

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие автора .....	8
<b>Часть I. Сравнительный обзор МК с ядром ARM7 .....</b>	<b>11</b>
Глава 1. МК семейства ADuC70xx фирмы Analog Devices .....	12
Глава 2. МК семейства LPC2000 фирмы NXP .....	15
Глава 3. МК TMS470R1x фирмы Texas Instruments .....	20
Глава 4. МК семейства AT91SAM7 фирмы Atmel .....	23
Список рекомендуемой литературы к Части I .....	28
<b>Часть II. Справочная информация по МК семейства SAM7 .....</b>	<b>29</b>
Глава 5. Блок-схема и топология корпуса .....	30
Глава 6. Организация питания .....	36
6.1. Линии питания .....	36
6.2. Потребляемая мощность .....	37
6.3. Встроенный стабилизатор напряжения .....	37
Глава 7. Описание выводов МК .....	39
7.1. Выводы порта JTAG .....	39
7.2. Вывод тестирования .....	39
7.3. Вывод сброса .....	39
7.4. Вывод ERASE .....	40
7.5. Выводы контроллера PIO .....	40
7.6. Линии ввода/вывода с повышенной нагрузочной способностью .....	40
Глава 8. Архитектура SAM7 .....	41
8.1. Процессорное ядро ARM7TDMI .....	41
8.2. Встроенные средства тестирования и отладки .....	41
8.3. Контроллер памяти .....	41
8.4. Периферийный контроллер DMA .....	42
Глава 9. Организация памяти AT91SAM7 .....	43
9.1. Управление памятью .....	43
9.2. Встроенная флэш-память .....	45
9.3. Интерфейс быстрого программирования флэш-памяти .....	47
9.4. «Помощник» начального загрузчика SAM-BA .....	47
Глава 10. Системный контроллер .....	48
10.1. Отображение системного контроллера в адресное пространство .....	48

10.2. Контроллер сброса	48
10.3. Детектор кратковременных провалов напряжения питания и узел сброса при включении питания	51
10.4. Узел тактовых частот	52
10.5. Контроллер управления питанием	52
10.6. Расширенный контроллер прерываний	53
10.7. Модуль отладки	54
10.8. Периодический интервальный таймер	54
10.9. Сторожевой таймер	55
10.10. Таймер реального времени	55
10.11. Контроллеры параллельного ввода/вывода (PIO)	55
10.12. Контроллер стабилизатора напряжения	55
<b>Глава 11. Периферийные устройства</b>	<b>56</b>
11.1. Отображение периферии в адресное пространство	56
11.2. Мультиплексирование периферии на линии PIO	56
11.3. Периферийные идентификаторы	59
11.4. Интерфейс Ethernet MAC	60
11.5. Последовательный периферийный интерфейс SPI	61
11.6. Двухпроводной интерфейс TWI	62
11.7. Интерфейс USART	62
11.8. Последовательный синхронный контроллер SSC	63
11.9. Таймер/счётчик	63
11.10. Контроллер широтно-импульсной модуляции	64
11.11. Порт USB-устройства	64
11.12. CAN-контроллер	64
11.13. Аналого-цифровой преобразователь	65
<b>Глава 12. Процессорное ядро ARM7TDMI</b>	<b>66</b>
12.1. Режимы работы и регистровые модели процессора	67
12.2. Обработка исключений	72
12.3. Время реакции на прерывания	75
<b>Глава 13. Логика отладки и тестирования</b>	<b>77</b>
13.1. Общее описание	77
13.2. Регистр идентификатора кода	77
<b>Глава 14. Контроллер сброса (RSTC)</b>	<b>80</b>
14.1. Функциональное описание	81
14.2. Состояния (источники) сброса	83
14.3. Приоритеты источников сброса	88
14.4. Регистр состояния контроллера сброса	89
14.5. Пользовательский интерфейс контроллера сброса	90
<b>Глава 15. Таймер реального времени (RTT)</b>	<b>94</b>
15.1. Функциональное описание	95
15.2. Пользовательский интерфейс RTT	96
<b>Глава 16. Периодический интервальный таймер (PIT)</b>	<b>100</b>
16.1. Функциональное описание	100
16.2. Пользовательский интерфейс PIT	102
<b>Глава 17. Сторожевой таймер (WDT)</b>	<b>106</b>
17.1. Функциональное описание	106
17.2. Пользовательский интерфейс сторожевого таймера	109
<b>Глава 18. Контроллер режима стабилизатора напряжения (VREG)</b>	<b>112</b>
18.1. Пользовательский интерфейс контроллера режима стабилизатора напряжения	112
<b>Глава 19. Контроллер памяти (MC)</b>	<b>114</b>

