

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> . . . . .	7
<b>Глава 1. Внутреннее строение МК</b>	
1.1. Структурная схема идеализированного МК . . . . .	10
1.2. Условные обозначения на схемах . . . . .	14
<b>Глава 2. Типовые схемы узлов вывода МК</b>	
2.1. Светодиодные индикаторы . . . . .	20
2.1.1. Одиночные светодиоды . . . . .	20
2.1.2. Последовательное соединение светодиодов . . . . .	25
2.1.3. Сокращение числа соединительных линий . . . . .	27
2.1.4. Стробирование светодиодов . . . . .	29
2.1.5. Одиночные светодиоды с буферными транзисторами . . . . .	31
2.1.6. Линейки светодиодов . . . . .	34
2.1.7. Светодиодные панно . . . . .	40
2.1.8. Мигающие светодиоды . . . . .	42
2.1.9. Двухцветные светодиоды . . . . .	44
2.1.10. Многоцветные светодиоды . . . . .	48
2.1.11. Одноразрядные семисегментные индикаторы . . . . .	51
2.1.12. Многоразрядные семисегментные индикаторы . . . . .	54
2.1.13. Уплотнение сигналов в многоразрядных семисегментных индикаторах . . . . .	59
2.1.14. Буквенно-цифровые индикаторы . . . . .	64
2.1.15. Интегральные светодиодные матрицы . . . . .	66
2.1.16. Инфракрасные светодиоды . . . . .	69
2.2. Жидкокристаллические индикаторы . . . . .	74
2.2.1. Семисегментные «цифровые» ЖКИ . . . . .	74
2.2.2. Семисегментные ЖК-модули . . . . .	77
2.2.3. Алфавитно-цифровые ЖК-модули . . . . .	81
2.2.4. Монохромные графические ЖК-дисплеи . . . . .	91
2.2.5. ЖК-дисплеи от мобильных телефонов . . . . .	95
2.3. Звуковые излучатели . . . . .	98

2.3.1.	Пьезокерамические излучатели . . . . .	98
2.3.2.	Пьезокерамические динамики . . . . .	102
2.3.3.	Пьезогенераторы . . . . .	103
2.3.4.	Пьезосирены . . . . .	105
2.3.5.	Ультразвуковые излучатели . . . . .	107
2.3.6.	Динамические громкоговорители . . . . .	110
2.3.7.	Звук через радиотрансляционный динамик . . . . .	117
2.3.8.	Головные телефоны . . . . .	118
2.3.9.	Генерация звука через канал ШИМ . . . . .	120
2.3.10.	Генерация звука через внешний ЦАП . . . . .	126
2.3.11.	Интегральные усилители звука . . . . .	134
2.3.12.	Формирователи тембра. . . . .	137
2.4.	Ключевые каскады . . . . .	140
2.4.1.	Однотранзисторные биполярные ключи . . . . .	140
2.4.2.	Двухтранзисторные биполярные ключи . . . . .	144
2.4.3.	Ключи на полевых транзисторах . . . . .	149
2.4.4.	Многотранзисторные ключи . . . . .	153
2.4.5.	«Цифровые» транзисторы. . . . .	156
2.4.6.	Узлы включения/выключения питания. . . . .	157
2.4.7.	Узлы управления режимами и параметрами . . . . .	159
2.5.	Электродвигатели . . . . .	166
2.5.1.	Транзисторное управление двигателями . . . . .	166
2.5.2.	Микросхемы управления двигателями . . . . .	173
2.5.3.	Шаговые двигатели . . . . .	176
2.6.	Генерация, модуляция, переключение сигналов. . . . .	179
2.6.1.	Формирование телевизионных сигналов . . . . .	179
2.6.2.	Модуляция сигналов. . . . .	185
2.6.3.	Генерация прямоугольных сигналов. . . . .	188
2.6.4.	Генерация сигналов непрямоугольной формы. . . . .	190
2.6.5.	Радиопередающие устройства . . . . .	193
2.6.6.	Коммутация сигналов . . . . .	198
2.6.7.	Передача сигналов на большие расстояния . . . . .	201
2.6.8.	Формирователи ступенчатого напряжения. . . . .	203
2.6.9.	Выход на телефонную линию. . . . .	204
2.6.10.	Подключение радиоэлементов к внешнему тракту . . . . .	208
2.6.11.	Сопряжение с логическими микросхемами. . . . .	210
2.6.12.	Импульсные устройства . . . . .	213
2.7.	Силовая электроника . . . . .	215
2.7.1.	Источники питания на базе МК . . . . .	215
2.7.2.	Нагревательные элементы . . . . .	220
2.7.3.	Управление тиристорами . . . . .	222
2.7.4.	Управление симисторами . . . . .	228
2.7.5.	Оптосимисторы. . . . .	233
2.8.	Механические реле. . . . .	236
2.8.1.	Механические реле общего применения . . . . .	236

