

УДК 621.316.544.1(035.5)
ББК 32.844.1-04я2
М29

Данное издание подготовлено к печати при участии студентов и преподавателей Уральского Государственного Политехнического университета (УПИ) Агафонова С. А., Букрина И. В., Гусева А. В. при финансовой поддержке Российского представительства компании NXP.

Мартин, Тревор

М29 Микроконтроллеры ARM7 семейств LPC2300/2400. Вводный курс разработчика / Тревор Мартин ; пер. с англ. Евстифеева А. В. — М. : Додэка-XXI, 2016. — 336 с.: ил. — (Серия «Мировая электроника»). — ISBN 978-5-97060-400-7

Книга представляет собой введение в архитектуру процессора ARM7 TDMI и микроконтроллеров семейств LPC2300 и LPC2400 компании NXP. В ней рассматриваются следующие вопросы: введение в ядро ARM7, средства разработки программного обеспечения, системная архитектура и периферийные устройства микроконтроллеров LPC2300/2400. Кроме того, в книгу включено полное учебное пособие, где на практических примерах закрепляются вопросы, изложенные в основном тексте. Изучая теоретический материал и выполняя сопутствующие упражнения, вы быстро освоите ядро ARM7 и микроконтроллеры семейств LPC2300/2400.

На компакт-диске, прилагаемом к книге, имеются справочные материалы и руководства пользователя по микроконтроллерам семейств LPC2300 и LPC2400, исходные коды всех упражнений и другие полезные материалы.

Предназначена для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, инженеров, студентов технических вузов и радиолюбителей.

УДК 621.316.544.1(035.5)
ББК 32.844.1-04я2

Все права защищены, никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

Оригинальное название «The Insider's Guide To The NXP LPC2300/2400 Based Microcontrollers. An Engineer's Introduction To The LPC2300 & LPC2400 Series».

ISBN 978-0-95499-883-9 (англ.)

ISBN 9785-94120-241-6 (Додэка)

ISBN 9785-97060-400-7 (ДМК Пресс)

© Hitex (UK) Ltd.

© Издательский дом «Додэка-XXI»

© Издание, ДМК Пресс, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	9
Глава 1. Процессорное ядро ARM7	11
1.1. Основные положения	11
1.2. Конвейер	11
1.3. Регистры	12
1.4. Регистр текущего состояния программы	14
1.5. Режимы обработки исключительных ситуаций	16
1.6. Набор команд ARM7	18
1.6.1. Команды ветвления	21
1.6.2. Команды обработки данных	22
1.7. Команда обмена	24
1.8. Изменение регистров состояния	25
1.9. Программное прерывание	25
1.10. Модуль MAC	26
1.11. Набор команд THUMB	27
1.12. Резюме	29
Глава 2. Разработка программного обеспечения	30
2.1. Основные положения	30
2.1.1. Загрузка и установка пакета программ компании Keil	30
2.1.2. ИСР μ VISION	31
2.1.3. ИСР HiTOP	33
2.1.4. Учебные примеры	34
2.2. Стартовый код	35
2.2.1. Определение карты памяти проекта	38
2.2.2. Определение карты памяти для компилятора GCC	38
2.3. Взаимодействие кодов ARM и THUMB	41
2.3.1. Обеспечение взаимодействия в компиляторе GCC	43
2.4. Библиотека STDIO	44
2.4.1. Библиотека STDIO и компилятор GCC	45

