

УДК 621.316.544.1 + 004.312.46

ББК 31.264

P97

**Рюмик, Сергей Максимович.**

P97 1000 и одна микроконтроллерная схема. Вып. 3 / С. М. Рюмик. — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf : 356 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-442-1

Книга является третьей частью авторского издания под общим титульным названием «1000 и одна микроконтроллерная схема». Ранее в издательстве «Додэка-XXI» вышли в свет две книги из данной серии: «Выпуск 1» (2010 г.) и «Выпуск 2» (2011 г.). Новая книга «Выпуск 3» служит их логическим продолжением и дополнением. В ней содержатся электрические схемы сопряжения микроконтроллеров с внешними устройствами. Основной упор, в отличие от аналогичных по тематике изданий, делается на рассмотрение небольших, конструктивно завершённых, схемных узлов.

В книге освещается работа базовых микроконтроллерных подсистем, в частности ввода и вывода сигналов, питания, тактирования, сброса, программирования. Уделяется должное внимание популярным интерфейсам: USB, SPI, RS-485, I2C, 1-Wire. Приводятся схемы электрической «обвязки» для популярных плат Arduino, которые тоже содержат микроконтроллеры.

Книгу можно считать справочником типовых решений, поскольку все электрические схемы систематизированы по разделам и снабжены краткими пояснениями о назначении элементов. Ссылки на дополнительные материалы и литературу даны в конце каждого из разделов. В общей сумме в трёх книгах «Выпуск 1..3» насчитывается около 3000 схем.

В книге содержится мини-курс, посвящённый компьютерному моделированию. Приводится методика анализа небольших узлов, подключаемых к выводам микроконтроллеров. С помощью моделирования можно заранее спрогнозировать результат работы устройства без паяльника и без макетирования «в железе».

Книга будет полезна разработчикам электронной аппаратуры, радиолюбителям (в том числе начинающим), студентам, а также всем неспециалистам в области электроники, самостоятельно осваивающим микроконтроллеры.

УДК 621.316.544.1 + 004.312.46

ББК 31.264

**Электронное издание на основе печатного издания:** 1000 и одна микроконтроллерная схема. Вып. 3 / С. М. Рюмик. — Москва : ДМК Пресс, 2016. — 356 с. — ISBN 978-5-97060-348-2. — Текст : непосредственный.

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.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-442-1

© Рюмик, С. М., 2016

© Оформление, Издание, ДМК Пресс, 2016

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> . . . . .	9
<b>Глава 1. Из чего состоит МК</b>	
1.1. Загадки терминологии . . . . .	13
1.2. Историческая справка . . . . .	16
1.3. Обновлённая классификация МК . . . . .	19
1.4. Микроконтроллерные новости . . . . .	21
1.4.1. Мультиядерные МК . . . . .	21
1.4.2. Гибкие МК . . . . .	22
1.4.3. МК с сегнетоэлектрической памятью FRAM . . . . .	22
1.4.4. Беспроводные МК . . . . .	24
1.4.5. 32-битные МК начального уровня . . . . .	25
1.4.6. Клонирование МК . . . . .	26
1.5. Мотивация в изучении МК . . . . .	27
1.6. Какой МК выбрать? . . . . .	29
1.7. Внутреннее устройство МК . . . . .	31
1.7.1. Обновлённая структурная схема МК . . . . .	31
1.7.2. Центральное вычислительное устройство . . . . .	32
1.7.3. Память ОЗУ . . . . .	32
1.7.4. Память ПЗУ . . . . .	33
1.7.5. Подсистема прерываний . . . . .	33
1.7.6. Подсистема интерфейсов . . . . .	34
1.7.7. Подсистема программирования . . . . .	35
1.7.8. Подсистема питания . . . . .	36
1.7.9. Подсистема начального сброса . . . . .	38
1.7.10. Подсистема тактирования . . . . .	40
1.7.11. Подсистема портов ввода/вывода . . . . .	42
1.8. Условные обозначения на схемах с идеализированным МК . . . . .	48
Список использованных источников и литературы к главе 1 . . . . .	54

