

УДК 621.316.544.1 + 004.312.46

ББК 31.264

P97

Рюмик С. М.

P97 1000 и одна микроконтроллерная схема. Вып. 4 / С. М. Рюмик. — М.: ДМК-Пресс, 2017. — 336 с.: ил. — ISBN 978-5-97060-565-3.

Книга дополняет и развивает схемотехнические идеи, изложенные в аналогичных по названию авторских сборниках под общим заголовком «1000 и одна микроконтроллерная схема». Ранее вышли в свет книги: «Выпуск 1» (2010 г.), «Выпуск 2» (2011 г.), «Выпуск 3» (2016 г.). Новая книга «Выпуск 4» отличается профессиональной направленностью, поскольку в ней анализируются технические решения, применяемые фирмами в реальных конструкциях, прошедших проверку практикой.

За основу взяты так называемые отладочные платы, входящие в обязательный инструментарий современных разработчиков аппаратуры. Платы позволяют оценить потенциальные возможности разных микроконтроллерных семейств. Пользователь точно знает, что схемотехнических «сюрпризов» в отладочной плате нет, и она будет устойчиво функционировать в широком диапазоне температур, нагрузок и питающих напряжений. Это способствует тому, что специалист может полностью сосредоточиться на отработке программного обеспечения.

Если внимательно присмотреться, то в отладочных платах присутствуют все элементы микроконтроллерных подсистем: ввода и вывода сигналов, питания, тактирования, сброса, интерфейсов, программирования. Системный уровень позволяет рассматривать схемы через призму небольших, но функционально завершённых узлов.

Все электрические схемы, как и в прежних книгах цикла, систематизируются по разделам и снабжаются краткими пояснениями о назначении элементов. Из новинок — дополнительный раздел, посвящённый конструктивным особенностям и топологии размещения радиоэлементов на печатных платах. Используемые конструктивные идеи взяты из реальных отладочных плат, что может в дальнейшем пригодиться при разработке своей собственной аппаратуры.

Общее число рисунков в книге достигает 1000, что хорошо согласуется с её названием.

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

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.

ISBN 978-5-97060-565-3

© Рюмик, С.М., 2017

© Оформление, Издание, ДМК Пресс, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 9 |
| Глава 1. Отладочные платы для МК | |
| 1.1. Опытное знание. | 12 |
| 1.2. Историческая справка | 13 |
| 1.3. Классификация | 16 |
| 1.3.1. Оценочный инструментарий | 16 |
| 1.3.2. Плата или набор? | 18 |
| 1.4. Внутреннее устройство отладочной платы | 20 |
| 1.4.1. Схема подключений | 20 |
| 1.4.2. Структурный уровень | 21 |
| 1.4.3. Подсистема памяти | 21 |
| 1.4.4. Подсистема программирования | 22 |
| 1.4.5. Подсистема ввода/вывода | 23 |
| 1.4.6. Подсистема питания | 23 |
| 1.4.7. Подсистема интерфейсов. | 24 |
| 1.4.8. Подсистема тактирования | 24 |
| 1.4.9. Подсистема сброса | 25 |
| 1.4.10. Особенности элементной базы отладочных плат | 25 |
| 1.4.11. Разгадка надписей на схемах | 26 |
| 1.5. Условные обозначения на схемах с МК | 27 |
| Список использованных источников и литературы к главе 1 | 33 |
| Глава 2. Схемы узлов ввода сигналов | |
| 2.1. Приём аналоговых и цифровых сигналов | 34 |
| 2.1.1. Непосредственная связь | 34 |
| 2.1.2. Подача аналоговых сигналов | 35 |
| 2.1.3. Транзисторные формирователи | 36 |
| 2.1.4. Буферные повторители сигналов на ОУ | 37 |
| 2.1.5. Активные фильтры на ОУ | 38 |
| 2.1.6. Подключение внешних АЦП | 39 |

