

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> . . . . .	9
<b>Глава 1. Отладочные платы для МК</b>	
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
<b>Глава 2. Схемы узлов ввода сигналов</b>	
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
<b>Глава 3. Схемы узлов управления и тактирования</b>	
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
<b>Глава 4. Схемы подачи питания</b>	
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
<b>Глава 5. Схемы узлов вывода</b>	
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
<b>Глава 6. Схемы комбинированных узлов ввода/вывода</b>	
6.1. Измерительные узлы . . . . .	165
6.2. Схемы узлов с обратной связью . . . . .	166
6.3. Двухнаправленное прохождение сигналов . . . . .	167

6.4. Двухнаправленные конверторы уровней . . . . .	169
6.5. Опрос тастатуры . . . . .	172
6.6. Прочие схемы узлов ввода/вывода . . . . .	173
Список использованных источников и литературы к главе 6 . . . . .	175
<b>Глава 7. Схемы интерфейсных узлов</b>	
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 <sup>2</sup> 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
<b>Глава 8. Интерфейс USB</b>	
8.1. Общие замечания . . . . .	208
8.2. Конверторы 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
<b>Глава 9. Внешняя память</b>	
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
<b>Послесловие</b> . . . . .	<b>324</b>
<b>Приложения</b>	
Приложение 1. Ссылки и адреса в Интернете . . . . .	326
Приложение 2. Список аббревиатур . . . . .	333

# ВВЕДЕНИЕ

*Время — колесо; рано или поздно всё возвращается к тому, с чего началось.  
(Стивен Кинг)*

«Всё знает и ничего не хочет». Хотелось бы надеяться, что читатель, взявший в руки настоящую книгу, весьма далёк от такого состояния. Практичный человек ещё много чего хочет, а любопытный человек ещё много чего не знает. Как же соединить практичность и любознательность в единое целое?

Каждое утро банк под названием «Время» выдаёт нам кредит на 86 400 с. Ровно через сутки этот счёт обнуляется. Остаток не переходит в будущее, потери не возмещаются. Вчерашний день уже ушёл в историю, а завтрашний день ещё предстоит прожить. Сегодняшний день — вот ценный подарок судьбы, который каждый волен использовать по своему усмотрению.

Чтобы достичь чего-либо, надо точно поставить цель и правильно распределить время. Относится это и к занятиям электроникой, будь то хобби или профессионально. Сложно за одну ночь выучить микроконтроллерную схемотехнику или в совершенстве освоить язык программирования. Требуется время.

Сберечь время помогают книги. Те книги, в которых собраны оригинальные идеи, теоретические подсказки и реальные примеры из практики.

В 2010, 2011 и 2016 годах в издательствах «Додэка-XXI» и «ДМК-Пресс» были выпущены три авторские книги под общим заголовком «1000 и одна микроконтроллерная схема» (далее — «Выпуск 1», «Выпуск 2», «Выпуск 3»). В них представлены сведения об архитектуре микроконтроллеров (МК), дана классификация семейств, сделан подробный анализ так называемого «идеализированного» МК на структурном, функциональном и логическом уровнях. Проанализированы электрические схемы типовых узлов ввода/вывода, питания, начального сброса, тактирования, интерфейсов, программирования.

Настоящая книга является правопреемницей первых трёх выпусков. С её появлением трёхтомник превращается в четырёхтомник. Главная особенность предлагаемого материала заключается в профессиональной направленности. Если базой прежних выпусков были в основном любительские конструкции из журналов и Интернета, то сейчас упор сделан на разработки, которые применяют на практике «профи». Здесь есть чему поучиться и что позаимствовать.

В книге рассматриваются изделия фирм-изготовителей из разных стран и континентов, следовательно, на выходе получается большой интернациональный сборник схем и конструкций. Во главу угла поставлено сравнение технических решений между собой, а также анализ методов, технологий и подходов, которые встречаются у разных разработчиков. Свой отпечаток накладывают фирменные ограничения, правила, стандарты и даже национальный колорит.

Откуда разработчики черпают схемные идеи? Во-первых, из технологических макетов предшественников, во-вторых, из своих проектов, реализованных ранее, в-третьих, из книг, журналов, Интернета.

Есть ещё один путь — проанализировать электрические схемы промышленных конструкций и образцов. Речь не идёт о хакерском взломе, шпионских штучках или рисовании схем по проводникам печатной платы. Имеются в виду официальные фирменные даташиты, находящиеся в свободном доступе.

Понять альтруизм изготовителей, открывающих схемную информацию широкой публике, достаточно просто. Это не массовое рассекречивание важных сведений, а элемент рекламы и маркетинговой политики в отдельно взятом товарном сегменте. На всеобщее обозрение выставляются единичные и относительно несложные ознакомительные изделия, предназначенные для быстрого старта и оценки возможностей производимой продукции, например МК. На таких схемах гриф «Секретно», «Для служебного пользования» или «Confidential» не ставится.

Ознакомительные изделия в электронике обычно включают в себя так называемые отладочные платы. Они могут поставляться отдельно, а могут входить в состав стартового комплекта разработчика.

В классическом понимании это печатная плата с тестируемым МК и аппаратной обвязкой, достаточной для того, чтобы осуществить пробный запуск изделия. В идеальном варианте пользователь получает плату, свободную от ошибок монтажа, в которой ЭРИ используются в рекомендованных даташитами режимах. Рациональная разводка проводников исключает паразитную генерацию и сводит к минимуму взаимовлияние между элементами. Если схема рабочая, то основное внимание можно и нужно уделить программированию МК.

В продаже фирменные отладочные платы реализуются, как правило, по минимальной цене с низким уровнем рентабельности или даже себе в убыток. На многих выставках такие платы можно получить в подарок, а иногда и бесплатно заказать через Интернет по акции.

Электрические схемы отладочных плат содержат узлы всех подсистем МК. Следовательно, они идеально вписываются в концепцию книг «1000 и одна микроконтроллерная схема». Читатель в первых трёх выпусках получает универсальную базу знаний и любительские примеры, а в конце подкрепляет их изучением профессиональных схем, прошедших обкатку «огнём, водой и медными трубами».

Отличительной особенностью графики в настоящей книге будет указание (по возможности) точных названий ЭРИ на схемах. Если это транзистор или диод, то какого именно типа, если дроссель, то с указанием силы тока, если нестандартный модуль, то с полным каталожным наименованием.

Некоторые схемы будут похожи на рассмотренные ранее в «Выпусках 1...3». Это естественно, поскольку базовых законов радиоэлектроники никто не отменял. К слову сказать, многие схемы публикуются впервые, а те, которые в чём-то повторяются, содержат объяснение важных практических нюансов.

Стиль рисования электрических схем, подача материала и оформление первоисточников остаются прежними. К каждой схеме даются краткие текстовые пояснения. Иногда их больше, иногда их меньше, что зависит от объёма графики на странице. Главное, чтобы схемы и пояснения к ним физически находились в одном месте и не требовали перелистывания страниц.

Все представленные в книге рисунки рассортированы по подразделам. Среди них появились новые, посвящённые современным ЭРИ. С другой стороны, в книгу не вошли темы, малоактуальные для отладочных плат.

При написании книги не ставилась задача добиться абсолютно точного соответствия с оригиналами схем. Изменения имеются, но они не существенные и не влияют на общую функциональность.

В теоретической части книги (глава 1) дана классификация ознакомительных изделий и отладочных плат, рассмотрено их внутреннее устройство. Отдельным информационным блоком выделены условные обозначения МК на схемах.

В практической части книги (главы 2...12) представлен сборник схемных решений по подключению к МК различных узлов: входных, выходных, комбинированных, интерфейсных, измерительных, тактовых, программирующих, синхронизирующих, питающих.

В конструкторской части книги (глава 13) содержится обзор конструктивных приёмов, применяемых профессионалами при разработке отладочных плат. Материал систематизируется впервые, новичкам здесь есть на что поглядеть, а более опытным есть что позаимствовать для своих конструкций.

В справочной части книги (приложения 1, 2) приводится вспомогательная информация о фирмах и производимых ими отладочных платах и стартовых наборах. В табличной форме даны расшифровки нестандартных наименований зарубежных ЭРИ.

Ссылки на литературу и интернет-источники даются отдельно в конце каждой главы. В отличие от предыдущих сборников, ссылки не привязываются к конкретным схемам. Они вынесены в «Приложение 1», ввиду того что многие технические решения повторяются в однотипной продукции разных фирм.

Выяснить, кто из разработчиков был первопроходцем той или иной схемы, не представляется возможным. Отладочные платы делались и делаются в расчёте на открытый доступ, поэтому секретных приёмов здесь не увидишь. С другой стороны, конкурентоспособность современных изделий с МК обеспечивается в первую очередь фирменным (закрытым) ПО, а также разнообразием отладочных средств. Вот здесь и проходит «поле сражения» за умы (читай, кошельки) рядовых пользователей.

Порядок изучения материала в книге произвольный. Информация носит справочно-познавательный характер.

В настоящем издании использованы идеи, принципы и концепции, опубликованные в открытой литературе, печатных журналах, в Интернете. Это не противоречит части 4 статьи 6 Закона Российской Федерации «Об авторском праве и смежных правах»: «Авторское право не распространяется на идеи, методы, процессы, системы, способы, концепции, принципы, открытия, факты».

Автор книги и издательство предоставляют материалы, программы и схемы на условиях «как есть» («as is»), без каких-либо гарантий отсутствия ошибок и соответствия требованиям промышленных и государственных стандартов. Автор книги и издательство не несут юридической ответственности за прямые или косвенные, преднамеренные или случайные повреждения, возникшие в результате использования схем и прочей информации из данной книги.

