренней памяти, однако какое количество покупателей пожелает купить достаточно дорогое устройство? Поэтому разработка решений с минимизацией затрат памяти – одно из направлений совершенствования встраиваемых систем.

1.2.8. Программно–аппаратный дуализм

Большое количество встраиваемых систем могут быть реализованы как на МК с соответствующей управляющей программой, так и на основе высокоинтегрированной жесткой логики, например, на программируемых логических ИС. Первое решение обладает большей гибкостью, поскольку управляющая программа может быть многократно доработана без изменения аппаратного решения устройства. Второе решение обязательно будет более быстродействующим по сравнению с первым. Возможны и комбинированные варианты решения, при которых часть функций будет возложена на МК, а часть – на устройства жесткой логики. Выбор способа реализации остается за разработчиком.

1.3. Введение в микроконтроллеры семейства 68HC12 и HCS12

В предыдущем параграфе мы обсудили общие проблемы, связанные с разработкой и эксплуатацией встраиваемых микропроцессорных систем. В своем рассмотрении мы пока не касались той элементной базы, на основе которой выполняются встраиваемые системы, т.е. микроконтроллеров. Поскольку наша книга посвящена встраиваемым системам на микроконтроллерах семейства 68HC12/HCS12 компании Motorola/Freescale Semiconductor, то перейдем к знакомству с этой элементной базой.

Семейство микроконтроллеров 68HC12/HCS12 относится к группе 16–разрядных МК. Процессорное ядро 68HC12 унаследовало свою программно–логическую модель и систему команд от широко известного 8–разрядного процессорного ядра HC11. Начало семейству 68HC12 было положено в 1996 году выпуском двух базовых моделей: MC68HC12A4 и MC68HC912B32. Микроконтроллер MC68HC12A4 был предназначен для работы в расширенном режиме, т.е. с внешней памятью программ. Микроконтроллер MC68HC912B32 уже имел на кристалле многократно программируемое пользователем энергонезависимое запоминающее устройство, выполненное по технологии Flash. В 2002 году компанией Motorola/Freescale Semiconductor было предложено новое семейство HCS12, которое предназначалось для замены МК семейства 68HC12 на более высокопроизводительные, но полностью программно совместимые модели. На протяжении этой книги мы будем использовать в качестве базового микроконтроллера MC68HC912B32. Это простой МК низкой стоимости, доступный как для обучения, так и для относительно несложных разработок. Однако большая часть сведений, которые Вы почерпнете из данной книги, может быть легко распространена и на МК HCS12.

На основе базового МК MC68HC912B32 производителем был создан целый ряд моделей: MC68HC12BE32, MC68HC912BC32 и MC68HC12BC32. Основное отличие этих моделей друг от друга состоит в объеме размещенной на кристалле памяти программ и в наличии или отсутствии контроллера CAN сети.

На рис. 1.3 представлена структурная схема сразу двух МК: MC68HC912B32 и MC68HC12BE32. На рис. 1.4 дана цоколевка корпуса для этих микроконтроллеров. Далее на рис. 1.5 показана структура микроконтроллера MC68HC912BC32, на рис. 1.6 – цоколевка корпуса для него. В таблице рис. 1.7 перечислены основные функциональные блоки каждой из перечисленных моделей МК. Эта же таблица позволяет легко определить функциональные различия между рассматриваемыми МК.

Микроконтроллеры семейства 68HC12 – это 16–разрядные МК, что означает, что центральный процессор может выполнять операции над 16–разрядными данными, а также то, что данные передаются внутри МК по 16–разрядной магистрали данных. МК 68HC12 имеют также 16–разрядную магистраль адреса, что позволяет им адресовать 65 536 ячеек памяти. Максимальная частота системной шины МК семейства 68HC12 равна 8 МГц, что обеспечивает значительное возрастание вычислительной производительности по отношению к предшественнику – МК HC11.