2.5. Организация доступа к периферийным устройствам	45
2.5.1. Организация доступа к периферийным устройствам в компиляторе GCC ...	46
2.6. Процедуры обработки прерываний	46
2.6.1. Обработка прерываний в компиляторе GCC	47
2.6.2. Отладка обработчиков системных ошибок	47
2.6.3. Программное прерывание	48
2.6.4. Программное прерывание и компилятор GCC	50
2.6.5. Размещение переменных по абсолютным адресам	51
2.6.6. Размещение кода в ОЗУ	51
2.6.7. Загрузка кода и данных в ОЗУ при использовании компилятора GCC	52
2.7. Встраиваемые функции	55
2.7.1. Встраиваемые функции в компиляторе GCC	55
2.8. Встроенный ассемблер	56
2.8.1. Встроенный ассемблер компилятора GCC	56
2.8.2. Импортирование программ для компилятора GCC	56
2.9. Аппаратные средства отладки	56
2.9.1. Важное замечание!	58
2.9.2. Еще более важное замечание!	58
2.10. Резюме	59
Глава 3. Системные периферийные устройства	60
3.1. Основные положения	60
3.2. Внутренние шины	60
3.3. Организация памяти	62
3.4. Программирование регистров	63
3.5. Модуль ускорения работы памяти	63
3.5.1. Пример конфигурирования модуля MAM	67
3.6. Программирование FLASH-памяти	68
3.6.1. Управление картой распределения памяти	69
3.6.2. Загрузчик	69
3.6.3. Внутрисхемное программирование (ISP)	71
3.6.4. Внутрипрограммное программирование (IAP)	72
3.6.5. Защита FLASH-памяти	73
3.6.6. Системные тактовые сигналы	73
3.6.7. Схема ФАПЧ	76
3.6.8. Тактовые сигналы периферийных устройств	78
3.7. Управление электропитанием	78
3.7.1. Группы потребителей	78
3.7.2. Режимы пониженного энергопотребления	79
3.8. Система прерываний LPC2300	81
3.8.1. Блок управления выводами	82
3.8.2. Выводы внешних прерываний	82
3.8.3. Структура прерываний	83
3.8.4. Прерывание FIQ	84

3.8.5. Выход из прерывания FIQ	84
3.8.6. Векторные прерывания IRQ	86
3.8.7. Выход из прерывания IRQ	88
3.8.8. Пример: прерывание IRQ	88
3.8.9. Программное прерывание	89
3.8.10. Вложенные прерывания	90
3.9. Контроллер DMA	91
3.9.1. Обзор модуля DMA	91
3.9.2. Синхронизация DMA	93
3.9.3. Пересылка из памяти в память	93
3.9.4. Пакетная передача	94
3.9.5. Поддержка модулем DMA периферийных устройств	94
3.9.6. Пересылка несмежных данных	95
3.10. Резюме	95

Глава 4. Периферийные устройства общего назначения

4.1. Основные положения	96
4.2. Порты ввода/вывода общего назначения	96
4.2.1. Быстрые регистры ввода/вывода	96
4.2.2. Прерывание от GPIO	99
4.3. Таймеры общего назначения	100
4.3.1. Режим захвата	100
4.3.2. Режим счетчика	103
4.3.3. Режим совпадения	103
4.4. Модуль ШИМ	106
4.4.1. Режим счетчика	110
4.5. Часы реального времени	110
4.5.1. Опорный сигнал модуля RTC	111
4.6. Сторожевой таймер	114
4.6.1. Период сторожевого таймера	114
4.7. Универсальный асинхронный приемопередатчик	115
4.7.1. Настройка скорости обмена	116
4.7.2. Автоопределение скорости обмена	118
4.7.3. Передача данных	118
4.7.4. Организация обмена по протоколу IrDA	121
4.8. Интерфейс I2C	122
4.9. Интерфейс SPI	127
4.10. Аналого-цифровой преобразователь	130
4.11. Цифро-аналоговый преобразователь	133
4.12. Синхронный последовательный порт	134
4.12.1. Контроллер I2S	137
4.13. Интерфейс карт FLASH-памяти	139
4.13.1. Модуль MCI микроконтроллеров семейства LPC2300	146