## ОТЛАДОЧНЫЕ ПЛАТЫ ДЛЯ МК

*Теория и практика иногда сталкиваются.  
Когда это случается, теория проигрывает. Всегда.  
(Линус Торвальдс)*

### 1.1. Опытное знание

Опыт — это единство знания, умения и навыка. Процесс передачи опыта сопровождает человека всю жизнь. Ребёнок пробует пальцем, горячо или холодно. Подросток на личном опыте познаёт, что такое хорошо, а что такое плохо. Взрослые всю жизнь методом проб и ошибок ищут своё место в обществе, периодически констатируя факт, что с каждым днём всё меньше и меньше становится того, что делается ими в первый раз...

Слова «попробовать», «оценить», «ознакомиться» относятся к сфере житейского опыта. В электронике для первого знакомства с новым техническим направлением используют простой, но эффективный приём. Пользователю предлагается оценить все достоинства нового изделия (МК, ПЛИС, электронного модуля), опробовав в работе его функционально законченный прототип.

На прототипе можно потренироваться изменять режимы настройки, подключать разные датчики и нагрузки, изменять напряжение питания, макетировать, прошивать память, отлаживать программы. Если функционирование прототипа устраивает разработчика, то с большой долей вероятности он начнёт применять новое ЭРИ в своих конструкциях. А раз так, то и фирма-изготовитель ознакомительного прототипа в накладе не останется.

Микроконтроллерная техника имеет свои особенности. В частности, для каждого нового семейства МК требуется обеспечить определённую (подчас уникальную) обвязку из вспомогательных элементов. Надо организовать бесперебойное питание, предусмотреть сопряжение с компьютером, рассчитать амплитуду сигналов по входам и допустимые нагрузки по выходам, определиться с системой индикации и хранения результатов, а также с порядком установки режимов.

Как следствие практически каждый новый тип МК имеет свою отладочную плату, не повторяющуюся в номенклатуре поставок у других фирм. Такие изделия становятся мощным элементом рекламы и продвижения продукции на рынке.

Насколько востребованы отладочные платы для МК? На все 100 процентов. Любой уважающий себя разработчик не поленится приобрести (достать, обменяться, одолжить) плату с исследуемым контроллером и провести на ней эксперименты. Лишь «пощупав» со всех сторон процессорный чип, можно вынести правильное решение о перспективности его дальнейшего применения.

## 1.2. Историческая справка

Как известно, предшественниками МК были микропроцессоры. Первый из них появился в далёком 1971 году и сразу же был наделён отладочной платой. Речь идёт о чипе Intel i4004 и плате «SIM4-01 Prototyping Board», производство которой тоже датируется 1971 годом [1-1].

Первыми твёрдотельными процессорами, имеющими основные черты МК, принято считать микросхемы TMS1000 фирмы Texas Instruments, появившиеся в продаже в 1974 году. Для облегчения жизни разработчикам в 1976 году был выпущен набор «Microcomputer Trainer» [1-2]. Это один из первых известных тренировочных комплектов для МК.

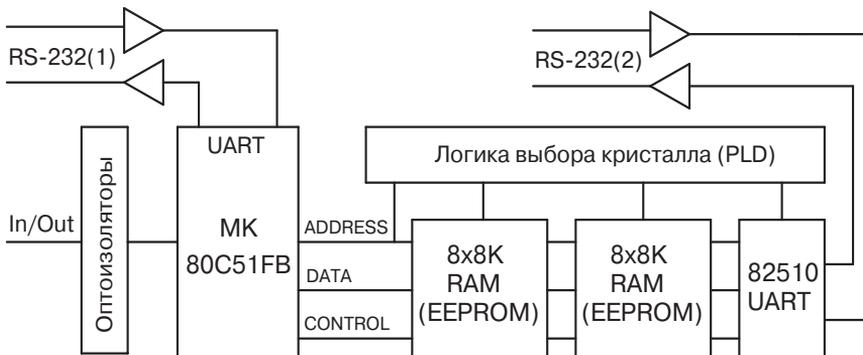
С появлением линейки коммерчески значимых контроллеров фирмы Intel MCS-48, MCS-51 стали выпускаться оценочные наборы для них, в частности это «IMSAI Control Computer» для i8048 (1977 год [1-3]); «PT-501» для i8049 (1979 год [1-4]); SDK-51 для i8051 (1982 год [1-5]).

*Интересный нюанс.* Аббревиатура SDK на фирме Intel расшифровывается как «System Development Kit». За короткое время было выпущено несколько похожих комплектов для разных микропроцессоров и МК: SDK-51, SDK-80, SDK-96. Но в настоящее время этот термин «перелицевался» и из аппаратного стал сугубо программным. Имеется в виду, что у программистов в ходу тоже есть аббревиатура SDK, но обозначает она «Software Development Kit», т. е. программный комплект развития для разработчиков приложений. Не путать!

Разделение на отладочные платы Board и стартовые наборы Kit произошло ещё в самом начале становления микропроцессорной техники. Отладочных плат по номенклатуре было меньше, а разновидностей стартовых наборов было больше, причём стоили они дороже.

Главное отличие между Board и Kit в то время заключалось в отсутствии или наличии встроенных органов управления, а именно клавиатуры (тастатуры) и индикаторов (дисплея).

На **Рис. 1.1** в качестве примера показана структурная схема отладочной платы «Evaluation Board EV80C51FB» (1988 год) для МК из семейства MCS-51 [1-6].

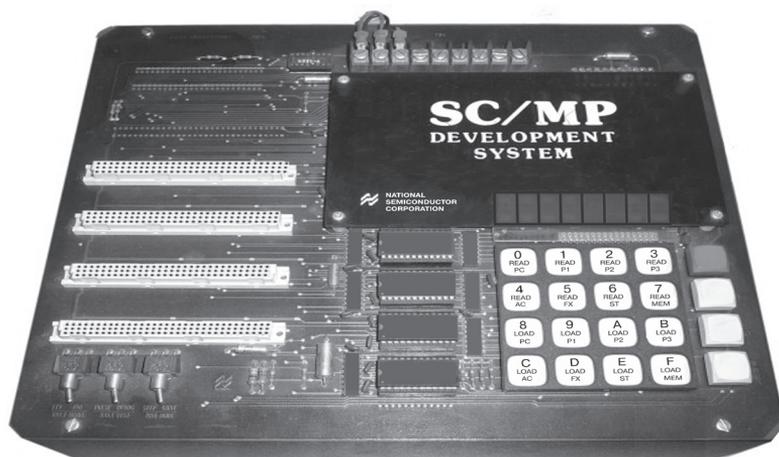


**Рис. 1.1.** Структурная схема отладочной платы «Evaluation Board EV80C51FB»

Для полноценной работы платы требуется подключение к компьютеру через COM-порт RS-232(2). Порт RS-232(1) и гальванически развязанные цифровые входы/выходы доступны для управления пользователю.

Микросхемы памяти RAM и EEPROM нужны, чтобы обслуживать монитор-отладчик, который позволяет устанавливать до 16 точек прерывания в разрабатываемой программе. Адресное пространство конфигурируется матрицей PLD.

На **Рис. 1.2** изображён внешний вид стартового набора «SC/MP ISP-8P/301N» фирмы National Semiconductor образца 1975 года [1-7]. Комплект содержит плату, на которой располагаются: кнопки управления, слоты для установки шилдов, многоцветный семисегментный индикатор, а также плёночная клавиатура, состоящая из 16 клавиш. С их помощью устройство может функционировать в автономном режиме.



**Рис. 1.2.** Внешний вид стартового набора «SC/MP ISP-8P/301N»

Желание встроить в оценочные изделия собственные органы управления и индикации было вызвано, очевидно, нехваткой (и дороговизной) персональных компьютеров того времени. Косвенное подтверждение тому — схожесть схемотехники первых стартовых наборов и первых домашних компьютеров.

Возвращаясь из былинного прошлого к роботизированному настоящему, можно констатировать факт, что современные «киты» (Kit) и отладочные «борды» (Board) в техническом плане далеко шагнули вперёд. Появились новые интерфейсы и сервисные функции, увеличилась плотность монтажа, уменьшились размеры радиоэлементов, повысилось быстродействие.

Водораздел между отладочными платами и стартовыми наборами тоже претерпел изменения. В частности, классификационные различия теперь заключаются не в автономности управления, а в спецификации комплекта поставки и функциональных возможностях. Типовая отладочная плата содержит минимальный набор компонентов и имеет небольшие габариты. Типовой стартовый набор включает в себя головную плату средних или больших размеров, а также дополнительные модули, кабели, блок питания, ЭРИ.

Наличие индикаторов и клавиатуры сейчас уже не означает принадлежности к «киту». Например, отладочная плата «STM32F469I-DISCO» фирмы STMicroelectronics имеет на борту сенсорный TFT-дисплей, который одновременно является и индикатором, и клавиатурой «в одном флаконе» (Рис. 1.3). Однако к стартовым наборам она не относится и называется «Board».