| | |
|---|-----|
| 2.2. Механические датчики | 40 |
| 2.2.1. Энкодеры | 40 |
| 2.2.2. Пользовательские кнопки | 40 |
| 2.2.3. Многокнопочное управление | 43 |
| 2.2.4. Движковые переключатели | 45 |
| 2.2.5. Механические джойстики | 45 |
| 2.3. Резистивные датчики | 48 |
| 2.4. Акустические датчики. | 49 |
| 2.5. Оптические датчики. | 51 |
| 2.6. Ёмкостные датчики | 54 |
| 2.7. Температурные датчики. | 55 |
| 2.7.1. Терморезисторы | 55 |
| 2.7.2. Интегральные аналоговые термодатчики | 56 |
| 2.7.3. Интегральные цифровые термодатчики | 57 |
| 2.8. Погодные датчики | 58 |
| 2.8.1. Датчики атмосферного давления | 58 |
| 2.8.2. Датчики влажности | 59 |
| 2.9. Датчики пространственной ориентации | 60 |
| 2.10. Прочие схемы узлов ввода | 64 |
| Список использованных источников и литературы к главе 2 | 66 |
| Глава 3. Схемы узлов управления и тактирования | |
| 3.1. Формирователи сигналов начального сброса | 67 |
| 3.1.1. Узлы внешнего сброса МК | 67 |
| 3.1.2. Начальный сброс МК от тактовой кнопки | 69 |
| 3.1.3. Сброс МК от супервизоров | 71 |
| 3.2. Внешние источники опорного напряжения. | 73 |
| 3.3. Тактирование от внешних генераторов. | 77 |
| 3.4. Кварцевая стабилизация тактовой частоты | 79 |
| 3.5. Узлы подсистемы программирования | 82 |
| Список использованных источников и литературы к главе 3 | 85 |
| Глава 4. Схемы подачи питания | |
| 4.1. Стабилизаторы напряжения 1.2 В. | 86 |
| 4.2. Стабилизаторы напряжения 1.8 В. | 87 |
| 4.3. Стабилизаторы напряжения 2.5 В. | 88 |
| 4.4. Стабилизаторы напряжения 3.3 В. | 89 |
| 4.5. Стабилизаторы напряжения 3.6 В. | 93 |
| 4.6. Стабилизаторы напряжения 4.3 В. | 94 |
| 4.7. Стабилизаторы напряжения 5 В. | 94 |
| 4.8. Регулируемое питание | 96 |
| 4.9. Понижающие DC/DC-преобразователи. | 100 |
| 4.10. Инвертирующие DC/DC-преобразователи | 103 |
| 4.11. Повышающие DC/DC-преобразователи | 104 |
| 4.12. Фильтрация аналогового питания | 105 |
| 4.13. Фильтрация цифрового питания. | 108 |

| | |
|---|-----|
| 4.14. Батарейное/аккумуляторное питание | 109 |
| 4.15. Автоматическое переключение питания | 111 |
| 4.16. Зависимая подача питания | 114 |
| 4.17. Электронное включение питания | 115 |
| 4.18. Использование ионисторов | 118 |
| 4.19. Питание внешних устройств | 119 |
| 4.20. Защита от переплюсовки питания | 119 |
| 4.21. Электронные ограничители тока | 121 |
| 4.22. Защита плавкими предохранителями | 122 |
| 4.23. Индикация наличия питания | 124 |
| 4.24. Прочие схемы организации питания | 125 |
| Список использованных источников и литературы к главе 4 | 126 |