2.8.2. Включение нескольких реле . . . . .	244
2.8.3. Поляризованные реле . . . . .	246
2.9. Полупроводниковые реле . . . . .	248
2.9.1. Неизолированные электронные реле . . . . .	248
2.9.2. Оптореле . . . . .	249
2.10. Комбинированные выходные схемы . . . . .	251
2.10.1. Совмещение световой и звуковой индикации . . . . .	251
2.10.2. Местная световая индикация . . . . .	253
2.11. Необычные схемы узлов вывода . . . . .	256
Список использованных источников и литературы к главе 2 . . . . .	261
<b>Глава 3. Типовые схемы комбинированных узлов ввода/вывода</b>	
3.1. Следящая обратная связь в двигателях . . . . .	271
3.2. Стабилизированные источники питания . . . . .	273
3.3. Многофункциональные схемы . . . . .	276
3.4. Схемы с программной обратной связью . . . . .	278
3.5. Опрос состояния кнопочной клавиатуры . . . . .	282
3.6. Связь между двумя МК по входам/выходам . . . . .	289
3.7. Сопряжение с двунаправленными буферами . . . . .	293
3.8. Подключение внешних микросхем ОЗУ и ПЗУ . . . . .	294
3.9. Светоизлучатели и фотоприёмники . . . . .	299
3.10. Необычные схемы узлов ввода/вывода . . . . .	300
Список использованных источников и литературы к главе 3 . . . . .	303
<b>Глава 4. Типовые схемы подключения компьютеров к МК</b>	
4.1. COM-порт . . . . .	305
4.2. LPT-порт . . . . .	314
4.3. Интерфейс PS/2 . . . . .	320
4.4. Интерфейс USB . . . . .	322
4.5. Интерфейс Ethernet . . . . .	328
Список использованных источников и литературы к главе 4 . . . . .	331
<b>Глава 5. Схемы, не рекомендуемые к применению</b>	
5.1. О неудачах и ошибках . . . . .	333
5.2. Пример анализа электрической схемы . . . . .	334
5.3. Коллекция не рекомендуемых схем . . . . .	336
Список использованных источников и литературы к главе 5 . . . . .	340
<b>Глава 6. Мини-учебник по основам языка Си</b>	
6.1. Введение в Си . . . . .	341
6.1.1. Общие тезисы . . . . .	341
6.1.2. Классификация программистов . . . . .	342
6.1.3. Правила успешного программирования . . . . .	342
6.2. Выбор компилятора . . . . .	343
6.2.1. Этапы разработки программного обеспечения . . . . .	343
6.2.2. Среда разработки WinAVR . . . . .	344
6.2.3. Философия свободных программ . . . . .	345