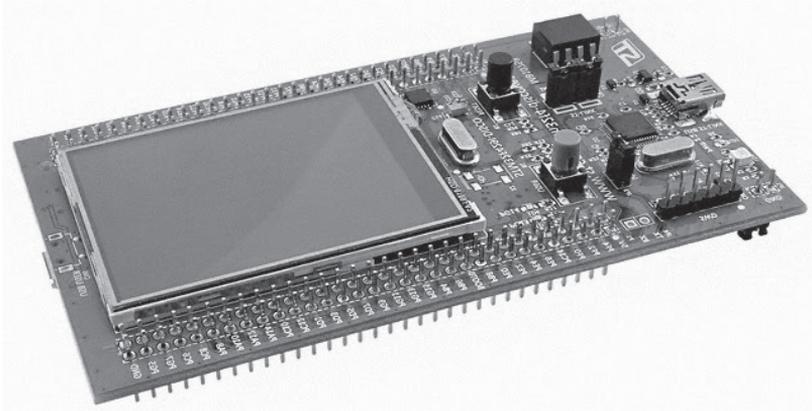


Рис. 1.3. Внешний вид отладочной платы «STM32F469I-DISCO» [1-8]

С другой стороны, существует комплект разработчика «STM3240G-JAVA» той же фирмы STMicroelectronics. В него входит плата с аналогичным сенсорным TFT-дисплеем (Рис. 1.4). Но называется этот набор «Java Evaluation Kit».



Рис. 1.4. Внешний вид стартового набора «STM3240G-JAVA» [1-9]

## 1.3. Классификация

### 1.3.1. Оценочный инструментарий

Существуют программные и аппаратные средства разработки и отладки.

К программным средствам относятся: компиляторы языков высокого уровня, среда разработки IDE, программные симуляторы.

К аппаратным средствам относятся: внутрисхемные эмуляторы, адаптеры для отладки программ, оценочные изделия.

Из всего перечня средств разработки и отладки рассматриваться будут оценочные изделия. Можно предложить их следующую классификацию:

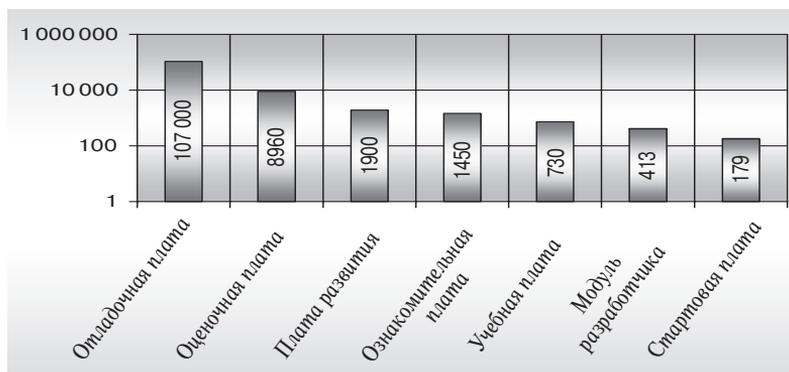
- оценочные изделия для МК;
- оценочные изделия для прикладных процессоров;
- оценочные изделия для ПЛИС, АЦП/ЦАП;
- оценочные изделия для систем беспроводной передачи данных;
- оценочные изделия для устройств питания, освещения, индикации;
- оценочные изделия для интеллектуальных датчиков.

Как видно, изделия, ориентированные на МК, являются лишь частью большого общего списка. Устройства, предназначенные для быстрой оценки возможностей чего-либо, встречаются в совершенно разных сферах электроники.

Оценочные изделия для МК и прикладных процессоров схожи между собой, но в последних упор делается на сложные одноплатные компьютеры с собственной операционной системой. На практике более массовыми и доступными являются МК общего применения, поэтому о них и пойдёт речь дальше.

Важно отметить, что классификация оценочных изделий для МК пока ещё не устоялась, терминология находится в развитии. Если провести в Google анализ частоты употребления слов по образцу: «Оценочная плата» микроконтроллер», «Комплект разработчика» микроконтроллер», то первенство получают:

- отладочная плата («Board», **Рис. 1.5**);
- стартовый набор («Kit», **Рис. 1.6**).



**Рис. 1.5.** Частота употребления русскоязычных названий для «Board» в Интернете

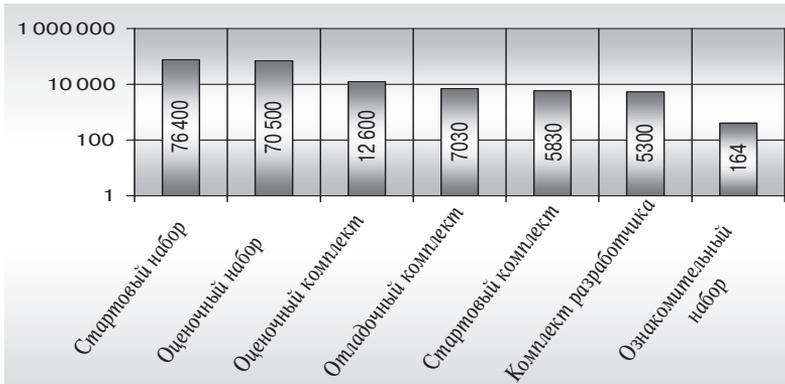


Рис. 1.6. Частота употребления русскоязычных названий для «Kit» в Интернете

*Отладочная плата* (стартовая плата, оценочная плата, учебная плата, ознакомительная плата, модуль разработчика, плата развития [1-10]) предназначена для изучения возможностей конкретного типа МК. С помощью отладочной платы осуществляется тестирование программы, отрабатывается алгоритм действий, проверяется правильность схемных решений. В некоторых случаях отладочную плату используют как заготовку для производства новой продукции, что иногда бывает дешевле, чем разработка устройства с нуля.

*Стартовый набор* (отладочный набор, оценочный комплект, ознакомительный набор, комплект разработчика, контроллер-конструктор [1-11]) состоит из отладочной платы, которая дополняется вспомогательными элементами: диском с лицензионным ПО, эмулятором (программатором), шилдами, блоком питания, макетной платой, набором ЭРИ, соединительными кабелями.

Единого правила при составлении стартовых наборов не существует, поэтому в разной комплектации что-то может отсутствовать, а что-то может дополняться. Главное, чтобы получилась функционально законченная система, максимально полезная для разработчика-эмбеддера.

В Табл. 1.1 представлены распространённые англоязычные названия, применяемые в оценочных изделиях разных фирм-изготовителей.

Таблица 1.1. Фирменные названия оценочных изделий

Название	Тип	Распространённые англоязычные термины
Отладочная плата	Board	Application Board, Development Board, Demonstration Board (Demo Board), Evaluation Board (Eval Board), Learning Board, Probing Board, Project Board, QuickStart Board, Reference Design Board, Starter Board, Teacher Board
	Module	Application Module, Development Module, Evaluation Module
Стартовый набор	Kit	Application Kit, Demonstration Kit, Design Kit, Educational Component Kit, Evaluation Kit, Expansion Kit, Experimenter Kit, Promotional Kit, Reference Design Kit, Starter Kit, Student Learning Kit, System Development Kit
	Platform	Development Platform, System Demonstration Platform
	System	Development System, Support System

Судя по большому количеству разношёрстных названий, единый подход к систематизации на уровне фирм отсутствует. Однако общий тренд прослеживается чётко, особенно если воспользоваться англо-русским переводчиком. Суть заключается в том, что ознакомительные изделия служат для оценки потенциальных возможностей МК, для стартового обучения, для рекламы, для демонстрации принципов работы, для проектирования новых изделий, для углублённого развития навыков программирования и конструирования.

В некоторых случаях одними и теми же словами называют совершенно разные вещи. Например, «NXP Starter Kit» — это комплект, состоящий из одной отладочной платы и компьютерного ПО, «Grove Starter Kit» — это набор из нескольких отдельных модульных плат, собираемых вместе.

Интересно отметить, что не только в электронике существует название «Starter Kit». К примеру, в парфюмерии оно обозначает оценочный набор, состоящий из нескольких пробных духов или кремов.

### 1.3.2. Плата или набор?

Любой стартовый набор содержит отладочную плату. На ней физически размещаются МК и элементы обвязки. Изучение схемотехники отладочных плат представляет большой интерес для человека, серьёзно занимающегося тематикой МК. Анализ узлов электрических схем сродни обмену опытом, тем более что рассматриваться будут изделия солидных фирм-разработчиков.

Отладочная плата и стартовый набор различаются по внешнему виду. Например, если плата из семейства Arduino продаётся отдельно — это одно (Рис. 1.7), а если продаётся вместе с кабелем, текстовым руководством, макетной платой и почти сотней ЭРИ для макетирования — это другое (Рис. 1.8).

Стартовые наборы можно условно разделить на три группы в зависимости от сложности и целей решаемых задач. Логично, что и входящие в них отладочные платы тоже будут иметь подобную классификацию:

- платы начального уровня (Low-Cost);
- учебные платы (Educated);
- профессиональные платы (High-End).

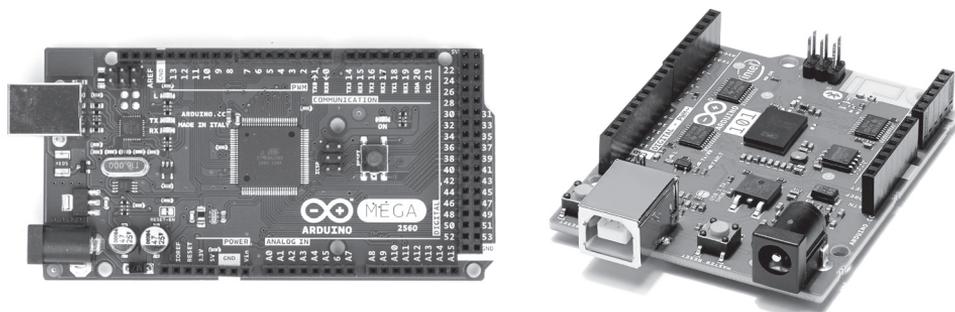


Рис. 1.7. Внешний вид отладочных плат семейства Arduino [1-12]



## 1.4. Внутреннее устройство отладочной платы

### 1.4.1. Схема подключений

Основой отладочной платы является МК. Именно от его технических характеристик зависит число доступных для работы линий портов, по-другому, пинов. Логично, что чем больше выводов имеет МК, тем большее количество внешних контактов будет разведено на отладочной плате. Всё делается для блага эмбеддера, ведь он должен иметь программный и аппаратный доступ ко всем портам, иначе теряется смысл в оценке возможностей контроллера.