Глава 5. Развитые периферийные устройства	150
5.1. Ethernet MAC	150
5.2. Протокол TCP/IP	150
5.2.1. Сетевая модель	151
5.2.2. Ethernet и IEEE 802.3	151
5.2.3. Дейтаграммы TCP/IP	153
5.2.4. Модуль Ethernet MAC	157
5.2.5. Стек uIP	169
5.2.6. Создание веб-сервера с использованием коммерческого стека TCP/IP	173
5.3. Полноскоростной интерфейс USB 2.0	182
5.3.1. Введение в USB	182
5.3.2. Модуль контроллера USB	196
5.3.3. Заключение	208
5.4. Контроллер интерфейса CAN	208
5.4.1. Семиуровневая модель ISO	209
5.4.2. Структура узла сети CAN	210
5.4.3. Объекты сообщений CAN	211
5.4.4. Арбитраж на шине CAN	213
5.4.5. Тактовая синхронизация	214
5.4.6. Передача сообщений CAN	216
5.4.7. Ограничение распространения ошибок	218
5.4.8. Прием сообщений CAN	222
5.4.9. Фильтрация сообщений	223
Глава 6. Использование ОС компании Keil	229
6.1. Возможности ОСРВ	229
6.2. Настройка проекта	230
6.3. Процессы	232
6.4. Запуск ОСРВ	234
6.5. Создание процессов	235
6.6. Управление процессами	236
6.7. Множество экземпляров	236
6.8. Управление временем	236
6.8.1. Формирование задержки	236
6.8.2. Периодический запуск процесса	237
6.8.3. Виртуальный таймер	237
6.8.4. Демон ожидания	237
6.9. Межпроцессное взаимодействие	238
6.9.1. События	238
6.9.2. Обработка прерываний в ОСРВ	239
6.9.3. Семафоры	241
6.9.4. Предостережение по поводу семафоров	242
6.9.5. Мьютексы	242

6.9.6. Предостережение по поводу мьютексов	243
6.9.7. Буферы сообщений	243
6.10. Конфигурация	246

Глава 7. Использование ОС FreeRTOS

7.1. Портирование ОС FreeRTOS на LPC2300	247
7.1.1. Тики таймера	248
7.1.2. Процедура обработки прерывания от таймера	249
7.1.3. Переключение контекста	250
7.1.4. Инициализация стека	251
7.1.5. Управление памятью	252
7.2. Конфигурация FreeRTOS	253
7.2.1. Запуск FreeRTOS	254
7.2.2. Процессы	255
7.2.3. Управление процессами	255
7.2.4. Ловушка на тики	258
7.2.5. Семафоры	259
7.2.6. Управление ядром	261

Глава 8. Учебное пособие

Введение	263
Упражнение 1. Знакомство с ИСР Keil.	263
Установка аппаратных средств.	263
Отладчик Keil.	264
Редактирование проекта.	273
Управление процессом выполнения программы.	276
Просмотр данных.	279
Упражнение 2. Стартовый код.....	284
Упражнение 3. Совместное использование команд ARM и THUMB.	287
Упражнение 4. Программное прерывание.	292
Упражнение 5. Модуль MAM.	292
Упражнение 6. Использование загрузчика от NXP.	293
Упражнение 7. Схема ФАПЧ.....	297
Упражнение 8. Конфигурирование системы тактирования.....	299
Упражнение 9. Быстрое прерывание.	300
Упражнение 10. Векторное прерывание.	304
Упражнение 11. Пересылка данных из памяти в память при помощи DMA.	306
Упражнение 12. Пересылка несмежных данных при помощи DMA.	308
Упражнение 13. Порты ввода/вывода общего назначения.....	309
Упражнение 14. Прерывание от порта GPIO.	311
Упражнение 15. Функция захвата (capture).....	313
Упражнение 16. Функция совпадения (match).....	313
Упражнение 17. ШИМ.	315
Упражнение 18. Часы реального времени.....	316

Упражнение 19. UART.	317
Упражнение 20. Аналого-цифровой преобразователь.	317
Упражнение 21. Цифро-аналоговый преобразователь.	318
Упражнение 22. Драйвер Ethernet.....	319
Упражнение 23. TCP/IP стек uIP.	322
Упражнение 24. Передача по интерфейсу CAN.....	323
Упражнение 25. Прием по интерфейсу CAN.	325
Упражнение 26. Прием в режиме FullCAN.....	327
Упражнение 27. Запуск двух процессов в OSCPВ.	329
Упражнение 28. Управление временем.	329
Упражнение 29. Приостановка и запуск процесса..	330
Упражнение 30. Возобновление процесса из обработчика прерывания.	331
Упражнение 31. Процесс Idle.	332
Упражнение 32. Семафор.....	333
Упражнение 33. Очередь сообщений.	334
Приложения	335
Список литературы.	335
Полезные ссылки.....	335
Оценочные платы и модули.....	335