**Глава 2. Типовые схемы узлов ввода МК**

2.1. Приём аналоговых и цифровых сигналов . . . . .	55
2.1.1. Приём сигналов низкого напряжения . . . . .	55
2.1.2. Приём сигналов высокого напряжения . . . . .	57
2.1.3. Внутренний аналоговый компаратор . . . . .	60
2.2. Входные усилители сигналов . . . . .	62
2.2.1. Усилители на транзисторах и микросхемах . . . . .	62
2.2.2. Трансформаторная развязка . . . . .	64
2.3. Механические датчики . . . . .	65
2.3.1. Энкодеры . . . . .	65
2.3.2. Кнопки, переключатели . . . . .	66
2.3.3. Датчики вибрации . . . . .	67
2.4. Акустические датчики. . . . .	69
2.4.1. Микрофоны и громкоговорители . . . . .	69
2.5. Оптические датчики. . . . .	70
2.5.1. Дискретные фотодатчики . . . . .	70
2.5.2. Интегральные фотомодули. . . . .	71
2.5.3. Оптопары . . . . .	73
2.5.4. Датчики с открытым оптическим каналом . . . . .	74
2.6. Температурные датчики. . . . .	75
2.6.1. Терморезисторы . . . . .	75
2.6.2. Термопары . . . . .	77
2.6.3. Интегральные термодатчики. . . . .	78
2.7. Погодные датчики. . . . .	78
2.7.1. Датчики атмосферного давления . . . . .	78
2.8. Прочие схемы узлов ввода . . . . .	80
Список использованных источников и литературы к главе 2 . . . . .	84

**Глава 3. Типовые схемы узлов управления и тактирования**

3.1. Формирователи сигнала начального сброса . . . . .	87
3.2. Внешние источники опорного напряжения. . . . .	90
3.3. Стабилизация тактовой частоты. . . . .	91
3.4. Приём тактовых сигналов . . . . .	92
3.5. Прочие схемы тактирования. . . . .	93
Список использованных источников и литературы к главе 3 . . . . .	94

**Глава 4. Типовые схемы подачи питания на МК**

4.1. Параметрические стабилизаторы напряжения . . . . .	95
4.2. Линейные интегральные стабилизаторы. . . . .	96
4.3. Импульсные DC/DC-преобразователи напряжения. . . . .	97
4.4. «Импульсно-линейные» источники питания . . . . .	98
4.5. Электронное включение/выключение питания . . . . .	99
4.6. Фильтрация питания . . . . .	102
4.7. Прочие схемы организации питания . . . . .	103
Список использованных источников и литературы к главе 4 . . . . .	106