6.3. Что такое «Starter Kit»? . . . . .	348
6.4. Первая тестовая программа . . . . .	350
6.4.1. Обобщённая структурная схема Си-программы. . . . .	350
6.4.2. Техническое задание и алгоритм решения . . . . .	351
6.4.3. Составление листинга программы. . . . .	352
6.4.4. Компиляция Си-программы . . . . .	361
6.4.5. Моделирование программы в симуляторе VMLab . . . . .	362
6.4.6. Программирование МК . . . . .	366
6.4.7. Реальная работа. . . . .	368
6.5. Операторы языка Си. . . . .	369
6.5.1. Классификация операторов . . . . .	369
6.5.2. Операторы присваивания, вызова функций, описания переменных . . . . .	369
6.5.3. Операторы ветвлений . . . . .	371
6.5.4. Операторы циклов . . . . .	374
6.5.5. Операторы переходов . . . . .	377
6.6. Функции языка Си . . . . .	379
6.6.1. Что такое функция? . . . . .	379
6.6.2. Разновидности Си-программ. . . . .	381
Список использованных источников и литературы к главе 6 . . . . .	388
<b>ПОСЛЕСЛОВИЕ</b> . . . . .	<b>389</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	
Приложение 1. Содержание справочных материалов . . . . .	391
Приложение 2. Ссылки и адреса в Интернете . . . . .	393
Приложение 3. Список аббревиатур. . . . .	397

# ВВЕДЕНИЕ

*Если я буду молчать, то я никогда не начну  
(В. Шекспир)*

Для одних людей микроконтроллеры (МК) — это увлекательное хобби, для других — средство приличного заработка, для третьих — предмет научного изучения. В любом случае человеку, решившему посвятить МК часть своей жизни, необходимо иметь определённый багаж микроконтроллерных знаний, который опирается на техническую литературу и Интернет.

Из источников информации можно выделить следующие:

- 1) фирменные справочники даташит (англ. «Datasheet»), в которых содержатся самые достоверные и подробные сведения о параметрах, внутреннем устройстве, системе программирования конкретного МК;
- 2) руководства по применению (англ. «Application Notes», на сленге «апноты»), где приводятся примеры использования МК в различных устройствах;
- 3) интернет-сайты, специализирующиеся на размещении справочно-информационных, новостных и программных материалов про МК;
- 4) печатные издания радиолюбительской направленности, откуда можно почерпнуть идеи, схемы, листинги, а также описания реальных конструкций;
- 5) книги по МК, которые делятся на справочные, учебные, научно-популярные, познавательные, теоретические и прикладные.

К прикладным книгам относится первая часть авторского издания «1000 и одна микроконтроллерная схема. Вып. 1», выпущенная в издательстве «Додэка-XXI» в 2010 г. (далее — «Выпуск 1»). В ней были представлены начальные сведения об устройстве МК, дана классификация микроконтроллерных семейств, сделан анализ так называемого «идеализированного» МК на структурном, функциональном и логическом уровнях. В отдельных главах рассматривалась схемотехника узлов подсистемы ввода сигналов, а также варианты организации питания, начального сброса и синхронизации.

Настоящая книга является логическим продолжением «Выпуска 1» в части схемотехники узлов подсистемы вывода МК, а также комбинированных узлов и интерфейсов сопряжения с персональным компьютером.

Основная задача остаётся прежней — заинтересовать читателя технологией блочного синтеза электрических схем, которые «склеиваются» вместе из простых функциональных кубиков. Дополнительно предлагается изучить основы языка Си, на котором пишется большинство микроконтроллерных программ.

Следует правильно понимать, что описание ассемблерных команд МК, раскладка его внутренних регистров, временные диаграммы специально оставлены «за кадром». Это материал для учебников. Не описываются также примеры кон-

кратных конструкций с использованием МК. Это материал для интернет-сайтов. Не будет обзоров новинок и анализа тенденций развития встраиваемых систем. Это материал для пресс-релизов и журнальных статей. Данная книга отличается практичностью и в этом её «изюминка».