Перечень сигналов, выводимых на внешнюю гребёнку контактов, не стандартизован. Часто в их наименованиях употребляются фирменные названия сигналов, портов МК, а также аббревиатуры используемых интерфейсов (Рис. 1.9).

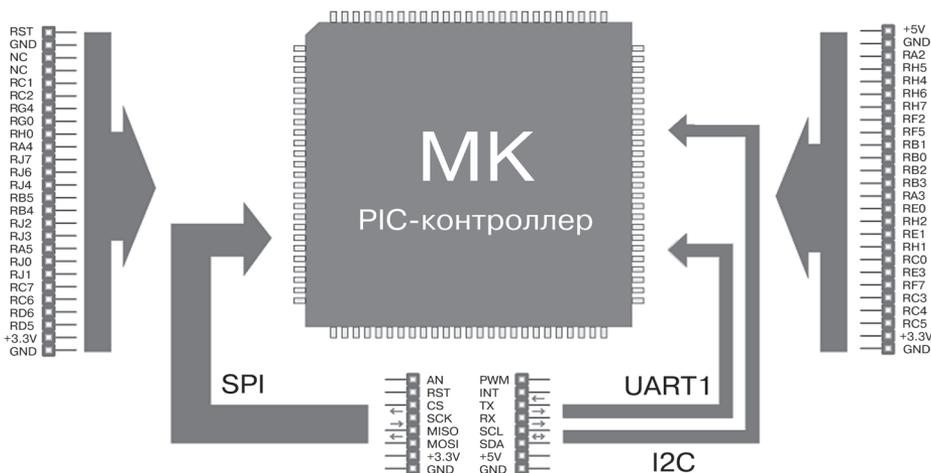


Рис. 1.9. Система внешних подключений к отладочной плате с PIC-контроллером

В технических описаниях на отладочные платы приводятся их основные характеристики и параметры. Кроме того, перечисляются сигналы внешних подключений с привязкой к режимам работы. Дело в том, что на одни и те же внешние контакты могут выводиться разные сигналы. Например, в одном режиме это цифровой вход/выход, в другом — вход АЦП, в третьем — выход сигнала тактирования интерфейса I<sup>2</sup>C.

Режимы работы переключаются внутренними регистрами МК. Дополнительно к ним могут задействоваться джамперные перемычки на плате, которые физически коммутируют системные сигналы или подключают/отключают буферные микросхемы.

Отразить многовариантность режимов на схеме подключений отладочной платы не так-то и просто, поэтому, как вариант, используют наглядные цветные картинки, где в графическом виде рисуется распиновка линий портов в зависимости от режимов работы МК (Рис. 1.10).

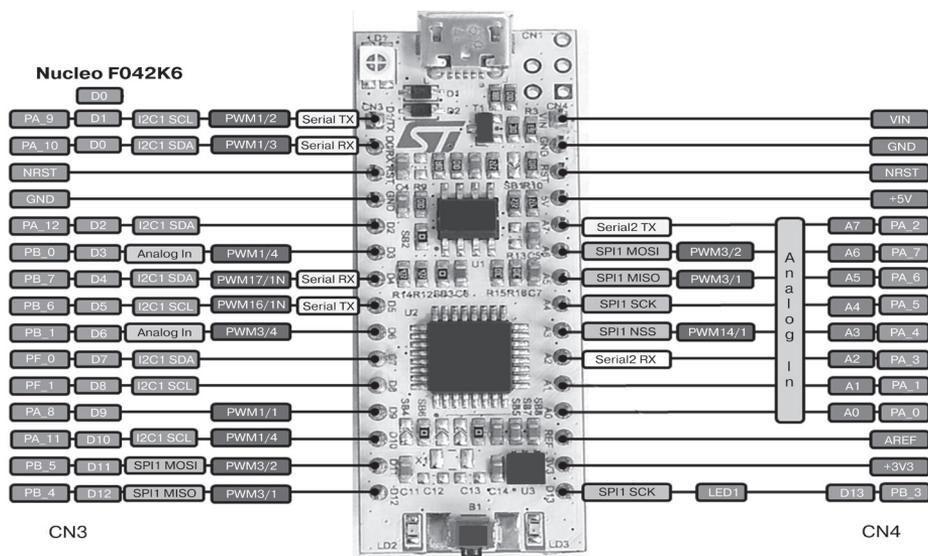


Рис. 1.10. Система внешних подключений платы STM Nucleo F042K6

### 1.4.2. Структурный уровень

Отладочных плат выпускается столько много, что вместо обобщённой структурной схемы, которая не сможет учесть всех существующих вариантов, лучше ограничиться описанием внутренней архитектуры на системном уровне. Образцом для подражания будет идеализированный МК, устройство которого подробно рассмотрено ранее в «Выпусках 1...3».

В составе отладочной платы можно выделить:

- подсистему памяти;
- подсистему программирования;
- подсистему портов ввода/вывода;
- подсистему питания;
- подсистему сброса;
- подсистему интерфейсов;
- подсистему тактирования.

Все подсистемы отладочной платы тесно связаны с МК. Более того, во многих случаях главные элементы подсистем находятся прямо в микросхеме, что значительно упрощает схемотехнику внешних соединений.

### 1.4.3. Подсистема памяти

В платах начального уровня вычислительных ресурсов МК и объёма его памяти вполне достаточно для решения широкого круга задач. В учебных и профессиональных платах часто ставят дополнительную память (Рис. 1.11, а...в).

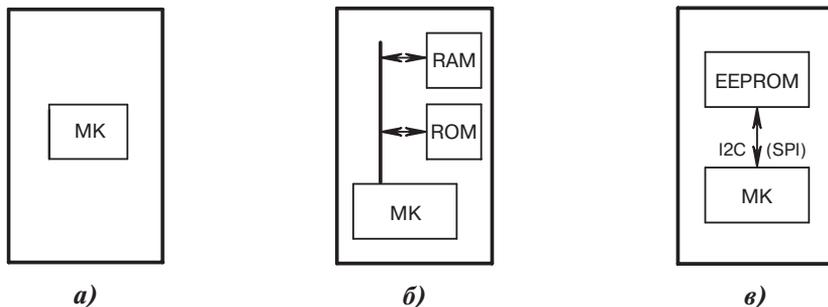


Рис. 1.11. Структурные схемы подсистемы памяти:

- а) МК использует свою внутреннюю память ОЗУ (RAM) и ПЗУ (Flash, EEPROM);  
 б) во внешней микросхеме ОЗУ (RAM) могут храниться буферные данные для потокового видео или массив информации, накопленный за длительное время, например от большого числа датчиков. В микросхеме ПЗУ (ROM) в профессиональных отладочных платах размещается усе-  
 чённый вариант операционной системы, а в менее мощных — начальный загрузчик программ;  
 в) если МК не имеет встроенных ячеек EEPROM, то при необходимости их можно заменить внешней микросхемой энергонезависимой памяти. Подключается она к МК через интерфейсы SPI или I<sup>2</sup>C. Внешняя EEPROM необходима для хранения редко изменяемых параметров, кон-  
 стант, паролей, а также начальных настроек, которые не теряются при выключении питания

#### 1.4.4. Подсистема программирования

Подсистема программирования в современных МК опирается главным обра-  
 зом на канал USB компьютера. В идеальном варианте программирование и пере-  
 дача данных должны осуществляться через один и тот же разъём (Рис. 1.12, а...в).

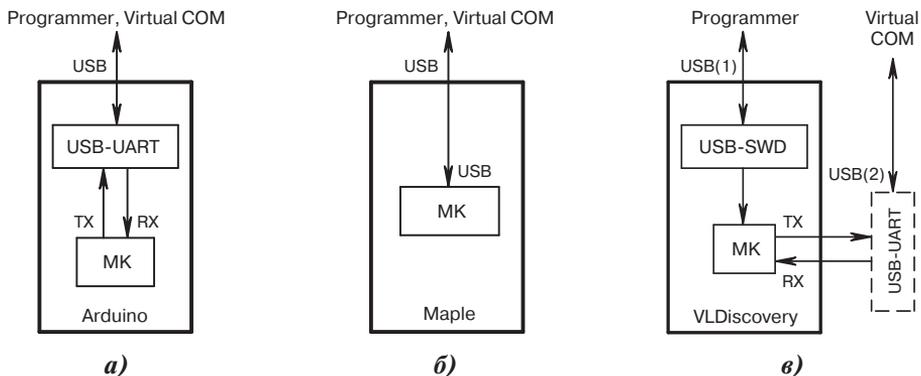


Рис. 1.12. Структурные схемы подсистемы программирования:

- а) в МК зашит начальный загрузчик бутлоудер, поэтому программирование (Programmer) и работа (Virtual COM) производится через один общий канал и один конвертор USB-UART;  
 б) аналогично Рис. 1.12, а, но для МК, который имеет встроенный канал USB;  
 в) МК программируется через интерфейс SWD, поэтому используются разные USB-каналы

### 1.4.5. Подсистема ввода/вывода

Узлы ввода/вывода сигналов являются обязательными в любой отладочной плате. Связь с линиями МК бывает непосредственной или через буферные элементы (Рис. 1.13, а...в). В последнем случае повышается «живучесть» микросхемы при случайном КЗ на выходе или при высоком напряжении на входе.