**Глава 5. Типовые схемы узлов вывода МК**

5.1. Светодиодные индикаторы. . . . .	108
5.1.1. Одиночные светодиоды. . . . .	108
5.1.2. Сокращение числа соединительных линий . . . . .	110
5.1.3. Одиночные светодиоды с буферными элементами. . . . .	111
5.1.4. Цепочки светодиодов . . . . .	114
5.1.5. Линейки светодиодов . . . . .	115
5.1.6. Светодиодные матрицы. . . . .	116
5.1.7. Двухцветные светодиоды . . . . .	119
5.1.8. Трёхцветные светодиоды . . . . .	120
5.1.9. ИК-светодиоды . . . . .	121
5.1.10. Многоразрядные семисегментные индикаторы . . . . .	122
5.1.11. Уплотнение сигналов в семисегментных индикаторах . . . . .	124
5.1.12. Буквенно-цифровые индикаторы . . . . .	126
5.1.13. Алфавитно-цифровые OLED-модули. . . . .	127
5.1.14. Цветные OLED-дисплеи . . . . .	131
5.1.15. Лазерные излучатели. . . . .	132
5.1.16. Мигающие светодиоды . . . . .	134
5.1.17. Излучатели внутри оптопар. . . . .	134
5.2. Накальные и газоразрядные индикаторы . . . . .	138
5.2.1. Электрические лампы накаливания . . . . .	138
5.2.2. Вакуумные индикаторы семейства Nixie . . . . .	141
5.2.3. Низковольтные люминесцентные вакуумные индикаторы. . . . .	143
5.2.4. Прочие газоразрядные индикаторы . . . . .	144
5.3. Жидкокристаллические индикаторы. . . . .	146
5.3.1. Семисегментные ЖКИ . . . . .	146
5.3.2. Алфавитно-цифровые ЖК-модули (АЦЖК) . . . . .	146
5.3.3. ЖК-дисплеи . . . . .	151
5.4. Звуковая система. . . . .	152
5.4.1. Ультразвуковые излучатели . . . . .	152
5.4.2. Транзисторные усилители звука. . . . .	153
5.4.3. Интегральные усилители звука . . . . .	155
5.4.4. Генерация звука через ШИМ . . . . .	156
5.4.5. Генерация звука через ЦАП . . . . .	158
5.4.6. Формирование огибающей. . . . .	159
5.5. Ключевые узлы. . . . .	160
5.5.1. Транзисторные ключи. . . . .	160
5.5.2. Узлы управления параметрами . . . . .	162
5.6. Электродвигатели . . . . .	163
5.6.1. Транзисторное управление двигателями . . . . .	163
5.6.2. Управление двигателями через мостовые схемы . . . . .	166
5.6.3. Микросхемы управления двигателями. . . . .	168
5.6.4. Шаговые двигатели . . . . .	170
5.6.5. Серводвигатели . . . . .	171

5.7. Генерация, модуляция, переключение сигналов . . . . .	172
5.7.1. Формирование телевизионных сигналов . . . . .	172
5.7.2. Коммутация сигналов с участием МК . . . . .	176
5.7.3. Подключение ЭРИ к внешнему тракту. . . . .	177
5.7.4. Генерация сигналов . . . . .	178
5.8. Силовая электроника . . . . .	180
5.8.1. Элементы Пельтье . . . . .	180
5.8.2. Механические реле общего применения. . . . .	181
5.9. Прочие схемы узлов вывода . . . . .	182
Список использованных источников и литературы к главе 5 . . . . .	187
<b>Глава 6. Типовые схемы комбинированных узлов ввода/вывода</b>	
6.1. Информационно-измерительные узлы . . . . .	194
6.2. Схемы с программной обратной связью . . . . .	197
6.3. Подключение внешних АЦП . . . . .	199
6.4. Опрос состояния кнопок и переключателей . . . . .	200
6.5. Опрос тастатуры . . . . .	202
6.6. Сокращение числа линий при опросе кнопок . . . . .	204
6.7. Измерение частоты . . . . .	207
6.8. Светоизлучатели и фотоприёмники . . . . .	207
6.9. Датчики со знакопеременным напряжением . . . . .	209
6.10. Прочие схемы узлов ввода/вывода. . . . .	211
Список использованных источников и литературы к главе 6 . . . . .	216
<b>Глава 7. Типовые схемы интерфейсных узлов</b>	
7.1. СОМ-порт . . . . .	218
7.2. Интерфейс USB . . . . .	220
7.3. Интерфейс CAN . . . . .	222
7.4. Интерфейс «1-Wire». . . . .	223
7.5. Интерфейс «K-Line». . . . .	224
7.6. Интерфейс I <sup>2</sup> C . . . . .	226
7.7. Интерфейсы UART/USART . . . . .	230
7.8. Интерфейс RS-485. . . . .	232
7.9. Интерфейс «Токовая петля» . . . . .	235
7.10. Часы реального времени RTC . . . . .	236
7.11. Интерфейс SPI . . . . .	238
7.12. Интерфейс карт памяти MMC/SD . . . . .	241
7.13. Работа с навигационными модулями GPS . . . . .	246
7.14. Интерфейс MIDI . . . . .	248
7.15. Интерфейс S/PDIF. . . . .	251
7.16. Прочие интерфейсы . . . . .	252
Список использованных источников и литературы к главе 7 . . . . .	256
<b>Глава 8. Типовые схемы автономных устройств</b>	
8.1. Микроконтроллерные модули питания . . . . .	259
8.2. Встраиваемые микроконтроллерные узлы. . . . .	260
8.3. Измерительные устройства. . . . .	262