*В теоретической части книги* (глава 1) коротко освещаются все подсистемы идеализированного МК и приводятся условные графические обозначения, принятые в электрических схемах. Не секрет, кое-что повторяется из «Выпуска 1». Повторение призвано закрепить материал, чтобы информация «настоялась», а настоявшись, перешла в знание.

*В практической части книги* (главы 2...5) представлены схемы подключения к МК выходных устройств, комбинированных узлов ввода/вывода, схем сопряжения с компьютером. Систематизация в данной области до сих пор отсутствует, поэтому автором сделана попытка собрать воедино типовые решения и рассортировать их «по полкам». В перспективе должен получиться банк электрических схем периферийных узлов, который можно дополнять, уточнять, расширять.

*В программной части книги* (глава 6) содержится мини-учебник по алгоритмическому языку Си для начинающих. Разработчику микроконтроллерных устройств по жизни суждено быть универсалом и волей-неволей ему приходится осваивать азы программирования. Язык Си в применении к МК имеет свои особенности, поэтому вводятся разумные ограничения по составу и количеству используемых команд, операторов, функций. Получается усечённо-упрощённый «школьный» вариант языка Си. Дальнейшее углубление знаний в программировании зависит от важности поставленных целей и амбициозности читателя.

*В справочной части книги* (приложения 1...3) перечислено содержимое папок с файлами, хранящимися на сайте издательства <http://www.дмк.рф>, а также даны необходимые интернет-ссылки. Без этой информации современные издания уже никак не могут обходиться, что становится нормой.

Перечень использованных источников и литературы приводится отдельно в конце каждой главы книги. В основном это указатели на электрические схемы. Абсолютно полную библиографическую справку сделать сложно, поскольку технические идеи повторяются в разных изданиях и «гуляют» по Интернету, причём очень часто без соответствующих ссылок и указаний о приоритете.

Многие схемы, приведенные в настоящей книге, были адаптированы применительно к идеализированному МК. В них сознательно вносились изменения по сравнению с оригиналами. Кое-где добавлялись цепи защиты и элементы, повышающие эксплуатационную надёжность, кое-где изменялись типы диодов, транзисторов, микросхем, номиналы конденсаторов и резисторов, кое-где расширялись допуски на напряжение питания и т.д.

Порядок изучения материала в книге каждый определяет для себя самостоятельно, памятуя, что обычно теория идёт впереди практики. Программную часть, с одной стороны, можно отнести к теории, если пользоваться компьютерным симулятором, а с другой стороны — к практике, если под рукой имеется паяльник и быстро перепрограммируемый макет с радиодеталями.

Опытные электронщики иногда применяют приём, известный у психологов как «обучение иностранному языку во сне». Методика следующая. Чтобы найти подходящее техническое решение, надо бегло просмотреть как можно больше

электрических схем, пусть даже и весьма далёких от рассматриваемой проблемы. В какой-то момент времени (сразу или с задержкой) придёт озарение и подсознание само подскажет верную идею или направление для дальнейшего углублённого анализа.

Стиль подачи материала в книге легко узнаваем. Сохранена идентичность с «Выпуском 1» в графике рисунков и в методике форматирования текста. На тех страницах, где располагаются электрические схемы, находятся относящиеся именно к ним подрисовочные надписи. Это требует ювелирной точности при верстке книги и больших затрат ручного труда при компоновке текста. Недаром подобным техническим изданиям присваивают статус «home made» энциклопедия. Их выпускается не так много, как хотелось бы.

Жанр книги можно условно отнести к разновидности «графического романа». Именно так называют современные художественные книги, где объём иллюстраций сравним с объёмом текста. Единственное, что рисунки в данном случае имеют радиоэлектронную тематику, а текст больше напоминает справочник. Аналитики предполагают, что выпуск «графических книг» сохранится и в будущем, занимая определённый сектор электронных мультимедийных «ebook».