19.1. Функциональное описание	114
19.2. Пользовательский интерфейс контроллера памяти	119
<b>Глава 20. Контроллер встроенной флэш-памяти (EFC)</b>	<b>123</b>
20.1. Функциональное описание	123
20.2. Команды флэш-памяти	126
20.3. Пользовательский интерфейс контроллера встроенной флэш-памяти	132
<b>Глава 21. Интерфейс быстрого программирования флэш-памяти (FFPI)</b>	<b>137</b>
21.1. Параллельное быстрое программирование флэш-памяти	137
21.2. Последовательное быстрое программирование флэш-памяти	138
<b>Глава 22. Программа-загрузчик AT91SAM</b>	<b>139</b>
22.1. Инициализация микроконтроллера	139
22.2. Загрузчик SAM-BA	140
22.3. Последовательный интерфейс DBGU	142
22.4. Интерфейс USB	142
22.5. Аппаратные и программные ограничения	143
<b>Глава 23. Периферийный контроллер прямого доступа к памяти (PDC)</b>	<b>144</b>
23.1. Функциональное описание	144
23.2. Пользовательский интерфейс периферийного контроллера прямого доступа к памяти	147
<b>Глава 24. Расширенный контроллер прерываний (AIC)</b>	<b>154</b>
24.1. Управление источниками прерываний	156
24.2. Время реакции на прерывание	158
24.3. Стандартное прерывание	160
24.4. Быстрое прерывание	164
24.5. Защищённый режим	168
24.6. Ложные прерывания	169
24.7. Глобальная маска прерываний	169
24.8. Пользовательский интерфейс расширенного контроллера прерываний	170
<b>Глава 25. Тактовый генератор</b>	<b>181</b>
25.1. Медленный тактовый RC-генератор	181
25.2. Основной генератор	181
25.3. Делитель и блок PLL	183
<b>Глава 26. Контроллер питания (PMC)</b>	<b>186</b>
26.1. Контроллер задающей частоты	186
26.2. Контроллер тактирования процессора (PCK)	187
26.3. Контроллер тактирования USB	188
26.4. Контроллер тактирования периферии	188
26.5. Контроллер программируемых выходов тактовых частот	189
26.6. Последовательность программирования	189
26.7. Детализация переключения тактовой частоты	193
26.8. Пользовательский интерфейс контроллера питания	196
<b>Глава 27. Модуль отладки (DBGU)</b>	<b>208</b>
<b>Глава 28. Контроллер параллельного ввода/вывода (PIO)</b>	<b>210</b>
28.1. Функциональное описание	212
28.2. Пример программирования линий ввода/вывода	219
28.3. Пользовательский интерфейс контроллера PIO	220
<b>Глава 29. Последовательный периферийный интерфейс (SPI)</b>	<b>237</b>
29.1. Описание сигналов	239
29.2. Функциональное описание	239
29.3. Пользовательский интерфейс SPI	249
<b>Глава 30. Двухпроводной интерфейс (TWI)</b>	<b>261</b>
30.1. Функциональное описание	262

30.2. Пользовательский интерфейс TWI . . . . .	266
<b>Глава 31. Универсальный синхронно-асинхронный приёмопередатчик . . . . .</b>	<b>277</b>
31.1. Описание сигналов . . . . .	277
31.2. Функциональное описание . . . . .	280
31.3. Пользовательский интерфейс USART . . . . .	314
<b>Глава 32. Синхронный последовательный контроллер . . . . .</b>	<b>332</b>
32.1. Описание сигналов . . . . .	333
32.2. Функциональное описание . . . . .	334
32.3. Примеры приложений SSC . . . . .	346
32.4. Пользовательский интерфейс SSC . . . . .	348
<b>Глава 33. Таймер/счётчик (TC) . . . . .</b>	<b>368</b>
33.1. Описание сигналов . . . . .	369
33.2. Функциональное описание . . . . .	370
33.3. Пользовательский интерфейс таймера/счётчика . . . . .	382
<b>Глава 34. Контроллер широтно-импульсной модуляции . . . . .</b>	<b>399</b>
34.1. Описание сигналов . . . . .	399
34.2. Общее описание . . . . .	400
34.3. Функциональное описание . . . . .	401
34.4. Пользовательский интерфейс контроллера ШИМ . . . . .	409
<b>Глава 35. Порт USB-устройства (UDP) . . . . .</b>	<b>420</b>
35.1. Общее описание . . . . .	421
35.2. Типовая схема подключения . . . . .	422
35.3. Функциональное описание . . . . .	423
35.4. Пользовательский интерфейс порта USB-устройства . . . . .	439
<b>Глава 36. Аналого-цифровой преобразователь . . . . .</b>	<b>458</b>
36.1. Описание сигналов . . . . .	459
36.2. Функциональное описание . . . . .	459
36.3. Пользовательский интерфейс АЦП . . . . .	464
<b>Глава 37. Контроллер локальной сети (CAN) . . . . .</b>	<b>474</b>
37.1. Описание сигналов . . . . .	475
37.2. Описание архитектуры . . . . .	475
37.3. Функциональное описание . . . . .	489
37.4. Пользовательский интерфейс CAN . . . . .	503
<b>Глава 38. Интерфейс Ethernet MAC 10/100 (EMAC) . . . . .</b>	<b>530</b>
38.1. Функциональное описание EMAC . . . . .	531
38.2. Программирование интерфейса EMAC . . . . .	544
38.3. Пользовательский интерфейс EMAC . . . . .	547
Список рекомендуемой литературы к Части II . . . . .	576
<b>Часть III. Разработка-отладка проектов на базе МК AT91SAM7 . . . . .</b>	<b>577</b>
<b>Глава 39. Интегрированная среда IDE IAR Embedded Workbench™ . . . . .</b>	<b>579</b>
39.1. Структура IDE IAR EWARM . . . . .	579
39.2. Создание проектов приложений в IAR EWARM . . . . .	581
39.3. Отладка приложения в режиме симуляции . . . . .	594
39.4. Отладка приложений в целевой системе . . . . .	599
<b>Глава 40. Запись пользовательских программ во флэш-память SAM7 . . . . .</b>	<b>608</b>
40.1. Загрузка флэш-памяти SAM7 с помощью C-SPY IAR EWARM . . . . .	608
40.2. Загрузка флэш-памяти с помощью SAM-BA . . . . .	614
<b>Глава 41. Средства разработки-отладки ARM фирмы Keil software . . . . .</b>	<b>618</b>