8.4. Самостоятельно значимые устройства . . . . .	267
8.5. Вблизи от терменвокса . . . . .	271
8.6. Устройства автоматики . . . . .	274
8.7. Дорабатываемые устройства . . . . .	275
Список использованных источников и литературы к главе 8 . . . . .	277
<b>Глава 9. Схемы для Arduino</b>	
9.1. Кратко про Arduino . . . . .	280
9.1.1. Постановка задачи. . . . .	280
9.1.2. На кого рассчитан проект Arduino? . . . . .	281
9.1.3. Платформа «Open» . . . . .	281
9.1.4. Историческая справка . . . . .	283
9.1.5. Особенности Arduino . . . . .	283
9.1.6. Тестовая проверка Arduino . . . . .	285
9.1.7. Философия Arduino . . . . .	291
9.2. Схемы подключения Arduino . . . . .	291
9.2.1. Схемы с цифровыми входами . . . . .	292
9.2.2. Схемы с аналоговыми входами . . . . .	294
9.2.3. Схемы цифровых выходов . . . . .	297
9.2.4. Схемы аналоговых выходов . . . . .	300
9.2.5. Комбинированные схемы со входами и выходами . . . . .	303
9.2.6. Конструкции на базе Arduino . . . . .	306
Список использованных источников и литературы к главе 9 . . . . .	309
<b>Глава 10. Схемы, не рекомендуемые к применению</b>	
10.1. О достижении цели. . . . .	311
10.2. Примеры анализа электрических схем . . . . .	312
10.2.1. Разноцветный «светодинамик» . . . . .	312
10.2.2. Помехи в канале АЦП . . . . .	313
10.2.3. Внешняя нагрузка на выходе Arduino . . . . .	314
10.2.4. Arduino в качестве конвертора USB-UART. . . . .	316
Список использованных источников и литературы к главе 10 . . . . .	318
<b>Глава 11. Среда моделирования Micro-Cap</b>	
11.1. Компьютерное моделирование. . . . .	319
11.2. Micro-Cap: ограничения, версии, установка . . . . .	323
11.3. Технология рисования схем в Micro-Cap . . . . .	326
11.4. Базовые логические элементы . . . . .	329
11.4.1. Схема замещения КМОП-инвертора . . . . .	329
11.4.2. Компоненты замещения из библиотеки Micro-Cap . . . . .	330
11.4.3. Схема замещения КМОП-триггера Шмитта. . . . .	331
11.4.4. Схема замещения КМОП-инвертора с регулируемыми фронтами. . . . .	332
11.4.5. Моделирование аналоговых входов/выходов МК. . . . .	334
11.4.6. Модели в формате IBIS . . . . .	335
11.4.7. Текстовая макромодель инвертора для МК . . . . .	336
11.4.8. Экспериментальное уточнение параметров макромодели. . . . .	338

11.5. Моделирование подсистем МК . . . . .	341
11.5.1. Моделирование подсистемы питания. . . . .	341
11.5.2. Моделирование подсистемы начального сброса . . . . .	342
11.5.3. Моделирование подсистемы тактирования . . . . .	343
11.5.4. Моделирование подсистемы портов ввода/вывода . . . . .	344
Список использованных источников и литературы к главе 11 . . . . .	346
<b>Послесловие.</b> . . . . .	347
<b>Приложения</b>	
Приложение 1. Ссылки и адреса в Интернете . . . . .	349
Приложение 2. Список аббревиатур. . . . .	353