Общее число электрических схем в двух книгах составляет более 2000. Думается, это оптимальный объём информации на единицу печатного издания. Слишком тонкие и слишком толстые книги в повседневной работе неудобны. Нужно найти золотую середину, когда, согласно законам философии, «количество переходит в качество».

Время не стоит на месте. Появляются свежие выпуски журналов с интересными статьями, талантливые публикации в Интернете, озвучиваются оригинальные идеи на форумах. Остаётся лишь набраться терпения и подождать, пока накопится ещё одна подборка из 1001 микроконтроллерной схемы...

В настоящем издании были 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».

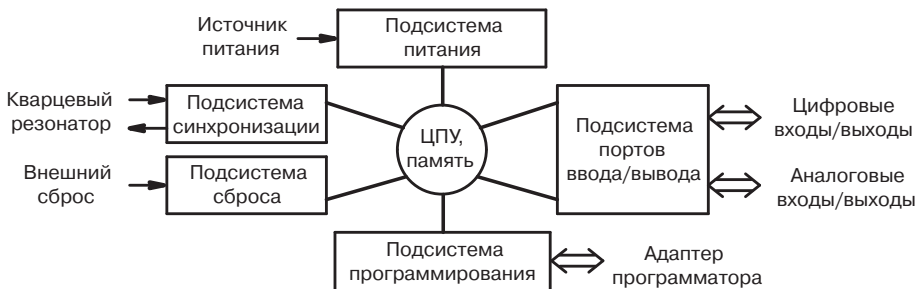
Автор книги и издательство предоставляют материалы, программы и схемы на условиях «как есть» («as is»), без каких-либо гарантий отсутствия ошибок и соответствия требованиям промышленных и государственных стандартов. Автор книги и издательство не несут юридической ответственности за прямые или косвенные,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

## ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ МК

*Повторение — мать учения  
(Русская пословица)*

### 1.1. Структурная схема идеализированного МК

Сколько существует разновидностей МК, столько существует и вариантов их внутреннего устройства. Тем не менее, если ограничиться широкораспространёнными моделями, усреднить параметры и обобщить особенности архитектуры, то можно вывести образ некоего идеализированного МК. На **Рис. 1.1** показана его структурная схема.



**Рис. 1.1.** Структурная схема идеализированного МК.

Краткое описание составных частей идеализированного МК.

*ЦПУ и память* — это процессорное ядро, которое включает в себя вычислительное устройство с шинами данных, синхронизации, управления, оперативную память, регистры общего назначения и регистры специальных функций.

Процессорное ядро — это основной отличительный признак архитектуры МК. По его характеристикам (и названию) судят о потенциальных вычислительных возможностях. Ядро обслуживается несколькими периферийными модулями или, по-другому, подсистемами. Именно к ним пользователь имеет доступ извне, именно они подлежат детальному изучению.

*Подсистема программирования* служит своеобразным мостом между файлом, подлежащим прошивке, и энергонезависимой памятью МК. Процедура программирования производится без изъятия микросхемы из панельки на печатной плате. Более того, существуют новые интернет-технологии удалённого программирования МК через BootLoader из любой точки Земного шара.



*Подсистема питания* содержит, как минимум, два провода: положительный («плюс»,  $V_{CC}$ ,  $V_{DD}$ , Power Supply) и отрицательный («минус», GND,  $V_{SS}$ , Ground Reference). В зависимости от наличия АЦП, ЦАП и количества выводов МК питание может осуществляться по двух- или многопроводной схеме. В последнем случае надо следить за тем, чтобы цифровые и аналоговые цепи были максимально развязаны друг от друга во избежание перекрёстных помех.

*Подсистема начального сброса* нужна для установки внутренних счётчиков, регистров и триггеров МК в исходное состояние, иначе при включении питания ход выполнения программы станет непредсказуемым. Начальный сброс требуется в аварийных ситуациях при «просадках» питания или при «зависании» программы. В идеализированном МК сигнал сброса  $\overline{RES}$  имеет активный НИЗКИЙ уровень.