<b>Глава 42. Пользовательские проекты на базе МК SAM7</b> .....	622
42.1. Платформы для создания приложений .....	622
42.2. Интерфейс ввода/вывода в целевой пользовательской системе .....	630
42.3. Первый пользовательский проект — базовая «заготовка» .....	638
42.4. Другой вариант базовой «заготовки» .....	643
42.5. Интерфейс обслуживания ШИМ .....	644
42.6. Интерфейс обслуживания АЦП .....	653
42.7. Интерфейс обмена с внешней памятью через модуль TWI .....	659
42.8. Интерфейс обслуживания RTT .....	667
42.9. Интерфейс обслуживания USART .....	673
42.10. Интерфейс подключения AT PC-клавиатуры .....	680
42.11. Интерфейс обслуживания порта USB-устройства .....	686
42.12. Интерфейс обслуживания EMAC .....	687
<b>Список рекомендуемой литературы к Части III</b> .....	688
<i>Приложение 1.</i> Предельно допустимые параметры устройств AT91SAM7X256/X128 .....	689
<i>Приложение 2.</i> Характеристики микроконтроллеров AT91SAM7X256/X128 по постоянному току (статические характеристики) / .....	689
<i>Приложение 3.</i> Характеристики встроенного стабилизатора напряжения 1.8 В микроконтроллеров AT91SAM7X256/X128 .....	691
<i>Приложение 4.</i> Потребляемая мощность в различных режимах микросхем AT91SAM7X256/X128 .....	691
<i>Приложение 5.</i> Удельная потребляемая мощность ядра и периферии по напряжению VDDCORE для микроконтроллеров AT91SAM7X256/X128 .....	692
<i>Приложение 6.</i> Характеристики RC-генератора микросхем AT91SAM7X256/X128 .....	692
<i>Приложение 7.</i> Характеристики задающего генератора микросхем AT91SAM7X256/X128 .....	693
<i>Приложение 8.</i> Характеристики внешнего тактового сигнала XIN микросхем AT91SAM7X256/X128 .....	693
<i>Приложение 9.</i> Характеристики системы PLL микроконтроллеров AT91SAM7X256/X128 .....	694
<i>Приложение 10.</i> Характеристики АЦП микроконтроллеров AT91SAM7X256/X128 .....	694
<i>Приложение 11.</i> Характеристики задающей частоты микросхем AT91SAM7X256/X128 по переменному току (динамические характеристики) .....	695
<i>Приложение 12.</i> Характеристики встроенной флэш-памяти микроконтроллеров AT91SAM7X256/X128 .....	696
<b>Предметный указатель</b> .....	697

## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Предлагаемая книга имеет целью предоставить читателям комплексную информацию, необходимую для изучения микроконтроллеров (МК) семейства AT91SAM7 с ядром ARM7, выпускаемых фирмой Atmel для встраиваемых приложений, и создания на их основе пользовательских проектов.

Процессорное ядро ARM7 было разработано британской фирмой ARM ещё в 1994 году. Фирма позиционирует его как универсальное ядро 32-битного RISC-процессора с малым энергопотреблением, предназначенное для использования в различных заказных и специальных ИС. Малые размеры этого RISC-ядра позволяют успешно интегрировать его в большие заказные схемы, которые могут содержать RAM, ROM (флэш), DSP, дополнительную логику и другие элементы.

К областям применения МК с ядром ARM7 фирма ARM относит:

- **телекоммуникацию** — контроллеры GSM-терминалов;
- **обмен данными** — средства преобразования протоколов и модемы;
- **портативные вычисления** — Palmtop-компьютеры;
- **портативные измерительные устройства** — карманные устройства сбора данных;
- **автомобильную технику** — устройства управления двигателями;
- **информационные системы** — Smart-карты;
- **средства отображения** — JPEG-контроллеры.

Семейство ядер ARM7 Thumb, имеющее дополнительный 16-битный режим, представляет собой ядро с 32-битной целочисленной RISC-архитектурой, обеспечивающее максимальную производительность до 130 MIPS. При производстве по технологии 0.18 мкм удельная производительность ядра ARM7 Thumb составляет 0.9...1.0 MIPS/МГц тактовой частоты, а энергопотребление — не более 0.39...0.40 мВт/МГц.

Все ядра семейства ARM7 Thumb имеют традиционную архитектуру фон Неймана с общей памятью команд и данных.

МК с ядром ARM в настоящее время фактически выделились в отдельный класс контроллеров для встраиваемых приложений, именуемый ARM-контроллерами.

Один из «кремниевых» партнеров ARM, корпорация Atmel, выпускает широкую номенклатуру 32/16-битных МК с ядром ARM7 Thumb (ARM7TDMI) — се-

мейство AT91SAM7. Эти микроконтроллеры имеют весьма привлекательное для потребителей соотношение «цена/качество» и обеспечивают производительность в десятки MIPS.

Первая часть предлагаемой книги содержит сравнительный обзор семейств МК с ядром ARM7, наиболее полно представленных на российском рынке: AT91SAM7 (Atmel), ADuC70xx (Analog Devices), TMS470R1x (Texas Instruments) и LPC2000 (NXP).

Во второй части содержится подробная справочная информация по МК семейства AT91SAM7. Приводится перечень типовых технических характеристик микросхем с описанием их архитектуры, программной модели и аппаратного построения. Даются рекомендации производителя по программированию и применению большинства периферийных модулей микроконтроллеров. Приведённые сведения основаны на переводе оригинальной документации производителя (datasheet) на наиболее функционально насыщенные микросхемы семейства AT91SAM7 — AT91SAM7X128/256.

Третья часть содержит информацию по инструментальным средствам разработки/отладки приложений для AT91SAM7, в том числе подробное описание рекомендуемой производителем интегрированной среды — IDE IAR Embedded Workbench™ (IAR EWARM™). Кроме того, эта часть книги содержит сведения о способах программирования встроенной памяти AT91SAM7. Здесь же приведены описания алгоритмов и исходных текстов нескольких управляющих программ на языке C, демонстрирующих пользователю работу ядра и основных периферийных узлов микроконтроллеров на аппаратном уровне. Каждый из проектов является полностью законченным продуктом и содержит, помимо демонстрационных компонентов, отдельные программные блоки-драйверы встроенных узлов AT91SAM7. Приведённые программные коды снабжены русифицированными комментариями, что облегчает возможность их применения в пользовательских приложениях на базе AT91SAM7. Часть этих проектов написана самим автором, остальные — только протестированы им.

