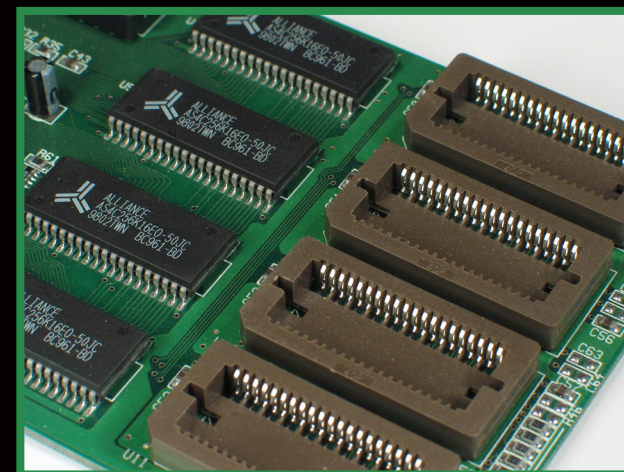


А

В книге рассматривается широкий круг вопросов, связанных с практическим применением популярных 16-битных микроконтроллеров PIC-24 в системах обработки данных и управления оборудованием. Приводятся многочисленные примеры программирования несложных аппаратно-программных систем обработки аналоговой и цифровой информации с применением периферийных модулей микроконтроллеров PIC-24F. В контексте разработанных примеров приводятся необходимые сведения из теории, что способствует лучшему пониманию материала книги. Все приведенные в книге аппаратно-программные проекты разработаны и проверены на отладочном модуле Explorer 16 Development Board фирмы Microchip и могут служить основой для создания собственных проектов.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ PIC

ISBN 978-5-94120-227-0



Магда Ю. С.



А

Ю. С. Магда

Микроконтроллеры PIC: архитектура и программирование



Москва

УДК 004.2:004.312.46
ББК 32.973.26-04
М12

М12 Магда Ю. С.

Микроконтроллеры PIC 24: архитектура и программирование. – М.: ДМК Пресс. – 240 с.: ил.

ISBN 978-5-94120-227-0

В книге рассматривается широкий круг вопросов, связанных с практическим применением популярных 16-битных микроконтроллеров PIC24 в системах обработки данных и управления оборудованием. Приводятся многочисленные примеры программирования несложных аппаратно-программных систем обработки аналоговой и цифровой информации с применением периферийных модулей микроконтроллеров PIC24F. В контексте разработанных примеров приводятся необходимые сведения из теории, что способствует лучшему пониманию материала книги. Все приведенные в книге аппаратно-программные проекты разработаны и проверены на отладочном модуле Explorer 16 Development Board фирмы Microchip и могут служить основой для создания собственных проектов.

УДК 621.396.6
 ББК 32.872

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

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-94120-227-0

© Магда Ю. С.
 © Оформление, ДМК Пресс

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Структура книги	6
1. Обзор 16-битных PIC-микроконтроллеров	8
2. Архитектура микроконтроллеров PIC24F	10
3. Система команд и основы программирования микроконтроллеров PIC24F	18
3.1. Программная модель микроконтроллеров PIC24F	18
3.2. Режимы адресации и система команд	20
3.2.1. Команды перемещения и адресация данных	23
3.2.2. Команды сравнения/выбора и условного перехода	28
3.2.3. Команды работы с битами	32
3.2.4. Команды сдвига и циклического сдвига	35
3.2.5. Команды математических и логических операций	37
3.2.6. Команды условных/безусловных переходов	44
3.3. Разработка и отладка программ на ассемблере в среде MPLAB IDE	46
3.4. Особенности разработки и отладки программ на MPLAB C для PIC24	59
4. Программирование портов ввода/вывода	73
4.1. Аппаратно-программная архитектура портов ввода/вывода	73
4.2. Программирование портов ввода/вывода	77
4.3. Модуль регистрации событий	81
5. Программирование прерываний	89
6. Программирование таймеров	100
6.1. Практическое использование 16-битных таймеров	104
6.2. Работа таймеров в 32-битном режиме	114
6.3. Часы реального времени	118