Система команд 68HC12 основана на системе команд HC11, однако число способов адресации и число выполняемых действий значительно расширены. Система команд 68HC12 включает 208 инструкций, в том числе пять команд деления с разряд-

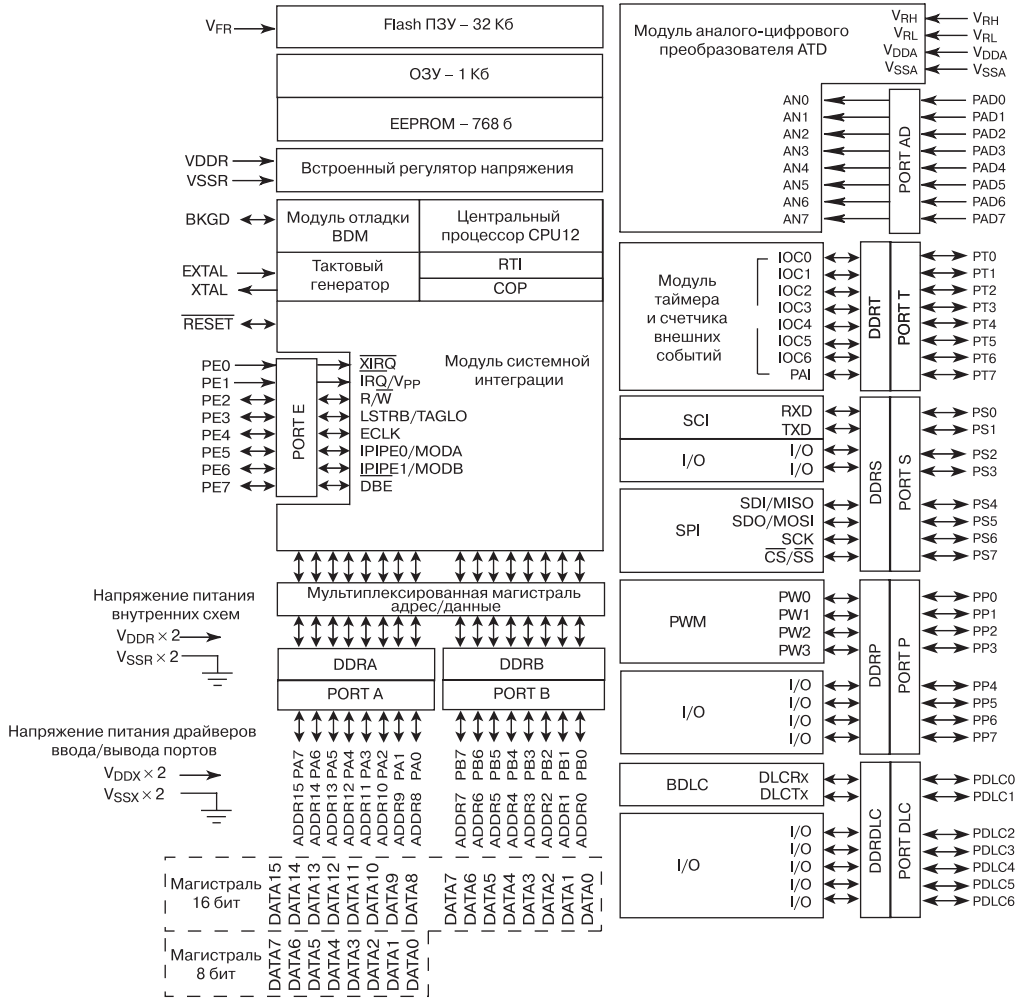


Рис. 1.3. Структура микроконтроллеров MC68HC912B32 и MC68HC12BE32

ностью данных 16/16 и 32/16 в целочисленном и дробном форматах, команды выбора максимального и минимального числа, команды нечеткой логики. Операции сложения или вычитания двухбайтовых чисел выполняются за 2 или 3 такта системной шины МК. Центральный процессор 68HC12 поддерживает 16 способов адресации, при этом исполнение каждой команды из группы арифметических или логических команд возможно с использованием по крайней мере 12 способов адресации. Центральный процессор 68HC12 имеет двухадресные команды, позволяющие выполнять пересылки 8- и 16-разрядных данных между двумя ячейками памяти или регистрами специальных функций минуя регистры центрального процессора. Четыре коман-