Важной особенностью книги является то, что она не только содержит сведения справочного характера, но и охватывает все этапы проектирования приложений на основе МК AT91SAM7, что позволяет в короткие сроки овладеть навыками работы с этим семейством даже начинающим разработчикам.

К книге прилагается CD-диск, содержащий бесплатные демоверсии описанного в ней инструментального программного обеспечения, исходные коды и «прошивки» авторских и свободно распространяемых проектов для микроконтроллеров AT91SAM7, оригинальная справочная информация производителя и прочие справочные материалы.

Книга предназначена для специалистов в области разработки электронной аппаратуры, студентов технических вузов и других лиц, интересующихся электроникой. Необходимый уровень подготовки читателей предполагает знание основ цифровой и аналоговой схемотехники, а также основ программирования на языке C.

Автор выражает благодарность Николаю Королеву, сотруднику фирмы ARGUSSOFT (официальный дистрибьютер корпорации Atmel в России,

www.argussoft.ru) за любезно предоставленные инструментальные средства, технические консультации и информационные материалы.

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

# ЧАСТЬ I

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР МК С ЯДРОМ ARM7

---

- Глава 1.** МК семейства ADuC70xx фирмы Analog Devices
- Глава 2.** МК семейства LPC2000 фирмы NXP
- Глава 3.** МК TMS470R1x фирмы Texas Instruments
- Глава 4.** МК семейства AT91SAM7 фирмы Atmel

На момент написания этой книги на российском рынке наиболее полно были представлены следующие семейства МК с ядром ARM7: ADuC70xx (Analog Devices), AT91SAM7 (Atmel), TMS470R1x (Texas Instruments) и LPC2000 (NXP). Отдать явное и очевидное предпочтение какому-то одному из этих семейств представляется разработчику затруднительным, поскольку каждое из них имеет свои сильные и слабые стороны и соответственно оптимальные области приложений. Однако, поскольку эта книга посвящена микроконтроллерам AT91SAM7 фирмы Atmel, мы остановимся на описании этих микросхем более подробно.

## МК СЕМЕЙСТВА ADUC70XX ФИРМЫ ANALOG DEVICES

Микросхемы семейства ADuC70xx представляют собой 32/16-битные МК с ядром ARM7TDMI. Среди перечисленных выше семейств МК ARM7 ADuC70xx являются абсолютными лидерами в области аналоговой периферии, поскольку имеют на кристалле 12-битные АЦП и ЦАП (у остальных семейств — только 10-битные). Однако по сравнению с другими МК на базе ARM7 ADuC70xx имеют сравнительно невысокую производительность ядра (тактовая частота до 45 МГц). Причина этого, очевидно, заключается в том, что производитель позиционирует ADuC70xx как «прецизионные аналоговые микроконтроллеры», относящиеся к классу устройств, носящих оригинальное название «микроконверторы». Этот термин принадлежит компании Analog Devices и подразумевает устройство, содержащее на одном кристалле приоритетный узел — прецизионный АЦП и вспомогательный узел — процессорное ядро, обслуживающее АЦП, а также прочую аналоговую и цифровую периферию. Согласно концепции построения микроконверторов основное внимание производитель уделяет аналоговым измерениям, а ядро и вся цифровая часть микросхемы являются по сути обвязкой АЦП, предназначенной для обработки результатов измерений и организации интерфейсов передачи данных и взаимодействия с пользователем.

Микроконтроллеры ADuC70xx имеют следующие типовые особенности.

- Встроенная аналоговая периферия:
  - многоканальный (до 16 каналов) 12-битный АЦП с производительностью до 1 MSPS;
  - многоканальный (до 4 каналов) 12-битный ЦАП с выходом по напряжению;
  - встроенный высокостабильный ИОН (с температурным коэффициентом  $\pm 40$  ppm/°C);
  - встроенный температурный датчик;
  - встроенный аналоговый компаратор.
- Процессорное ядро:
  - ARM7TDMI с 32/16-битной RISC-архитектурой;
  - встроенный порт JTAG, обеспечивающий загрузку/отладку кода;
  - возможность тактирования от внешнего тактового сигнала или от системы ФАПЧ (до 45 МГц) со встроенным генератором или генератором с внешним кварцевым резонатором и программируемым делителем;
  - 24 источника аппаратных прерываний и программные прерывания.

- Встроенная память:
  - 62 КБ флэш/ЕЕ-памяти (с ресурсом до 10000 циклов стирания/записи);
  - 8 КБ оперативной памяти SRAM;
  - возможность установки защиты памяти от записи и чтения;
  - внутрисхемная загрузка флэш/ЕЕ-памяти и SRAM через JTAG;
  - внутрисхемная загрузка флэш/ЕЕ-памяти через UART или I<sup>2</sup>C;
  - возможность внутрисистемного программирования флэш/ЕЕ-памяти пользовательской программой;
  - встроенный загрузчик памяти и конфигуратор ядра (kernel);
  - возможность подключения внешней памяти EPROM/RAM.
- Встроенная цифровая периферия:
  - порты UART, SPI, два I<sup>2</sup>C;
  - порты общего назначения GPIO (до 40 линий ввода/вывода);
  - два таймера общего назначения;
  - схема сброса при включении (таймер «пробуждения») и сторожевой таймер;
  - монитор источника питания;
  - трёхфазный 16-битный генератор ШИМ;
  - программируемая логическая матрица PLA.
- Питание и исполнение:
  - номинальное напряжение питания ..... 3.3 В;
  - ток потребления в активном режиме:
    - при тактовой частоте 1 МГц ..... 3 мА;
    - при тактовой частоте 45 МГц ..... 50 мА;
  - рабочий температурный диапазон ..... –40...+125°С;
  - исполнение в корпусах от 40-выводного LFCSP до 80-выводного LQFP.