*Подсистема синхронизации* служит для тактирования ЦПУ и узлов ввода/вывода. Чем выше частота тактовых импульсов, тем быстрее выполняются операции, а чем ниже их частота, тем меньше потребляется ток от источника питания.

В одном МК обычно имеется несколько генераторных узлов, которые подразделяются на внутренние и внешние. Как правило, внутренние узлы работают от RC-цепочек, а внешние — от кварцевых и керамических резонаторов.

Сигналы подсистемы синхронизации в идеализированном МК обозначаются ХТ1 (вход), ХТ2 (выход). Считается, что пользователь сам в состоянии выбрать режим генерации и правильно сконфигурировать регистры.

*Подсистему портов ввода/вывода* можно образно сравнить со «спиным мозгом» вычислительной системы. Именно через неё проходят команды, посылаемые «головным мозгом» (т.е. процессорным ядром), к «мышцам рук и ног» (т.е. к входным и выходным линиям портов МК).

Узлы ввода/вывода удобно рассматривать по отдельности: цифровые порты ввода (Рис. 1.2, а...в), аналоговые порты ввода (Рис. 1.3, а, б), цифровые порты вывода (Рис. 1.4, а...в), совмещённые линии портов ввода/вывода (Рис. 1.5).

Та или иная конфигурация подсистемы портов ввода/вывода задаётся при старте программы регистрами МК и в дальнейшем обычно не изменяется. Это логично, поскольку в большинстве случаев линии портов выполняют какую-то одну задачу, например, цифровой логический выход, приём сигналов от кнопки, генератор сигналов ШИМ, вход АЦП, выход ЦАП и т.д.

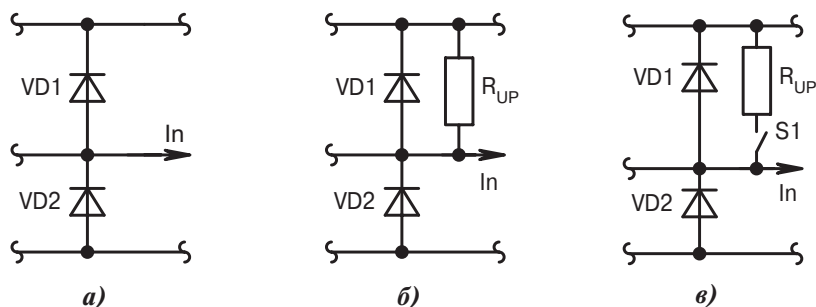


Рис. 1.2. Цифровые порты ввода:

а) без резистора; б) с «pull-up» резистором; в) с программно переключаемым резистором.

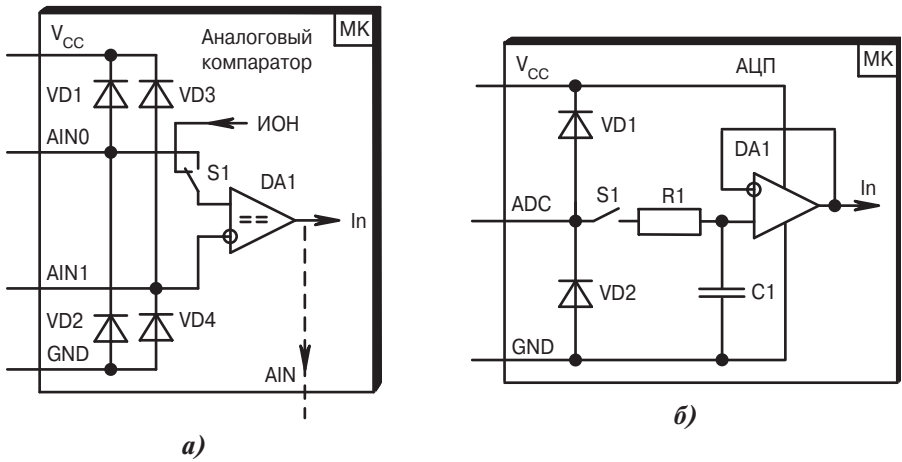


Рис. 1.3. Аналоговые порты ввода:  
а) вход аналогового компаратора; б) вход АЦП.