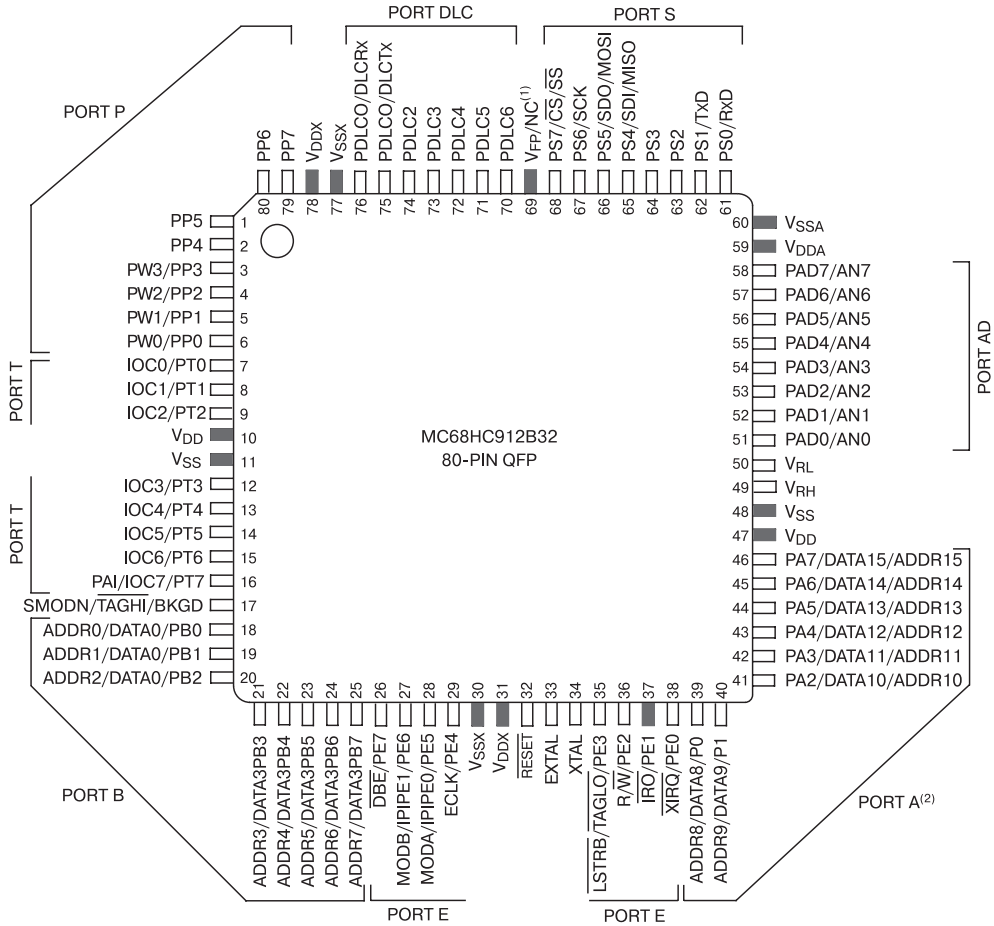


Рис. 1.4. Цоколевка корпуса микроконтроллеров MC68HC912B32 и MC68HC12BE32

ды предназначены для реализации алгоритмов нечеткой логики (fuzzy logic): команда фазификации MEM, команда обработки нечетких переменных REV, команда обработки нечетких переменных REVW и команда дефазификации WAW.

Микроконтроллеры семейства 68HC12 обладают резидентной Flash памятью программ, объемом до 32 Кб, оперативной памятью данных до 1 Кб, энергонезависимой памятью данных типа EEPROM объемом до 768 байт. Они имеют встроенный модуль отладки, который позволяет отлаживать программы, а также выполнять операции стирания/программирования Flash и EEPROM, взаимодействуя с персональным компьютером по однопроводному последовательному интерфейсу.