Сводный перечень микроконтроллеров ADuC70xx представлен в **Табл. 1.1**. Как можно видеть из таблицы, ADuC70xx имеют довольно скромные размеры встроенной памяти, что, очевидно, можно объяснить «микроконверторной» концепцией их построения.

**Таблица 1.1.** Микроконтроллеры семейства ADuC70xx

Прибор	АЦП	ЦАП	Флэш/ SRAM	ШИМ	GPIO	Загрузка кода	Температурный диапазон	Корпус
			КБ				°С	
ADuC7019BCP62I	5 (1 канал с буфером)	3	62/8	1-фазная	14	I <sup>2</sup> C	–40...+125	LFCSP_VQ40
ADuC7020BCP62	5	4	62/8	1-фазная	14	UART	–40...+125	LFCSP_VQ40
ADuC7020BCP62I	5	4	62/8	1-фазная	14	I <sup>2</sup> C	–40...+125	LFCSP_VQ40
ADuC7021BCP62	8	2	62/8	1-фазная	13	UART	–40...+125	LFCSP_VQ40
ADuC7021BCP62I	8	2	62/8	1-фазная	13	I <sup>2</sup> C	–40...+125	LFCSP_VQ40
ADuC7021BCP32	8	2	32/4	1-фазная	13	UART	–40...+125	LFCSP_VQ40
ADuC7022BCP62	10	—	62/8	1-фазная	13	UART	–40...+125	LFCSP_VQ40
ADuC7022BCP32	10	—	32/4	1-фазная	13	UART	–40...+125	LFCSP_VQ40

Таблица 1.1. Микроконтроллеры семейства ADuC70xx (продолжение)

Прибор	АЦП	ЦАП	Флэш/ SRAM	ШИМ	GPIO	Загрузка кода	Температурный диапазон	Корпус
			КБ				°C	
ADuC7024BCP62	10	2	62/8	3-фазная	30	UART	-40...+125	LFCSP_VQ64
ADuC7024BST62	10	2	62/8	3-фазная	30	UART	-40...+125	LQFP64
ADuC7025BCP62	12	—	62/8	3-фазная	30	UART	-40...+125	LFCSP_VQ64
ADuC7025BCP32	12	—	32/4	3-фазная	30	UART	-40...+125	LFCSP_VQ64
ADuC7025BST62	12	—	62/8	3-фазная	30	UART	-40...+125	LQFP64
ADuC7026BST62	12	4	62/8 <sup>1)</sup>	3-фазная	40	UART	-40...+125	LQFP80
ADuC7026BST62I	12	4	62/8 <sup>1)</sup>	3-фазная	40	I <sup>2</sup> C	-40...+125	LQFP80
ADuC7027BST62	16	—	62/8 <sup>1)</sup>	3-фазная	40	UART	-40...+125	LQFP80

<sup>1)</sup> Интерфейс внешней памяти.

Для получения более подробной информации об МК семейства ADuC70xx рекомендуется обратиться к источнику [1].

## МК СЕМЕЙСТВА LPC2000 ФИРМЫ NXP

Семейство LPC2000 представляет собой 32/16-битные микроконтроллеры с ядром ARM7TDMI-S. Согласно рекомендациям производителя они предназначены для использования в автомобилестроении, медицине, сетевых устройствах, а также в промышленной и бытовой электронике, в том числе с батарейным питанием. Выпускаемые в настоящее время МК работают на тактовой частоте до 60 МГц, обеспечивая производительность до 54 MIPS, имеют встроенную память ROM типа флэш объёмом 32...1024 КБ со 128-битной шиной, статическую оперативную память (SRAM) объёмом 2...64 КБ, модули ШИМ, многоканальный 10-битный модуль АЦП, 10-битный модуль ЦАП, интерфейсы I<sup>2</sup>C, SPI, CAN, два UART (один UART с полным модемным интерфейсом), USB.

Микроконтроллеры LPC2000 имеют следующие типовые особенности:

- 32/16-битное ядро ARM7TDMI-S;
- встроенный генератор 1...30 МГц и схема ФАПЧ;
- 2/4/8/32/16/64 КБ памяти типа SRAM (статическое ОЗУ);
- 32/64/128/256/512/1024 КБ памяти типа флэш с 128-битной шиной и обращением без цикла ожидания (ресурс не менее 10000 циклов стирания/записи в рабочем температурном диапазоне);
- стандартный отладочный интерфейс JTAG;
- ISP (In-System Programming) внутрисистемное программирование флэш-памяти;
- IAP (In-Application Programming) режим побайтового программирования в составе целевой программы (пользовательского приложения). Программирование 512-байтовой (256-байтовой) строки занимает 1 мс, полное стирание всей памяти занимает 400 мс;
- работа с командами длиной 32 бита (стандартный режим ARM) и 16 бит (режим Thumb);
- внешняя 8/32/16-битная шина (только для МК LPC2000 в 144-выводном корпусе);
- многоканальный модуль ШИМ;
- интерфейсы UART, I<sup>2</sup>C (400 Кбит/с), SPI;
- интерфейсы CAN с приёмными фильтрами;
- два 32-битных таймера с каналами сравнения и захвата;
- таймер реального времени и сторожевой таймер WDT ;
- интерфейс USB;

- многоканальный 10-битный АЦП с временем преобразования в одном канале 2.44 мкс;
- 10-битный модуль ЦАП;
- встроенный отладочный интерфейс ICE, позволяющий задавать точки останова;
- раздельное питание для ядра и встроенной периферии (1.65...1.95 В/3.0...3.6 В), отключение неиспользуемой периферии, два режима экономии потребляемой мощности;
- ток потребления от источника питания ядра 1.8 В в активном режиме:
  - при тактовой частоте 60 МГц и неактивной периферии . . . . . 60 мА;
  - при тактовой частоте 10 МГц и неактивной периферии . . . . . 10 мА;
  - в режиме Power-down при неактивной периферии . . . . . 10 мкА;
- индивидуальное управление питанием встроенной периферии;
- линии ввода/вывода общего назначения GPIO с питающим напряжением 3.0...3.6 В, толерантные к внешнему напряжению 5 В.