7. ИНТЕРФЕЙС SPI МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ PIC24F	120
7.1. Аппаратно-программная реализация SPI в микроконтроллерах PIC24F	121
7.2. Практическое программирование обмена данными по SPI	127
8. ИНТЕРФЕЙС I²C МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ PIC24F	140
8.1. Принципы функционирования интерфейса I ² C	140
8.2. Модуль интерфейса I ² C микроконтроллеров PIC24F	143
8.3. Практическое использование интерфейса I ² C	147
9. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА RMP	159
9.1. Режимы работы RMP	161
9.2. Практические примеры программирования интерфейса RMP	164
10. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕЙС МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ PIC24F	182
10.1. Аппаратно-программная архитектура UART	183
10.2. Практическое использование последовательного порта	184
11. ОБРАБОТКА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ PIC24F	198
11.1. Программная модель интегрированного АЦП	201
11.2. Практическое использование модуля АЦП	205
11.3. Использование внешнего АЦП	217
12. ГЕНЕРАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ	221
12.1. Модуль генерации цифровых сигналов	221
12.2. Аналоговые компараторы в микроконтроллерах PIC24F	229
Заключение	239

ВВЕДЕНИЕ

Системы управления и контроля на однокристальных микроконтроллерах в настоящее время используются практически во всех сферах человеческой деятельности, причем каждый день появляются все новые и новые области применения таких систем. В последнее время, в связи с бурным развитием электроники расширились возможности и самих микроконтроллеров, позволяющих выполнять многие задачи, ранее недоступные для реализации, такие, например, как обработка и синтез аналоговых аудио- и видеосигналов. Одним из наиболее популярных семейств микроконтроллеров являются устройства, выпускаемые фирмой Microchip и известные под аббревиатурой PIC. В последние годы были разработаны и запущены в производство 16- и 32-битные модели, позволившие существенно расширить области применения систем на базе микроконтроллеров PIC. Для облегчения миграции от 8- к 16-битным устройствам фирма Microchip обеспечила максимальный уровень совместимости аппаратно-программных функций этих микроконтроллеров.

Эта книга посвящена практическим аспектам разработки систем на базе 16-битных микроконтроллеров PIC24F. В книге приводятся основные сведения по аппаратно-программной архитектуре микроконтроллеров PIC24F, а также многочисленные проекты систем обработки данных на базе микроконтроллеров этого семейства. Все примеры, приведенные в книге, разработаны и протестированы на плате «Explorer 16 Development Board» производства Microchip с установленным микроконтроллером PIC24FJ128GA010. Тем не менее, для тестирования приведенных примеров и разработки собственных проектов читатели могут использовать и более дешевую систему начального уровня «MPLAB Starter Kit for PIC24F» той же фирмы или отладочные платы других фирм. Для разработки программного обеспечения проектов, представленных в книге, использовалась интегрированная среда разработки MPLAB IDE версии 8.00 и бесплатная студенческая версия компилятора языка Си, известного под названием MPLAB C для PIC24. Кроме того, при изучении системы команд микроконтроллера PIC24F, а также при анализе процесса отладки некоторых программ на языке Си используется довольно эффективный симулятор/отладчик MPLAB SIM.

Книга рассчитана на широкий круг читателей — от начинающих до опытных разработчиков — и может оказаться полезной для всех, кто желает самостоятельно изучить аппаратно-программную архитектуру 16-битных микроконтроллеров PIC24F и применить эти знания на практике.

СТРУКТУРА КНИГИ

Структура книги рассчитана на последовательное изучение материала, хотя опытные разработчики систем на базе микроконтроллеров PIC могут изучать материал выборочно. Теоретический материал большинства глав подкреплён практическими примерами, что позволяет существенно облегчить изучение.

