С.Ф. БАРРЕТТ Д.Дж. ПАК

ВСТРАИВАЕМЫЕ СИСТЕМЫ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЙ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ СЕМЕЙСТВА 68HC12 / HCS12 С ПРИМЕНЕНИЕМ ЯЗЫКА C

ДМК ПРЕСС

Москва, 2007

Embedded Systems Design and Applications with the 68HC12 and HCS12

Steven F. Barrett
University of Wyoming

Daniel J. Pack
United States Air Force Academy



Upper Saddle River, New Jersey 07458

ВСТРАИВАЕМЫЕ СИСТЕМЫ
Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12/HCS12 с применением языка C

С. Ф. Баррет
University of Wyoming

Д. Дж. Пак
United States Air Force Academy

Перевод с английского
Т. В. Ремизевич

Научный редактор
Д. И. Панфилов

Издательский дом «ДМК-пресс»
Москва, 2007

УДК **004.318-181.4**
ББК **32.973.26-04**
Б24

Барретт С. Ф., Пак Д. Дж.
Б24 Встраиваемые системы. Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12 / HCS12 с применением языка С. — М.: Издательский дом «ДМК-пресс», 2007. — 640 с.

ISBN 5-9706-0034-2

В книге последовательно рассматриваются все этапы создания встраиваемых систем на микроконтроллерах с применением современных технологий проектирования. Задумав эту книгу, авторы поставили перед собой задачу научить читателя искусству создания реальных устройств управления на однокристальных микроконтроллерах.

Издание содержит материал, охватывающий все вопросы проектирования, включает множество заданий для самостоятельной работы, примеры программирования, примеры аппаратных решений и эксперименты по исследованию работы различных подсистем микроконтроллеров.

Данная книга является прекрасным учебным пособием для студентов старших курсов технических университетов, которые предполагают связать свою профессиональную деятельность с проектированием и внедрением встраиваемых микропроцессорных систем. Книга также будет полезна разработчикам радиоэлектронной аппаратуры на микроконтроллерах.

ББК 32.872
УДК 621.396.6

Authorized translation from the English language edition, entitled Embedded Systems. Desing and Aplications with the 68HC12 and HCS12 by Steven F. Barrett, Daniel J. Pack, published by Person Prentice Hall. Copyright © 2005 by Person Education.

All rights reserved. Printed in the United States of America. This publication is protected by Copyright and permission should be obtained from the publisher prior to any prohibited reproduction, storage in a retrieval system, or transmission in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or likewise. For information regarding permission(s), write to: Rights and Permissions Department.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельца авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность наличия технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможный ущерб любого вида, связанный с применением или неприменимостью любых материалов данной книги.

ISBN 0-13-140141-6 (анг.)
ISBN 5-9706-0034-2

© 2005 by Pearson Education, Inc.
© Издательский дом «ДМК-пресс», 2007

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 B32 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 MC68HC912B32EVB 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 ECT в составе МК MC68HC12BE32 и HCS12 233
4.16.1. Небуферированные каналы входного захвата 235
4.16.2. Буферированные 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 фронтовой 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 MC68EVB912B32 320
4.27. Заключение по главе 4 323

4.28. Что еще почитать? 323
4.29. Вопросы и задания 323

Глава 5. **ОСНОВЫ СОПРЯЖЕНИЯ МК С УСТРОЙСТВАМИ ВВОДА/ВЫВОДА**

5.1. Электрические характеристики МК 68HC12 328
5.1.1. Нагрузочные характеристики 330
5.1.2. Что произойдет, если Вы должным образом не учтете электрические характеристики периферийных ИС? 331
5.1.3. Входные и выходные характеристики логических элементов 332
5.2. Устройства дискретного ввода: кнопки, переключатели, клавиатуры 334
5.2.1. Кнопки и переключатели 334
5.2.2. DIP переключатели 335
5.2.3. Клавиатуры 336
5.3. Устройства индикации: светодиоды, семисегментные индикаторы, индикаторы логического выхода с тремя состояниями 342
5.3.1. Светодиоды 342
5.3.2. Семисегментные индикаторы 343
5.3.3. Индикаторы для логического выхода с тремя состояниями 344
5.4. Программное обслуживание дискретных входов и выходов 346
5.5. Подавление механического дребезга контактов переключателей 346
5.5.1. Аппаратная защита от механического дребезга контактов 347
5.5.2. Программная защита от механического дребезга контактов 348
5.5.3. Пример программной защиты 349
5.6. Жидкокристаллические индикаторы 352
5.6.1. Краткие сведения о жидкокристаллических индикаторах 352
5.6.2. Сопряжение МК с символьным ЖК индикатором 353
5.6.3. Сопряжение МК с графическим ЖК дисплеем 359
5.7. Управление электрическим двигателем 367
5.7.1. Силовые полупроводниковые ключи 367
5.7.2. Оптоэлектронная потенциальная развязка 368
5.7.3. Инвертор напряжения 370
5.8. Кодовый замок 371
5.8.1. Схема подключения периферийных устройств 373