Производитель рекомендует следующие области применения МК LPC2000:

- промышленный контроль (управление);
- медицинские системы;
- управление доступом;
- машина-шлюз для связи между сетями;
- встроенный модем;
- универсальные приложения.

Сводный перечень микросхем семейства LPC2000 представлен в **Табл. 2.1**. Как можно видеть из таблицы, это семейство имеет самый широкий среди всех семейств МК с ядром ARM7 модельный ряд. Помимо уже сравнительно давно выпускающихся МК, приведены данные по новой серии МК внутри семейства LPC2000 — ARM-7 Mini. На момент написания этой книги доступны три представителя новой серии — LPC2101, LPC2102 и LPC2103. Они производятся по технологии 0.16 мкм. Наличие 128-битной шины доступа к флэш-памяти позволяет обеспечить работу на частоте до 70 МГц и достичь производительности 63 MIPS, что делает эти микроконтроллеры абсолютными лидерами по производительности на рынке флэш ARM7TDMI-МК. Отличительной особенностью новинок является возможность работы портов ввода/вывода на частоте до 17.5 МГц, что в 4 раза превосходит показатели прочих ARM-микроконтроллеров.

Кроме того, фирма NXP недавно анонсировала два новых МК семейства LPC2000: LPC2880 и LPC2888, которые заслуживают отдельного упоминания. Помимо характеристик, перечисленных в **Табл. 2.1**, эти микросхемы имеют следующие дополнительные типовые особенности:

- 32/16-битное ядро ARM7TDMI с 8 КБ кэш-памяти;
- встроенный загрузчик обеспечивает возможность работы из флэш-памяти, внешней памяти и загрузки программы через USB;
- контроллер внешней памяти для подключения SDRAM, NOR/NAND флэш-памяти, статических ОЗУ;

Таблица 2.1. Микроконтроллеры семейства LPC2000

Микроконтроллер	ОЗУ		Флэш-память		Таймеры общего назначения [бит]	CAP/COM		Тактирование модуля RTC		Интерфейсы						ШИМ	АЦП бит/ канал	ЦАП бит/ канал	Внешняя шина [бит]			I/O выходы	FCPU	Напряжение питания [В]		Диапазон температур °C	Корпус
	КБ	КБ	КБ	защита		UART	CAN	I <sup>2</sup> C	SPI	SSP	USB	канал	бит/ канал	бит/ канал	Адрес				Данн.	CS	MГц			CPU	I/O		
LPC2101FBD48	2	8	●	—	2×32 2×16	7	●	—	2	2	—	2	2	●	—	10/8	—	—	—	32	1...70	1.8	3.3	-40...+85	LQFP48		
LPC2102FBD48	4	16	●	—	2×32 2×16	7	●	—	2	2	—	2	2	●	—	10/8	—	—	—	32	1...70	1.8	3.3	-40...+85	LQFP48		
LPC2103FBD48	8	32	●	—	2×32 2×16	7	●	—	2	2	—	2	2	●	—	10/8	—	—	—	32	1...70	1.8	3.3	-40...+85	LQFP48		
LPC2104BBD48	16	128	—	—	2×32	7	●	—	2	1	—	1	1	—	6	—	—	—	—	32	1...60	1.8	3.3	0...+70	LQFP48		
LPC2105BBD48	32	128	—	—	2×32	7	●	—	2	1	—	1	1	—	6	—	—	—	—	32	1...60	1.8	3.3	0...+70	LQFP48		
LPC2106BBD48	64	128	—	—	2×32	7	●	—	2	1	—	1	1	—	6	—	—	—	—	32	1...60	1.8	3.3	0...+70	LQFP48		
LPC2106FBD48	64	128	—	—	2×32	7	●	—	2	1	—	1	1	—	6	—	—	—	—	32	1...60	1.8	3.3	-40...+85	LQFP48		
LPC2106FHN48	64	128	—	—	2×32	7	●	—	2	1	—	1	1	—	6	—	—	—	—	32	1...60	1.8	3.3	-40...+85	HVQFN48		
LPC2114FBD64	16	128	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/4	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	-40...+85	LQFP64		
LPC2114FHN64	16	128	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/4	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	-40...+85	HVQFN64		
LPC2119FBD64	16	128	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/4	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	-40...+85	LQFP64		
LPC2119FHN64	16	128	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/4	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	-40...+85	HVQFN64		
LPC2124FBD64	16	256	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/4	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	-40...+85	LQFP64		
LPC2124FHN64	16	256	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/4	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	-40...+85	HVQFN64		
LPC2129FBD64	16	256	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/4	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	-40...+85	LQFP64		
LPC2129FHN64	16	256	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/4	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	-40...+85	HVQFN64		
LPC2131FBD64	8	64	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/8	10/1	—	—	47	1...60	3.3	3.3	-40...+85	LQFP64		
LPC2132FBD64	16	64	●	—	2×32	8	●	—	2	1	—	2	2	—	6	10/8	10/1	—	—	47	1...60	3.3	3.3	-40...+85	LQFP64		