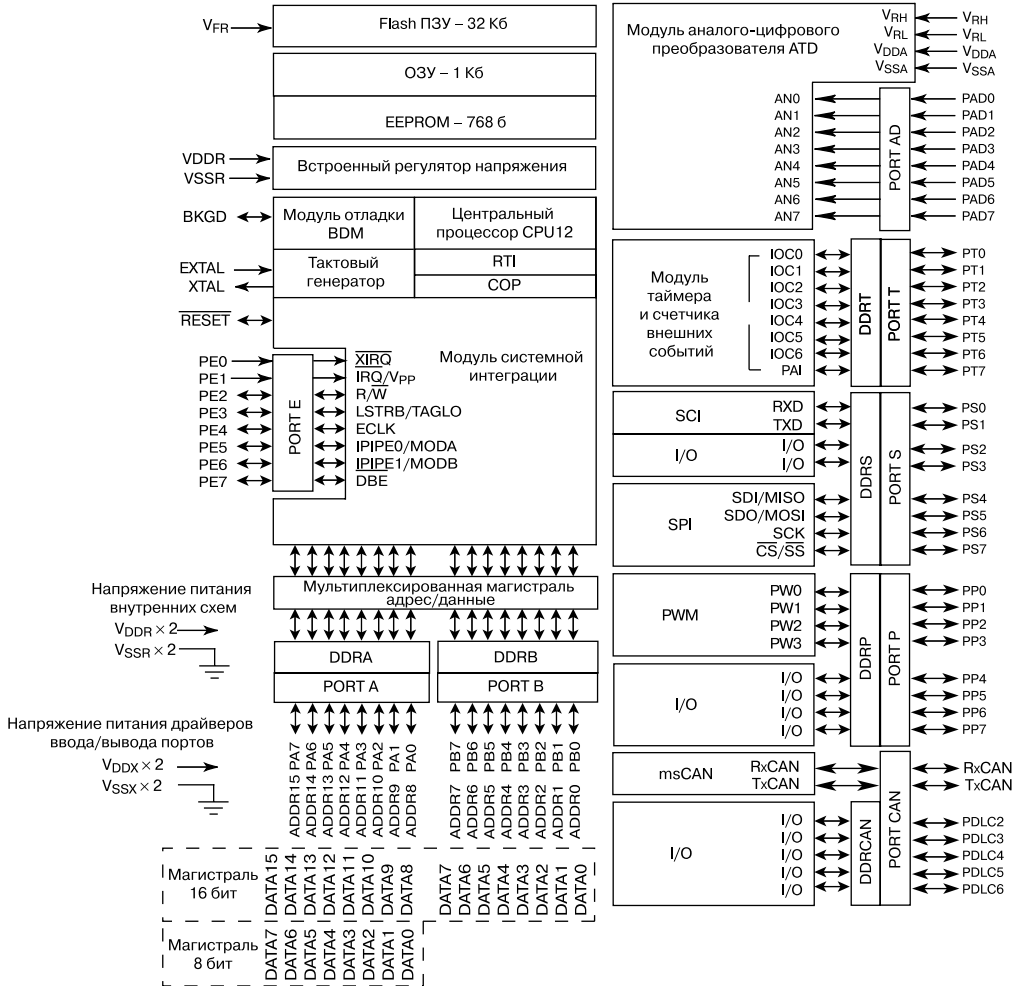


Рис. 1.5. Структура микроконтроллера MC68HC912BC32

Микроконтроллеры семейства 68HC12 имеют до семи многофункциональных двунаправленных портов ввода/вывода, модуль аналого-цифрового преобразователя, модуль таймера с функциями входного захвата и выходного сравнения, 16-разрядный счетчик внешних событий, модуль широтно-импульсного модулятора и несколько контроллеров последовательных интерфейсов. Полный перечень возможных для МК семейства 68HC12 периферийных модулей приведен в таблице рис. 1.7.