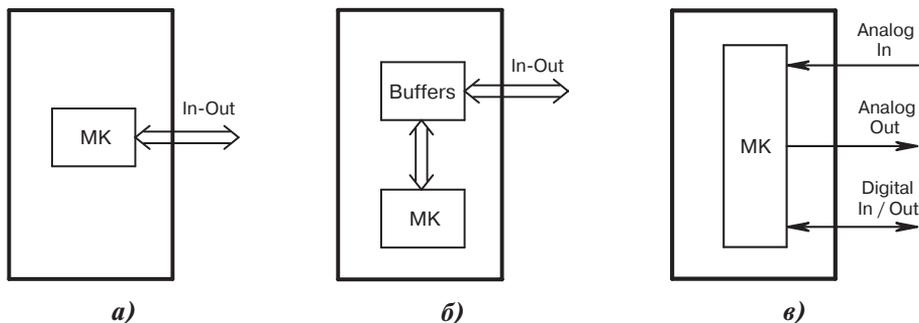


Рис. 1.13. Структурные схемы подсистемы ввода/вывода:

- а) непосредственная связь внешних контактов с выводами МК;
- б) двусторонняя связь осуществляется через логические микросхемы Buffers;
- в) базовый перечень сигналов ввода/вывода, стандартизованный под сопряжение с Arduino

### 1.4.6. Подсистема питания

Анализируются будут схемы отладочных плат с современными МК, рассчитанными на напряжение питания в диапазоне 2.7...3.6 В (Рис. 1.14, а...в).

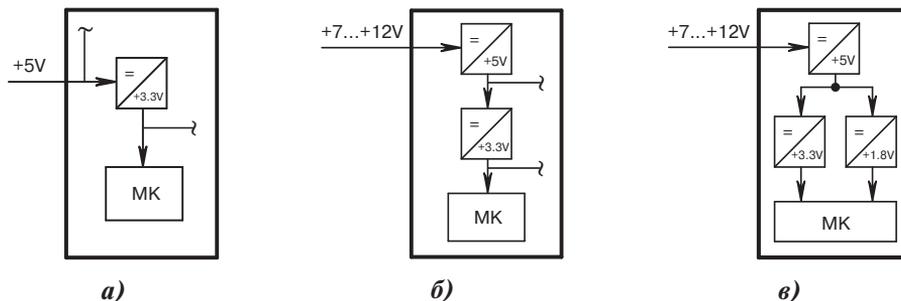
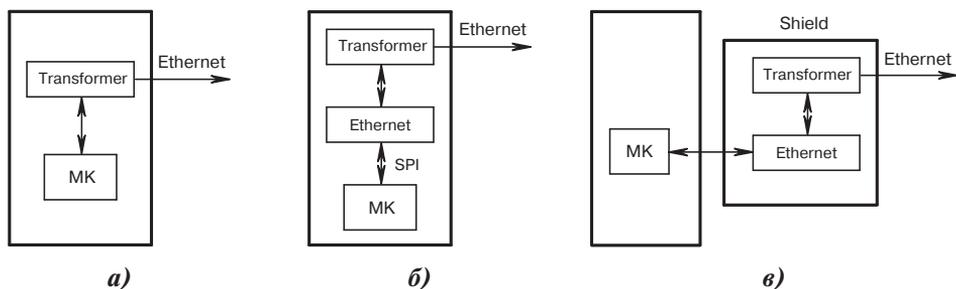


Рис. 1.14. Структурные схемы подсистемы питания:

- а) питание подаётся от «сетевой вилки» +5 В, ток 0.5...2 А. Понижающий стабилизатор напряжения должен иметь мощность, достаточную для питания МК и всех других нагрузок;
- б) двухступенчатая стабилизация применяется там, где для внутренних микросхем, модулей, реле, а также для питания внешних цепей требуется напряжение +5 В;
- в) некоторым МК нужны два напряжения питания: для ядра +1.2...+1.8 В и для периферии +3.3 В. Двойное питание МК — это не предел. Бывает, что требуются три и более источника, при этом на каждый из них должен ставиться свой стабилизатор напряжения

### 1.4.7. Подсистема интерфейсов

В отладочной плате целесообразно использовать те интерфейсы, которые поддерживает применяемый тип МК на аппаратном уровне. Рассмотреть структуру всех используемых интерфейсов нереально. Чтобы уловить направление, достаточно ограничиться одним из них, а именно Ethernet (**Рис. 1.15, а...в**).

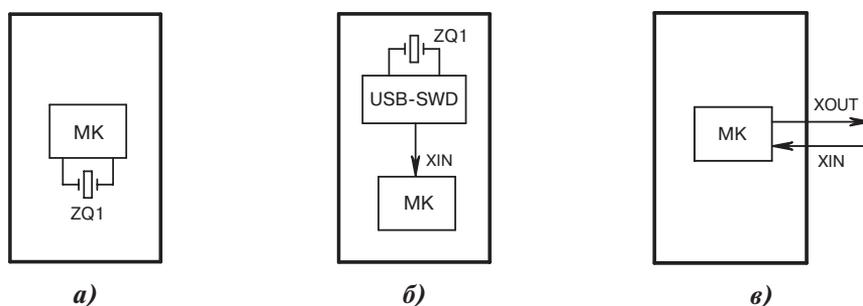


**Рис. 1.15.** Структурные схемы подсистемы интерфейсов на примере Ethernet:

- а) МК содержит встроенный контроллер интерфейса Ethernet, поэтому его выводы напрямую подключаются к унифицированному блоку трансформаторов Transformer;
- б) аналогично **Рис. 1.15, а**, но для МК, в котором отсутствует свой контроллер Ethernet;
- в) аналогично **Рис. 1.15, б**, но контроллер Ethernet находится в плате шилда Shield

### 1.4.8. Подсистема тактирования

Любой МК должен тактироваться. Это непреложная аксиома. Тактирование может быть внешним или внутренним (**Рис. 1.16, а...в**), хотя многие МК поддерживают оба режима с переключением «на лету» или через фьюзы.



**Рис. 1.16.** Структурные схемы подсистемы тактирования:

- а) кварцевый резонатор *ZQ1* обеспечивает стабильную работу МК при изменении в широких пределах питающего напряжения и температуры окружающей среды;
- б) если на плате размещаются два МК или МК и конвертор, то один из них может тактироваться от другого, используя специальный выход тактовой частоты КМОП-уровня;
- в) почти все МК имеют внутренний *RC*-генератор, который запускается в работу без кварцевого резонатора. Сигналы тактирования *XIN*, *XOUT* могут выводиться на внешние контакты

### 1.4.9. Подсистема сброса

Сигнал сброса  $\overline{RES}$  в МК имеет, как правило, НИЗКИЙ активный уровень. «Фишкой» последних лет является использование контакта сброса как на ввод, так и на вывод сигналов (Рис. 1.17, а...в).

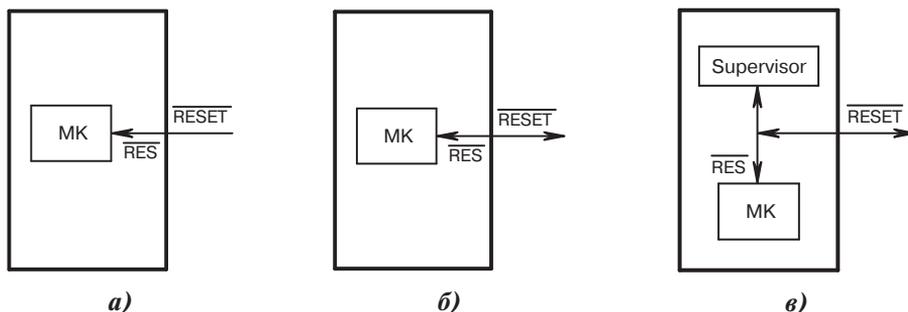


Рис. 1.17. Структурные схемы подсистемы сброса:

а) хотя МК содержит внутренний узел сброса, но сигнал  $\overline{RES}$  выводится на внешний контакт, что позволяет принудительно сбрасывать МК, например при программировании;

б) двухнаправленная цепь сброса. Сигнал  $\overline{RES}$  принимается извне, но он же может генерироваться наружу через тот же внешний контакт. По сигналу сброса происходит синхронизация внешних устройств. Инициатором сброса служит МК, который через регистр осуществляет замыкание внутреннего транзисторного ключа, обеспечивая «тёплый» старт программы;

в) аналогично Рис. 1.17, б, но с дополнительным супервизором питания Supervisor, который самостоятельно может генерировать сигнал сброса в экстренных случаях

### 1.4.10. Особенности элементной базы отладочных плат

подавляющее большинство применяемых в отладочных платах ЭРИ рассчитано на поверхностный монтаж (SMD). Данная технология экономит место на плате и позволяет автоматизировать процесс производства.

Идентификация поверхностно монтируемых ЭРИ по внешнему виду — это целая наука. Маркировка чип-резисторов, чип-конденсаторов, SMD-диодов, транзисторов, микросхем приводится в литературе [1-14], [1-15], а также в Интернете в онлайн-справочниках [1-16], [1-17].

В случае с коммутационными изделиями, разъёмами, кварцевыми резонаторами и другой обвязкой МК ситуация сложнее. По отрывочным надписям на их корпусах не всегда удаётся расшифровать название и определить изготовителя.

Понятно, что абсолютно точными данными об ЭРИ, которые установлены на отладочной плате, обладает только разработчик, поэтому все вопросы к нему.