Таблица 2.1. Микроконтроллеры семейства LPC2000 (продолжение)

Микроконтроллер	ОЗУ		Флэш-память		Таймеры общего назначения [бит]	CAP/COM		Тактирование модуля RTC		Интерфейсы						ШИМ канал	АЦП бит/канал	ЦАП бит/канал	Внешняя шина [бит]			I/O выводов	fCPU	Напряжение питания [В]		Диапазон температур °C	Корпус		
	КБ	КБ	КБ	защита		внешн. 32 кГц	внутр. ФАПЧ	UART	CAN	I <sup>2</sup> C	SPI	SSP	USB	ИП	Адрес				Данные	CS	МГц			CPU	I/O			°C	
LPC2134FBD64	16	128	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	2	—	1	2	—	—	6	10/8	10/1	—	—	—	47	1...60	3.3	—40...+85	LQFP64	
LPC2136FBD64	32	256	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	—	—	1	2	—	—	6	10/8×2	10/1	—	—	—	47	1...60	3.3	—40...+85	LQFP64	
LPC2138FBD64	32	512	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	—	—	2	1	●	—	6	10/8×2	10/1	—	—	—	47	1...60	3.3	—40...+85	LQFP64	
LPC2141FBD64	8	32	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	—	—	1	2	—	—	6	10/8	—	—	—	—	47	1...60	3.3	—40...+85	LQFP64	
LPC2142FBD64	16	64	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	—	—	1	2	—	—	6	10/8	10/1	—	—	—	47	1...60	3.3	—40...+85	LQFP64	
LPC2144FBD64	16	128	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	—	—	1	2	—	—	6	10/8	10/1	—	—	—	47	1...60	3.3	—40...+85	LQFP64	
LPC2146FBD64	32	256	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	—	—	1	2	—	—	6	10/8×2	10/1	—	—	—	47	1...60	3.3	—40...+85	LQFP64	
LPC2148FBD64	32	512	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	—	—	2	1	●	—	6	10/8×2	10/1	—	—	—	47	1...60	3.3	—40...+85	LQFP64	
LPC2194JBD64	16	256	●	—	2×32	8	●	—	—	2	4	1	2	—	2	—	—	6	10/4	—	—	—	—	46	1...60	1.8	3.3	—40...+105	LQFP64
LPC2210FBD144	16	—	—	—	2×32	8	●	—	—	2	—	1	2	—	1	2	—	6	10/8	—	24	32	4	76	1...60	1.8	3.3	—40...+85	LQFP144
LPC2212FBD144	16	128	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	1	2	—	1	2	—	6	10/8	—	24	32	4	112	1...60	1.8	3.3	—40...+85	LQFP144
LPC2214FBD144	16	256	●	—	2×32	8	●	—	—	2	—	1	2	—	1	2	—	6	10/8	—	24	32	4	112	1...60	1.8	3.3	—40...+85	LQFP144
LPC2220FBD144	64	—	—	—	2×32	8	●	—	—	2	—	1	3	—	1	3	—	6	10/8	—	24	32	4	112	1...60	1.8	3.3	—40...+85	LQFP144
LPC2290FBD144	16	—	—	—	2×32	8	●	—	—	2	2	1	2	—	1	2	—	6	10/8	—	24	32	4	76	1...60	1.8	3.3	—40...+85	LQFP144
LPC2292FBD144	16	256	●	—	2×32	8	●	—	—	2	2	1	2	—	1	2	—	6	10/8	—	24	32	4	112	1...60	1.8	3.3	—40...+125	LQFP144
LPC2294JBD144	16	256	●	—	2×32	8	●	—	—	2	4	1	2	—	1	2	—	6	10/8	—	24	32	4	112	1...60	1.8	3.3	—40...+125	LQFP144
LPC2880	64	—	—	—	2×32	4+4	●	—	—	1	—	1+I <sup>2</sup> S	—	—	—	—	—	—	—	—	24	32	4	79	1...60	1.5/5	—	—40...+85	TFBGA 180
LPC2888	64	1M	●	—	2×32	4+4	●	—	—	1	—	1+I <sup>2</sup> S	—	—	—	—	—	—	—	—	24	32	4	79	1...60	1.5/5	—	—40...+85	TFBGA 180

- встроенный DC-DC преобразователь, обеспечивающий возможность работы от одной батарейки AA(A) напряжением 0.9...1.6 В или от напряжения 5 В шины USB;
- усовершенствованный векторный контроллер прерываний с поддержкой до 30 векторов прерываний;
- система управления событиями обработки прерываний, гибкого управления энергопотреблением и системой тактирования в зависимости от большого количества (до 107) событий;
- многоканальный контроллер DMA для работы с большинством периферийных модулей и пересылками внутри памяти;
- высокоскоростной (HS) порт USB 2.0 (480 Мбит/с) со встроенным трансивером;
- UART с поддержкой IrDA, буфер FIFO, I<sup>2</sup>C, I<sup>2</sup>S аудиоинтерфейс;
- интерфейсы карт памяти SD, MMC;
- 16-бит стерео АЦП и ЦАП + программируемый усилитель;
- интерфейс (8 бит и 4 бита) для подключения ЖКИ.

Производитель рекомендует следующие приложения LPC2880/2888:

- портативные устройства с батарейным питанием;
- USB-устройства;
- управление периферийными устройствами (считыватели смарт-карт, принтеры, сканеры и т. п.);
- контрольно-измерительные приборы.

Для получения более подробной информации об МК семейства LPC2000 рекомендуется обратиться к источникам [2, 5].

## МК TMS470R1X ФИРМЫ TEXAS INSTRUMENTS

Микросхемы семейства TMS470R1x представляют собой 32/16-битные МК с ядром ARM7TDMI-S и имеют следующие типовые особенности.