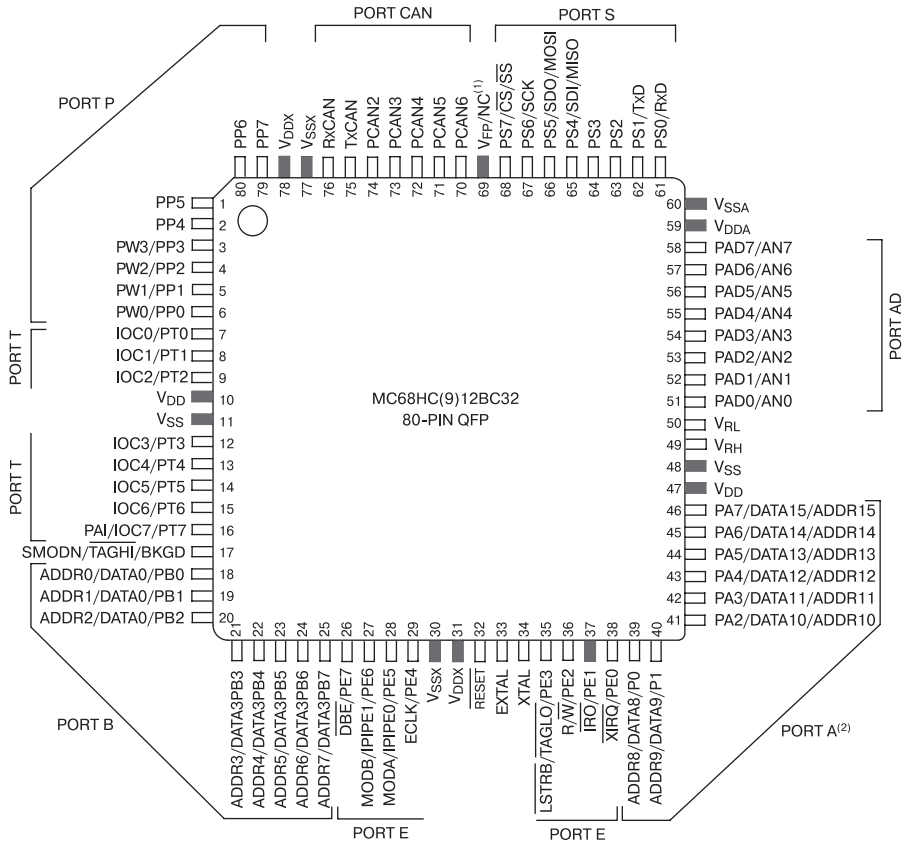


Рис. 1.6. Цоколевка корпуса микроконтроллера MC68HC912BC32

1.4. Микроконтроллеры HCS12

Подобно семейству 68HC12, семейство HCS12 объединяет ряд микроконтроллеров с одинаковым процессорным ядром CPU HCS12, различающихся объемом резидентной памяти и набором периферийных модулей, интегрированных на кристалл МК. Различные модели МК в составе семейства имеют Flash память программ объемом до 512 Кб, оперативную память объемом до 12 Кб. Напряжение питания большинства моделей семейства – 5,0 В, что позволяет обеспечить электромагнитную совместимость в автомобильных применениях. Частота внутренней системной шины МК семейства HCS12 равна 25 МГц, что существенно увеличивает их производительность по сравнению с МК семейства 68HC12.

Все модели МК семейства HCS12 имеют в своем составе следующие функциональные блоки:

- Оперативное запоминающее устройство и постоянное запоминающее устройство трех типов: Flash, EEPROM, масочного типа;
- Порты с двунаправленными линиями ввода/вывода;

Функциональные модули в составе МК	MC68HC912B32	MC68HC12BE32	MC68HC912BC32	MC68HC12BC32
Центральный процессор CPU12	+	+	+	+
Системная магистраль	+	+	+	+
Память программ Flash 32Кб	+		+	
Память программ однократно программируемая 32Кб		+		+
EEPROM 768байт	+	+	+	+
ОЗУ 1 Кб	+	+	+	+
Модуль таймера TIM	+	+	+	+
Модуль аналого–цифрового преобразования АТD	+	+	+	+
Усовершенствованный модуль таймера ECT	+	+	+	+
Модуль широтно–импульсного модулятора PWM	+	+	+	+
Модуль контроллера асинхронного последовательного обмена SCI	+	+	+	+
Модуль контроллера синхронного последовательного обмена SPI	+	+	+	+
Модуль контроллера последовательно обмена CAN			+	+
Модуль контроллера последовательного обмена BDLC	+	+	+	+
Сторожевой таймер COP	+	+	+	+
Модуль отладки BDM	+	+	+	+
Модуль делителя для низкочастотной синхронизации	+	+	+	+

Рис. 1.7. Сравнительные характеристики микроконтроллеров семейства 68HC12В