В идеальном варианте список деталей должен присутствовать в даташите на отладочную плату. Действительно, в некоторых (хотя далеко не во всех) фирменных документах имеется раздел, аналогичный перечням элементов ПЭЗ ЕСКД.

Надо правильно понимать, что зарубежная КД в корне отличается от межгосударственных стандартов стран СНГ. Перечни элементов (спецификации деталей) составляются по тем правилам, которые приняты внутри конкретной фирмы.

Тем интереснее задача — проанализировать информацию по наиболее употребительным типам «нестандартных» ЭРИ. Полученные сведения в дальнейшем можно использовать и в своих собственных разработках (Табл. 1.2).

**Таблица 1.2. Названия типовых ЭРИ, которые входят в обвязку МК**

ЭРИ	Название	Фирма
Кварцевый резонатор на частоту 8 МГц	SSL8000012AFDHF0-SJ28	Hong Kong Crystal
	NX3225GD-8.000M	Nihon Dempa Kogyo
	ESA8.00000F20D25F	Hosonic Electronic
Кварцевый резонатор на частоту 12 МГц	ABM3B-12.000MHZ-B2-T	Abracon
	ABLS-12.000MHZ-B2-T	Abracon
	CX3225SB12000D0PESZZ	Kyocera
Кварцевый резонатор на частоту 32 кГц	ABS25-32.768KHZ-6-T	Abracon
	NX3215SA-32.768K	Nihon Dempa Kogyo
	MC306-G-06Q-32.768	JFVNY
	CM200C32.768KDZF	Citizen Crystals
Кнопка тактовая (кнопка управления или сброса)	TD-0341	DSL
	TMPS2-SMD	Knitter-Switch
	IT-1181	Switronic Industrial
Переключатель DIP-Switch	KSP04S, KHS04	OTAX Corporation
Выключатель питания USB	AYZ0202 (12V/0.1A, SMD)	C&K Components
Светодиод SMT	KPT-2012, KP-2012	Kingbright
	PG1111C (green), BR1111C (red)	Stanley Electric
	BRPY1201W (сборка светодиодов)	Stanley Electric
Держатель карты microSD	PJS008-2000-1	Yamaichi Electronics
Карта microSD	SMS064FF(64 MB), SMS512FF (512MB)	Numonyx
Джампер короткозамкнутый	SNT-100-BK-G	Samtec
Разъём POWER	KLD-SMT2-0202-A (2.0 мм)	Kycon
	KLD-SMT2-0202-B (2.5 мм)	Kycon
Разъём USB-5pin	WM17115-MD (mini-B)	Molex
	KMABX-SMT-5S-S30TR (mini-AB)	Hirose
	MRUBBRS1-05SN2R (micro-B)	Kycon
	ZX62-AB-5PA (micro-AB)	Xmultiple Technologies
Дроссель силовой DC/DC	LTF5022T-4R7N2R0 (4.7 мкГн, 2 А)	TDK Corporation

#### 1.4.11. Разгадка надписей на схемах

Электрические схемы отладочных плат изобилуют, образно говоря, «художественным свистом» разработчиков, «трели» которых не похожи друг на друга. Имеется в виду, что графика схем, названия и порядковая нумерация ЭРИ подчиняются лишь собственным представлениям разработчиков о технической целесообразности, личной интуиции и правилам, которые когда-то изучались в вузах. Окончательную путаницу вносят фирменные ограничения, международные рекомендации и банальные опечатки. Единообразия нет, а хотелось бы.

Расшифровка надписей на схемах представляет интерес для практики, поскольку подобные вещи встречаются и в бытовой зарубежной аппаратуре (Табл. 1.3).

Таблица 1.3. Расшифровка условных надписей на электрических схемах

Надпись на схеме	Расшифровка
<i>A7(2, 9, 12)</i>	Цепь связи <i>A7</i> , которая имеет своё продолжение на листах 2, 9, 12 многостраничной электрической схемы
<i>C1 100nF_X7R_0402</i>	Конденсатор <i>C1</i> , керамический, ёмкость 0.1 мкФ, температурная стабильность <i>X7R</i> , SMD, типоразмер 0402
<i>C1 X7R 0.1UF</i>	Конденсатор <i>C1</i> , керамический, SMD, ёмкость 0.1 мкФ, температурная стабильность <i>X7R</i>
<i>C1_100N_0603_X7R_K_50</i>	Конденсатор <i>C1</i> , керамический, ёмкость 0.1 мкФ, температурная стабильность <i>X7R</i> , SMD, типоразмер 0603, допустимое рабочее напряжение 50 В
<i>C1_3U3_TAN_B</i>	Конденсатор <i>C1</i> , полярный танталовый, ёмкость 3.3 мкФ
<i>C1 ELECT 47UF</i>	Конденсатор <i>C1</i> , полярный электролитический, ёмкость 47 мкФ
<i>D1 RED</i>	Светодиод <i>D1</i> красного цвета
<i>R1 ZERO</i>	Резистор <i>R1</i> с нулевым сопротивлением
<i>R1 0E</i>	Резистор <i>R1</i> с нулевым сопротивлением
<i>R1 0OHM</i>	Резистор <i>R1</i> с нулевым сопротивлением
<i>R1 0R_0603</i>	Резистор <i>R1</i> с нулевым сопротивлением, SMD, типоразмер 0603
<i>R1 560E</i>	Резистор <i>R1</i> сопротивлением 560 Ом
<i>R1 THERM</i>	Терморезистор <i>R1</i>
<i>R1 VARISTOR</i>	Варистор <i>R1</i>
<i>+3V3, 3V3</i>	Напряжение +3.3 В
<i>VCC_33</i>	Напряжение питания +3.3 В (но не 33 В!)
<i>+3S3</i>	Напряжение +3.3 В, пропущенное через <i>LC</i> -фильтр
<i>+3V3_STLINK</i>	Напряжение +3.3 В, подаваемое на узел <i>STLINK</i>
<i>VDD5, +5V</i>	Напряжение питания +5 В
<i>VCC_50</i>	Напряжение питания +5.0 В (но не 50 В!)
<i>+5V_IN</i>	Входное напряжение +5 В
<i>WP_N, nCS</i>	Сигнал или вход с НИЗКИМ активным уровнем (« <i>N</i> », « <i>n</i> » — Negative)
<i>PG_3V3</i>	Сигнал «Питание +3.3 В в норме» (« <i>PG</i> » — Power Good)
<i>EP, TAB, Exposed Pad, Thermal Pad</i>	Металлизированный отвод от корпуса микросхемы. На схеме он обозначается отдельным контактом с нулевым номером или с номером на единицу больше, чем общее количество выводов

## 1.5. Условные обозначения на схемах с МК

Условные обозначения ЭРИ на схемах в настоящей книге будут похожими на те, которые использовались в «Выпусках 1...3».

Условное графическое обозначение МК как радиоэлемента будет разным в зависимости от следующих функциональных признаков:

- входные сигналы (**Рис. 1.18, а...д**);
- выходные сигналы (**Рис. 1.19, а...о**);
- совмещённые входы/выходы (**Рис. 1.20, а...л**);
- цепи управления, тактирования и сброса (**Рис. 1.21, а...д**).

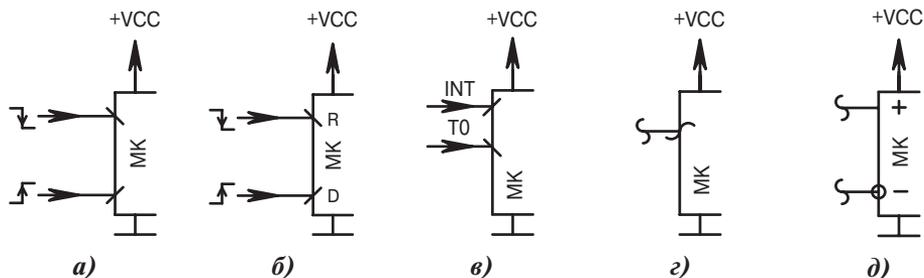


Рис. 1.18. Условные обозначения входных сигналов МК:

- а) цифровые входы без внутреннего резистора, активный фронт спадающий и нарастающий;
- б) цифровые входы с «pull-up/down» резистором, активный фронт спадающий и нарастающий;
- в) цифровой вход обработки прерывания *INT* и цифровой вход таймера/счётчика *TO*;
- г) аналоговый вход внутреннего АЦП;
- д) аналоговые входы (положительный и отрицательный) внутреннего компаратора