- Процессор и память:
  - 32/16-битное ядро TMS470R1x (ARM7TDMI™);
  - системная синхронизация 24 МГц (в режиме конвейеризации 60 МГц);
  - отдельные 32/16-битные наборы команд;
  - встроенный отладочный модуль;
  - флэш-память программ размером до 1 МБ;
  - два банка с 14 смежными секторами;
  - встроенный цифровой автомат программирования и стирания;
  - статическое ОЗУ (SRAM) размером до 64 КБ.
- Характеристики питания:
  - напряжение питания ядра (VCC) 1.81 В...2.05 В;
  - напряжение питания ввода/вывода (VCCIO) 3.0 В...3.6 В;
  - экономичные режимы: STANDBY и HALT;
  - промышленный температурный диапазон –40...+105°С.
- Модуль расширения шины (EBM).
- Модуль защиты памяти (MSM).
- Системный модуль 470+:
  - 32-битная дешифрация адресного пространства;
  - контроль шины памяти и периферийных устройств;
  - аналоговый сторожевой таймер (AWD);
  - прерывание реального времени (RTI);
  - модуль расширения прерываний (IEM);
  - детектирование системной целостности и отказа.
- Контроллер прямого доступа к памяти (DMA): 32 пакета управления и 16 каналов.
- Модуль синхронизации с предделителем на основе фазовой автоподстройки частоты с нулевым выводом (ZPLL):
  - выборочное умножение частоты на 4 или на 8;
  - режим обхода ZPLL.
- 7 коммуникационных интерфейсов:
  - три последовательных периферийных интерфейса (SPI);
  - 255 программируемых скоростей;

- два последовательных коммуникационных интерфейса (SCI);
- $2^{24}$  выбираемых скоростей связи;
- асинхронный/изохронный режимы;
- два стандартных CAN-контроллера (SCC);
- 16 почтовых ящиков в каждом SCC CAN-контроллере;
- два высококачественных CAN-контроллера (HECC), совместимых с версией CAN 2.0B;
- 32 почтовых ящика в каждом HECC CAN-контроллере.
- Программируемый таймер (HET):
  - до 32 программируемых каналов ввода/вывода;
  - до 24 выводов с высоким разрешением;
  - до 8 выводов со стандартным разрешением;
  - открытая функция высокого разрешения (XOR);
  - ОЗУ (ёмкость — 128 инструкций).
- 10-битный многобуферный блок АЦП:
  - до 16 аналоговых входов;
  - буфер FIFO ёмкостью 128 слов;
  - одиночный или непрерывный режимы преобразований;
  - минимальное время выборки и преобразования — 1.55 мкс;
  - калибровочный режим и функции самотестирования.
- 8 внешних прерываний.
- 27 линий ввода/вывода общего назначения, 1 линия ввода и 59 дополнительных линий ввода/вывода периферийных устройств.
- Встроенная логика эмуляции по принципу сканирования, порт доступа к функции тестирования по стандарту IEEE 1149.1 (JTAG). Граничное сканирование не поддерживается.
- Исполнение в 144-выводном корпусе с четырёхсторонним расположением выводов (LQFP).

В микросхемах TMS470R1x заслуживает отдельного упоминания такой оригинальный узел, как программируемый таймер (HET), обеспечивающий функции захвата, сравнения и счёта и имеющий 32 ассоциированных линии ввода/вывода общего назначения, а также собственное ОЗУ. Этот таймер представляет собой фактически аппаратный сопроцессор, имеющий собственный набор команд из 21 инструкции и позволяющий управлять 32 линиями ввода/вывода МК независимо от состояния ядра ARM7.

Сводный перечень МК TMS470R1x представлен в **Табл. 3.1**. Как можно видеть из таблицы, эти микросхемы весьма насыщены функционально, имеют большой объём встроенной памяти, но их модельный ряд пока невелик.

Таблица 3.1. Микроконтроллеры семейства TMS470R1x

Прибор	Флэш	ОЗУ	Тактовая частота ядра	Выходы таймера	АЦП	I/O выходы	Последовательные интерфейсы	Прочая периферия	Температурный диапазон	Корпус
	КБ	КБ	МГц	HEC	канал/бит		CAN		°C	
TMS470R1A64	64	8	48	13	8/10	40	2 x SPI 2 x SCI SCC	C2SI	-40...+105	LQFP-80
TMS470R1A128	128	8	48	16	16/10	50	2 x SPI 2 x SCI SCC	C2SI	-40...+105	LQFP-100
TMS470R1A256	256	12	48	16	16/10	50	2 x SPI 2 x SCI SCC	C2SI	-40...+105	LQFP-100
TMS470R1A288	288	16	48	12	12/10	93	2 x SPI 2 x SCI SCC	C2SI, I <sup>2</sup> C, DMA, EBM, MSM	-40...+105	LQFP-100/ LQFP-144
TMS470R1A384	384	32	48	12	12/10	94	2 x SPI 2 x SCI SCC	C2SI, I <sup>2</sup> C, DMA, EBM	-40...+105	LQFP-100/ LQFP-144
TMS470R1B512	512	32	60	32	16/10	87	2 x SPI 2 x SCI HECC	DMA	-40...+105	LQFP-144
TMS470R1B768	768	48	60	32	16/10	87	2 x SPI 2 x SCI HECC	DMA	-40...+105	LQFP-144
TMS470R1B1M	1024	64	60	12	12/10	93	2 x SPI 2 x SCI HECC	I <sup>2</sup> C, DMA, EBM, MSM	-40...+85	LQFP-144

Для получения более подробной информации об МК семейства TMS470R1x рекомендуется обратиться к источнику [3].