Книга состоит из 12 глав, краткие сведения о каждой из них приведены далее:

- Глава 1. «Обзор 16-битных PIC-микроконтроллеров». В этой главе рассматриваются общие характеристики 16-битных микроконтроллеров фирмы Microchip и дается краткий обзор инструментальных средств разработки программного обеспечения.
- Глава 2. «Архитектура микроконтроллеров PIC24F». Материал этой главы посвящен обзору аппаратной архитектуры микроконтроллеров PIC24F, организации памяти и функционирования периферийных модулей устройства.
- Глава 3. «Система команд и основы программирования микроконтроллеров PIC24F». В этой главе детально проанализированы принципы реализации системы команд микроконтроллеров PIC24F и приведены многочисленные примеры программного кода на языке ассемблера. Значительная часть главы посвящена вопросам разработки и отладки программного обеспечения в среде MPLAB IDE.
- Глава 4. «Программирование портов ввода/вывода». Эта глава содержит материал по архитектуре и программированию цифровых портов ввода/вывода микроконтроллеров PIC24F. Теоретический материал сопровождается примерами программ на языке Си с детальным анализом программного кода.
- Глава 5. «Программирование прерываний». Материал главы посвящен аппаратно-программной реализации системы прерываний микроконтролле-

ров PIC24F. На многочисленных примерах программного кода проанализированы различные механизмы вызова и обработки пользовательских прерываний.

- Глава 6. «Программирование таймеров». Глава содержит материал по аппаратно-программной архитектуре модулей таймеров микроконтроллеров PIC24F. Рассматриваются различные режимы работы таймеров и их настройка. Теоретический материал сопровождается примерами программ на языке Си с детальным анализом программного кода.
- Глава 7. «Интерфейс SPI микроконтроллеров PIC24F». В главе рассмотрены принципы функционирования и аппаратно-программная реализация модуля интерфейса SPI, а также приведены примеры программирования систем ввода/вывода дискретных данных с использованием данного интерфейса. Все примеры сопровождаются детальным анализом программного кода.
- Глава 8. «Интерфейс I²C микроконтроллеров PIC24F». Материал главы посвящен рассмотрению принципов функционирования и аппаратно-программной конфигурации модуля интерфейса I²C в микроконтроллерах PIC24F. Теоретический материал сопровождается примерами программирования обмена данными по шине I²C на языке Си с детальным анализом программного кода.
- Глава 9. «Программирование интерфейса RMP». В главе рассматривается аппаратно-программная реализация 8-битного параллельного интерфейса обмена данными RMP. Приводятся примеры разработки систем ввода/вывода цифровых данных с использованием этого интерфейса.
- Глава 10. «Последовательный интерфейс микроконтроллеров PIC24F». В этой главе рассматриваются принципы реализации и настройки модуля последовательного интерфейса микроконтроллеров PIC24F. Теоретический материал сопровождается примерами программирования обмена данными с использованием этого модуля, разработанными на языке Си, с детальным анализом программного кода.
- Глава 11. «Обработка аналоговых сигналов в микроконтроллерах PIC24F». Эта глава посвящена методам обработки аналоговых сигналов в микроконтроллерах PIC24F. Здесь рассматривается широкий круг вопросов, связанных с настройкой и использованием модуля аналого-цифрового преобразователя, а также приводятся примеры программирования ввода данных посредством АЦП.
- Глава 12. «Генерация аналоговых и цифровых сигналов». В этой главе рассматривается широкий круг вопросов, связанных с генерацией цифровых и аналоговых сигналов в микроконтроллерах PIC24F. Теоретические аспекты иллюстрируются примерами программного кода на языке Си.

Автор благодарит коллектив издательства «ДМК Пресс» за помощь при подготовке книги к изданию. Особую признательность автор выражает своей жене Юлии за поддержку и помощь при написании книги.