Глава 5. Схемы узлов вывода

| | |
|---|-----|
| 5.1. Светодиодные индикаторы | 127 |
| 5.1.1. Одиночные светодиоды | 127 |
| 5.1.2. Одиночные светодиоды с буферными элементами | 129 |
| 5.1.3. Многоцветные светодиоды | 131 |
| 5.1.4. Семисегментные светодиодные индикаторы | 133 |
| 5.2. Жидкокристаллические индикаторы | 135 |
| 5.2.1. Мультиплексированные сегментные ЖКИ | 135 |
| 5.2.2. Алфавитно-цифровые ЖК-модули (АЦЖК) | 136 |
| 5.2.3. Монохромные ЖК-дисплеи | 138 |
| 5.2.4. Цветные TFT-дисплеи | 139 |
| 5.2.5. OLED-дисплеи | 144 |
| 5.3. Звуковая система | 147 |
| 5.3.1. Вывод звука на пьезоизлучатели | 147 |
| 5.3.2. Вывод звука на динамические излучатели | 148 |
| 5.3.3. Транзисторные усилители звука | 149 |
| 5.3.4. Интегральные усилители звука | 149 |
| 5.3.5. Стереоусилители | 151 |
| 5.3.6. Формирование сигналов через внутренний ЦАП МК | 152 |
| 5.3.7. Подключение внешних ЦАП | 154 |
| 5.4. Ключевые узлы | 155 |
| 5.4.1. Преобразователи уровней | 155 |
| 5.4.2. Узлы управления | 156 |
| 5.4.3. Генераторные узлы | 158 |
| 5.5. Силовая электроника | 159 |
| 5.5.1. Механические и электронные реле | 159 |
| 5.6. Прочие схемы узлов вывода | 159 |
| Список использованных источников и литературы к главе 5 | 164 |

Глава 6. Схемы комбинированных узлов ввода/вывода

| | |
|--|-----|
| 6.1. Измерительные узлы | 165 |
| 6.2. Схемы узлов с обратной связью | 166 |
| 6.3. Двухнаправленное прохождение сигналов | 167 |

| | |
|---|-----|
| 6.4. Двухнаправленные конвертеры уровней | 169 |
| 6.5. Опрос тастатуры | 172 |
| 6.6. Прочие схемы узлов ввода/вывода | 173 |
| Список использованных источников и литературы к главе 6 | 175 |
| Глава 7. Схемы интерфейсных узлов | |
| 7.1. СОМ-порт | 176 |
| 7.2. Интерфейс RS-485. | 179 |
| 7.3. Интерфейс RS-422. | 181 |
| 7.4. Интерфейс CAN | 182 |
| 7.5. Интерфейс «1-Wire» | 186 |
| 7.6. Интерфейс I ² C | 187 |
| 7.7. Интерфейс S/PDIF | 188 |
| 7.8. Интерфейс Ethernet | 189 |
| 7.9. Интерфейс JTAG. | 190 |
| 7.10. Интерфейс SWD | 192 |
| 7.11. Интерфейс LIN | 193 |
| 7.12. Часы реального времени RTC | 194 |
| 7.13. Интерфейс IrDA | 196 |
| 7.14. Интерфейс SPI | 198 |
| 7.15. SIM-карты. | 199 |
| 7.16. Схемотехника внешних подключений | 200 |
| 7.17. Прочие интерфейсы | 201 |
| Список использованных источников и литературы к главе 7 | 207 |
| Глава 8. Интерфейс USB | |
| 8.1. Общие замечания | 208 |
| 8.2. Конвертеры USB-UART | 208 |
| 8.3. Информационные цепи D^+ , D^- | 210 |
| 8.4. Силовая цепь V_{Bus} | 210 |
| 8.5. Резисторы выбора режима | 212 |
| 8.6. Защитные элементы USB. | 215 |
| 8.7. Экран USB-разъёма | 218 |
| 8.8. Режимы «Device», «Host», «OTG» | 220 |
| 8.9. Питание в режимах «Host»/«OTG» | 224 |
| Список использованных источников и литературы к главе 8 | 227 |
| Глава 9. Внешняя память | |
| 9.1. Микросхемы EEPROM | 228 |
| 9.2. Микросхемы последовательной Flash-памяти | 229 |
| 9.3. Микросхемы параллельной Flash-памяти | 232 |
| 9.4. Микросхемы последовательно-параллельной Flash-памяти | 235 |
| 9.5. Микросхемы ОЗУ | 237 |
| 9.6. Микросхемы SDRAM. | 239 |
| 9.7. Карты памяти microSD | 242 |
| 9.8. Прочие схемы устройств памяти | 246 |
| Список использованных источников и литературы к главе 9 | 247 |