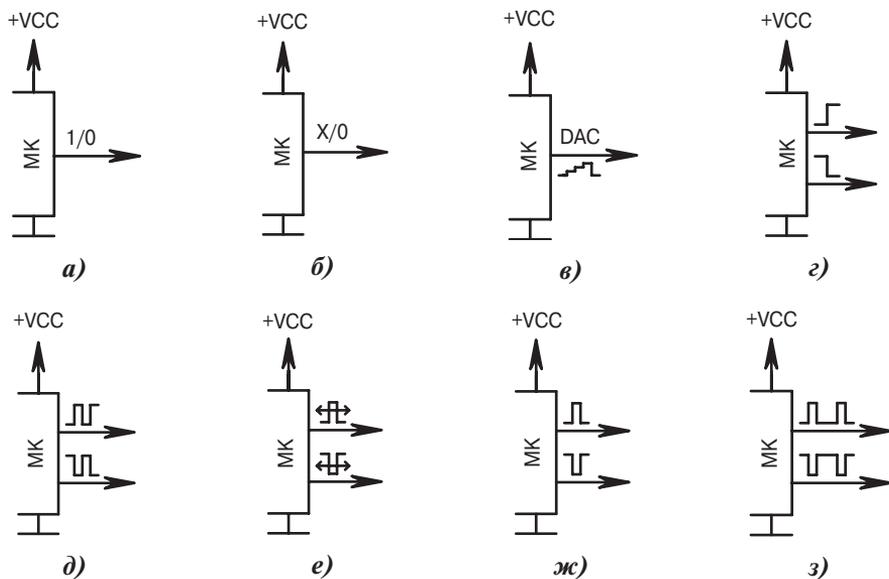
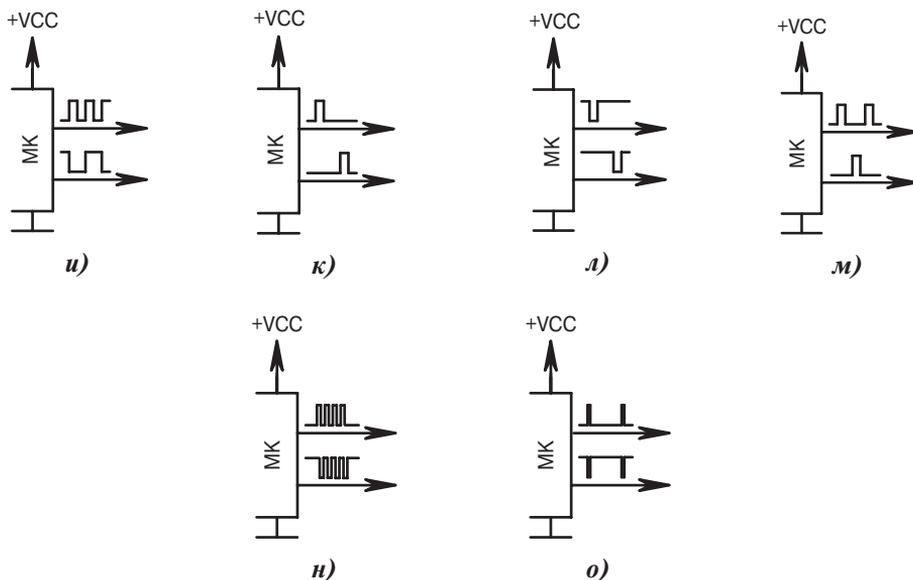


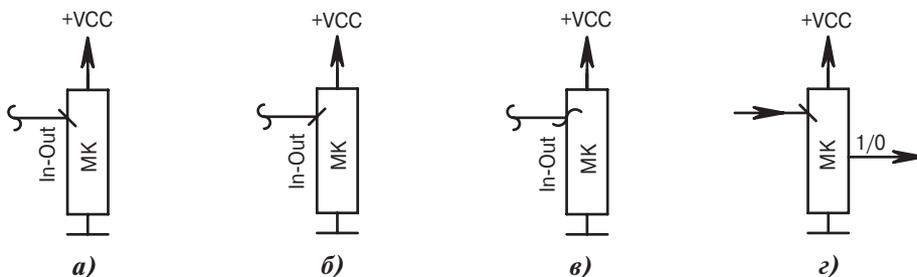
Рис. 1.19. Условные обозначения выходных сигналов МК (начало):

- а) цифровой КМОП-выход с произвольно изменяющейся информацией («1» — ВЫСОКИЙ уровень, «0» — НИЗКИЙ уровень);
- б) цифровой выход с открытым или квазиоткрытым стоком и произвольно изменяющейся информацией («X» — состояние обрыва, «0» — НИЗКИЙ уровень);
- в) аналоговый выход аппаратного ЦАП;
- г) цифровые выходы с перепадами «НИЗКИЙ-ВЫСОКИЙ» и «ВЫСОКИЙ-НИЗКИЙ»;
- д) цифровые выходы с постоянной генерацией импульсов, близких к меандру;
- е) цифровые выходы с сигналами ШИМ преимущественно НИЗКОГО уровня и преимущественно ВЫСОКОГО уровня;
- ж) цифровые выходы с одиночными импульсами ВЫСОКОГО и НИЗКОГО уровней;
- з) цифровые выходы с импульсными последовательностями большой скважности преимущественно НИЗКОГО уровня и преимущественно ВЫСОКОГО уровня; ☹



⊖ Рис. 1.19. Условные обозначения выходных сигналов МК (окончание):

- и) цифровые выходы с генерацией сигналов разной частоты;
- к) «бегущая единица» на двух и более выходах;
- л) «бегущий ноль» на двух и более выходах;
- м) цифровые сигналы, сдвинутые по фазе на половину периода;
- н) пачки коротких импульсов положительной и отрицательной полярности;
- о) дельта-импульсы с активным ВЫСОКИМ и активным НИЗКИМ уровнями на двух выходах



⊖ Рис. 1.20. Условные обозначения входных/выходных сигналов МК (начало):

- а) совмещённый цифровой вход/выход с активным спадающим фронтом по входу;
- б) совмещённый цифровой вход/выход с активным нарастающим фронтом по входу;
- в) цифровой выход, совмещённый с аналоговым входом АЦП;
- г) две независимые цифровые линии, одна из которых настроена на вход, а другая настроена на выход; ⊖

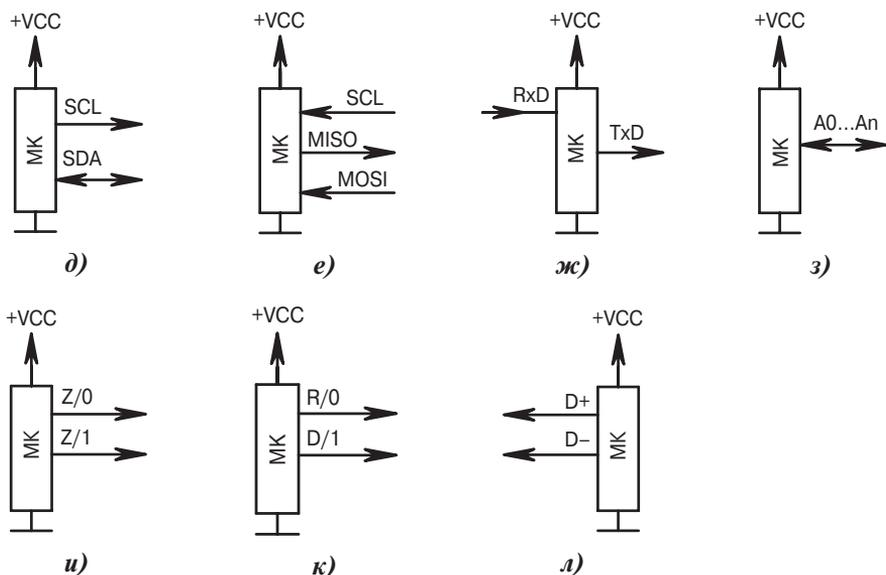


Рис. 1.20. Условные обозначения входных/выходных сигналов МК (окончание):

- д) двухпроводной интерфейс I<sup>2</sup>C;  
 е) трёхпроводной интерфейс SPI;  
 ж) двухпроводной интерфейс UART;  
 з) многопроводной цифровой параллельный интерфейс;  
 и) высокоимпедансный вход, совмещённый с выходом: «0» — выход с НИЗКИМ уровнем, «1» — выход с ВЫСОКИМ уровнем, «Z» — высокоимпедансный вход без резистора;  
 к) «квазидвунаправленный» вход/выход: «0» — выход с НИЗКИМ уровнем, «1» — выход с ВЫСОКИМ уровнем, «R» — вход с «pull-up» резистором, «D» — вход с «pull-down» резистором;  
 л) двунаправленные линии D+, D- встроенного канала USB

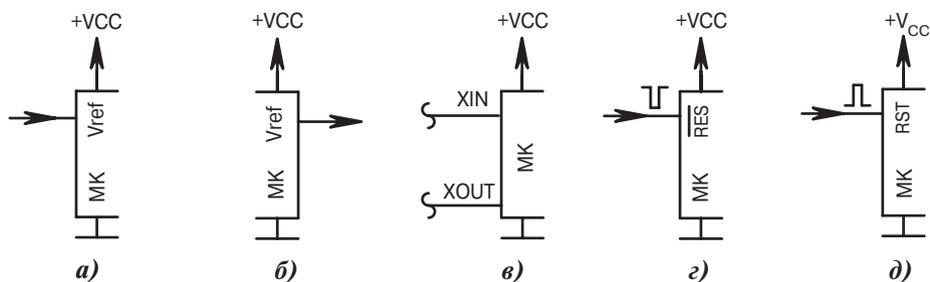


Рис. 1.21. Условные обозначения сигналов управления, тактирования, сброса:

- а) вход ИОН; б) выход ИОН; в) вход XIN и выход XOUT генераторного узла;  
 г) сброс сигналом НИЗКОГО уровня  $\overline{RES}$ ; д) сброс сигналом ВЫСОКОГО уровня RST

Отличить, «что есть что», помогают стенки вертикальных линий в условном графическом обозначении МК. Линий может быть одна или две, при этом к линии слева подводятся входы, а к линии справа — выходы. Это полностью соответствует правилу, принятому при рисовании электрических схем.

Если в МК используются двунаправленные линии входов и выходов, то вертикальных линий будет две, слева и справа. Условное обозначение МК превращается в классический прямоугольник.

На всех последующих электрических схемах общий провод МК, т. е. цепь *GND*, будет рисоваться внизу, питание *VCC* вверху, входы слева, выходы справа. Выводы аналогового питания *AVCC* и общий провод *AGND* для экономии места не показываются, поскольку считается, что они включаются строго по даташиту, правильно и корректно.