Глава 10. Измерительные схемы

| | |
|--|-----|
| 10.1. Особенности измерений | 248 |
| 10.2. Измерение напряжения в отладочных платах | 249 |
| 10.3. Измерение тока в отладочных платах | 250 |
| Список использованных источников и литературы к главе 10 | 255 |

Глава 11. Схемы с нюансами

| | |
|--|-----|
| 11.1. Нюансы в тракте питания | 256 |
| 11.2. Нюансы в схемах применения ЭРИ | 258 |
| 11.3. Нюансы в цепях входа и выхода | 260 |
| Список использованных источников и литературы к главе 11 | 262 |

Глава 12. Схемы, которые можно улучшить

| | |
|--|-----|
| 12.1. Неточности в схемах | 263 |
| 12.2. Улучшения в тракте питания | 264 |
| 12.3. Улучшения в канале USB | 265 |
| 12.4. Улучшения в цепях ввода/вывода сигналов | 267 |
| Список использованных источников и литературы к главе 12 | 271 |

Глава 13. Конструктивные особенности

| | |
|---|-----|
| 13.1. Принципы конструирования РЭА | 272 |
| 13.2. «Золотое сечение» | 273 |
| 13.3. Характеристики печатных плат | 274 |
| 13.4. Спецификация элементов | 275 |
| 13.5. Отсутствующие ЭРИ | 278 |
| 13.6. Прямоугольные платы | 279 |
| 13.7. Фигурные платы | 281 |
| 13.8. Крепёжные отверстия | 282 |
| 13.9. Контактные отверстия | 283 |
| 13.10. Физически разделяемые платы | 284 |
| 13.11. Разъёмы на платах | 285 |
| 13.12. Угловое подключение шилдов | 287 |
| 13.13. Макетная область | 288 |
| 13.14. Топология контактных площадок | 289 |
| 13.15. Сенсорные кнопки | 292 |
| 13.16. Сенсорные слайдеры | 293 |
| 13.17. Встроенные дисплеи | 294 |
| 13.18. Элементы индикации | 295 |
| 13.19. Групповое расположение кнопок | 295 |
| 13.20. Универсальная разводка посадочных мест | 296 |
| 13.21. Элементы на краю платы | 297 |
| 13.22. Двухвыводные SMD-элементы | 299 |
| 13.23. Маркировка SMD-диодов | 299 |
| 13.24. Маркировка танталовых SMD-конденсаторов | 300 |
| 13.25. Маркировка столбиковых SMD-конденсаторов | 300 |
| 13.26. Маркировка микросхем в SOIC-корпусе | 301 |
| 13.27. Маркировка микросхем в TQFP-корпусе | 302 |

| | |
|---|------------|
| 13.28. Маркировка штыревых разъёмов. | 303 |
| 13.29. Выносной разъём USB. | 305 |
| 13.30. Топология цепей питания. | 306 |
| 13.31. Джемперные соединители. | 307 |
| 13.32. Кварцевые резонаторы. | 308 |
| 13.33. Графика под элементами. | 309 |
| 13.34. Групповая маркировка ЭРИ. | 310 |
| 13.35. Текстовые пояснения на платах. | 311 |
| 13.36. Графические пояснения на платах. | 314 |
| 13.37. Реперные знаки. | 316 |
| 13.38. Идентификационные знаки. | 317 |
| 13.39. Фирменные знаки. | 318 |
| 13.40. Сертификационные знаки. | 319 |
| 13.41. Конструктивные нюансы. | 320 |
| Список использованных источников и литературы к главе 13. | 323 |
| Послесловие. | 324 |
| Приложения | |
| Приложение 1. Ссылки и адреса в Интернете. | 326 |
| Приложение 2. Список аббревиатур. | 333 |