### Ограничения и условности в применяемой элементной базе

Транзисторы, диоды, ОУ, специализированные микросхемы, оптопары на схемах приводятся в основном с их полными названиями. Это позволяет точно идентифицировать изготовителя. Технические характеристики применяемых ЭРИ содержатся в даташитах, которые свободно распространяются через Интернет.

SMD-резисторы на схемах для унификации рисуются с одинаковой мощностью 0.125 Вт, что соответствует типоразмеру 0805. Реально может быть меньше.

В условное обозначение стабилитронов, реле, светодиодов в некоторых схемах вводится пояснение в скобках. Например, *VD1 (3.6V)* — это стабилитрон с напряжением стабилизации 3.6 В; *VD1 (0.5A)* — это диод с допустимым током 0.5 А, при этом его прямое напряжение считается равным 0.1...0.3 В для диодов Шоттки и 0.6...0.8 В для маломощных кремниевых диодов; *VD1 (ESD)* — это сапрессор; *K1 (12V)* — это реле с номинальным рабочим напряжением 12 В; *HL1 (1.8V)* — это светодиод зелёного цвета, у которого прямая ветвь ВАХ начинается с 1.8 В; *HL1 (red-green)* — двухцветный светодиод с красным и зелёным излучателями.

Для трансформаторов указывается коэффициент передачи по напряжению через дробь, например *T1 (22/1)*. Это означает, что при подаче на первичную обмотку трансформатора переменного напряжения 220 В на вторичной обмотке будет переменное напряжение 10 В.

В обозначение силовых дросселей вводятся два основных параметра: индуктивность и допустимый ток, например *L1 10μH/4A* (10 мкГн, 4 А).

Нагрузка по выходам обозначается в виде условного резистора *Rw* без указания его мощности, сопротивления и наличия реактивной составляющей. Эти величины уточняются в частном порядке при разработке конкретного устройства с определённой сферой применения.

В схемах с напряжением питания до 5 В вводятся упрощённые надписи для обозначения электролитических конденсаторов. В целях сокращения места номинальное напряжение для них указываться не будет, только ёмкость. Дело в том, что общедоступные «радиолюбительские» конденсаторы имеют рабочее напряжение от 6.3 В и выше, т. е. применять можно любые типы.

Ферритовые фильтры Ferrite Bead бывают двух разновидностей:

- обычные SMD EMI Suppression Ferrite Bead, у которых регламентируется сопротивление на частоте 100 МГц. Пример обозначения фильтра, имеющего сопротивление 600 Ом, — *FB1 (600R)*;
- высокочастотные HF SMD EMI Suppression Ferrite Bead, у которых регламентируется сопротивление на частоте 1 ГГц. Пример обозначения фильтра, имеющего сопротивление 1.1 кОм, — *FB1 (1100R/1G)*.

### Маркировка резисторов и конденсаторов

В настоящей книге принята следующая условная маркировка.

- Конденсаторы ёмкостью до 9.9 пФ включительно обозначаются в пикофарадах с надписью «pF» и разделительной десятичной точкой, например «2.4pF» = 2.4 пФ; «7.5pF» = 7.5 пФ; «9.1pF» = 9.1 пФ.
- Конденсаторы ёмкостью от 10 до 9999 пФ включительно обозначаются в пикофарадах без десятичной точки и надписи «pF», например «33» = 33 пФ; «1000» = 1000 пФ; «8200» = 8200 пФ.
- Конденсаторы ёмкостью от 0.01 мкФ до 9999 мкФ включительно обозначаются в микрофарадах с десятичной точкой без надписи «μF», например «0.01» = 0.01 мкФ; «0.1» = 0.1 мкФ; «10.0» = 10 мкФ; «4.7» = 4.7 мкФ.
- Конденсаторы ёмкостью от 0.01 Ф и более обозначаются в фарадах с десятичной точкой, например «0.68F» = 0.68 Ф; «0.01F» = 0.01 Ф.
- Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением до 999 Ом включительно обозначаются в омах, но без надписи «Ом», например «1» = 1.0 Ом, «2.2» = 2.2 Ом; «820» = 820 Ом.
- Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением от 1 до 999 кОм включительно обозначаются в килоомах с добавлением буквы «k», например «10k» = 10 кОм; «1k» = 1 кОм; «750k» = 750 кОм.
- Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением от 1 МОм и более обозначаются в мегаомах с добавлением заглавной буквы «M», например «1M» = 1 МОм; «2.2M» = 2.2 МОм.
- Резисторы повышенной точности  $\pm 0.5\%$ ;  $\pm 1\%$ ;  $\pm 2\%$  безотносительно от сопротивления обозначаются с прибавлением к номиналу третьей значащей цифры, например «10.0k» = 10.0 кОм; «3.62k» = 3.62 кОм; «0.10» = 0.1 Ом. Если три цифры уже имеются, то ориентироваться надо по числам, не входящим в ряд E24, например «499k» = 499 кОм; «362» = 362 Ом.

### Прочие разъяснения

Чтобы сэкономить место на схемах, в подрисуночном тексте указываются варианты исполнения. Начинаются они общим словом «Варианты:», далее через запятую перечисляются изменяемые элементы. Разделителем между вариантами служит «точка с запятой». Соответствие названий и номиналов устанавливается знаком равенства. Пример: «Варианты:  $CI = 10.0$ ;  $DA1 = L7805CV$ ,  $CI = 100.0$ ».

Условные обозначения ЭРИ, а также надписи возле резисторов и конденсаторов, приводимые в настоящей книге, не следует считать абсолютным образцом. Это не стандарт и не ГОСТ, а учебно-техническая литература, которая подчиняется правилам, принятым в издательстве с учётом пожеланий автора книги.

Ссылки на первоисточники и литературу даются выборочно, поскольку при подборе информации не ставилась задача составить полную библиографию.

Несмотря на то что схемы отладочных плат фирменные, но и в них встречаются досадные опечатки, неточности, казусы. Что можно, то исправлено, остальные загадки пусть будут на совести разработчиков схем. В любом случае критерием истины является практика.

**Список использованных источников и литературы к главе 1**

- 1-1. Intel SIM4-01 (MCS-4) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.oldcomputermuseum.com/sim4-01.html> (англ.). — 14.04.2017.
- 1-2. Microcomputer Trainer [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.oldcomputermuseum.com/microcomputer\\_trainer.html](http://www.oldcomputermuseum.com/microcomputer_trainer.html) (англ.). — 14.04.2017.
- 1-3. IMSAI 8048 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.oldcomputermuseum.com/imsai\\_8048.html](http://www.oldcomputermuseum.com/imsai_8048.html) (англ.). — 14.04.2017.
- 1-4. PT501 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.oldcomputermuseum.com/pt501.html> (англ.). — 14.04.2017.
- 1-5. SDK-51 (MCS-51) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.oldcomputermuseum.com/intel\\_sdk51.html](http://www.oldcomputermuseum.com/intel_sdk51.html) (англ.). — 14.04.2017.
- 1-6. EV80C51FB Evaluation Board [Электронный ресурс] / Intel Corporation, 1988. — Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B9rh9tVI0J5mZDI0MmJmZDgtYjg2Zi00YTJjLWJlNDgtYTg2ZDU3NTZlNzI4/view> (англ.). — 14.04.2017.
- 1-7. SC/MP Development System [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.computinghistory.org.uk/det/4623/SC-MP-Development-System/> (англ.). — 14.04.2017.
- 1-8. UM1932 User manual [Электронный ресурс] / STMicroelectronics, 2015. — Режим доступа: [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/b7/34/4d/b8/bc/ae/47/1f/DM00218846.pdf/files/DM00218846.pdf/jcr:content/translations/en.DM00218846.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/b7/34/4d/b8/bc/ae/47/1f/DM00218846.pdf/files/DM00218846.pdf/jcr:content/translations/en.DM00218846.pdf) (англ.). — 14.04.2017.
- 1-9. STM3240G-JAVA [Электронный ресурс] / Farnell, 2017. — Режим доступа: <http://ru.farnell.com/stmicroelectronics/stm3240g-java/dev-Kit-Stm32-java-Software/dp/2318882>. — 14.04.2017.
- 1-10. Фрунзе, А. В. Микроконтроллеры? Это же просто! Т. 2 / Александр Фрунзе — М. : ООО «ИД СКИМЕН», 2002. — 392 с. — ISBN 5-94929-003-8 (Т. 2).
- 1-11. Пособие по ОСМПС. Платы развития и контроллеры-конструкторы (методичка) [Электронный ресурс] / Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2013. — Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5918061/>. — 14.04.2017.
- 1-12. Arduino Products [Электронный ресурс] / Arduino, 2017. — Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>. — 14.04.2017.
- 1-13. List of Best Arduino Starter Kit Available Online [Электронный ресурс] / Arduino Starter Kits, 2017. — Режим доступа: <https://www.arduinostarterkits.com/>. — 14.04.2017.
- 1-14. Рюмик, С. Маркировочные коды полупроводниковых SMD-элементов / Сергей Рюмик // Радиолюбитель. — 1999. — № 5. — С. 31—34; — № 6. — С. 31—35.
- 1-15. Перебаскин, А. В. Маркировка электронных компонентов. Определитель / А. Перебаскин, А. Бахметьев. — М. : Додэка-XXI, 2009. — 386 с. — ISBN 978-5-94120-131-0.
- 1-16. Smd-коды [Электронный ресурс] / 2016. — Режим доступа: <http://ecworld.ru/support/sdd/smdcod.htm>. — 14.04.2017.
- 1-17. Codebook [Электронный ресурс] / Сахара, 2017. — Режим доступа: <http://сахара.ru/codebook/>. — 14.04.2017.