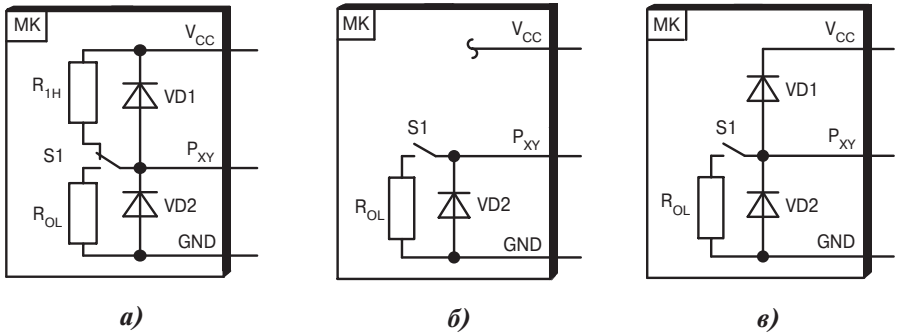


Рис. 1.4. Цифровые порты вывода:  
а) двухтактный выход; б) выход с открытым стоком; в) выход с квазиоткрытым стоком.

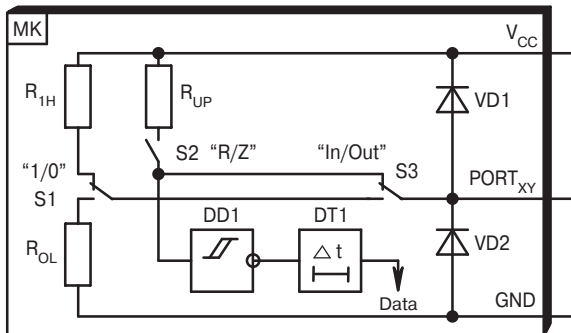


Рис. 1.5.  
Двунаправленный  
вход/выход.

На всех эквивалентных схемах подтягивающие полупроводниковые резисторы  $R_{UP}$  и управляемые ключи  $S1...S3$  определяют исходную конфигурацию линии порта. Активируются они программно. Номиналы сопротивлений резисторов имеют большой технологический разброс вплоть до  $\pm 50\%$ .

Электрические параметры входов/выходов идеализированного МК примерно соответствуют стандартным триггерам Шмитта из серии 74АС (вход КМОП, выход КМОП) или 74АСТ (вход ТТЛ, выход КМОП). Нагрузочная способность симметричная при ВЫСОКОМ и НИЗКОМ уровне на выходе.

Диоды  $VD1...VD4$  защитные, антистатические. Они присутствуют в МК так же, как и в обычных микросхемах КМОП-логики. Технология одинаковая, никуда от неё не денешься. При входном напряжении выше уровня  $V_{CC}$  открывается «верхний» диод. При уменьшении входного напряжения ниже уровня GND открывается «нижний» диод. Для МК по даташитах регламентируется предельное превышение уровней  $V_{CC}/GND$  не более  $+0.3/-0.3$  В для семейства Microchip PIC12/16/18 или не более  $+0.5/-0.5$  В для семейства Atmel AVR.

Аналоговые порты отличаются от цифровых, в первую очередь, уровнями подаваемых на вход сигналов. Для цифрового режима — это стандартные двоичные перепады напряжения НИЗКИЙ/ВЫСОКИЙ. Для аналогового режима допускаются сигналы любой формы в диапазоне  $0...V_{CC}$ , при этом превышение уровней всё равно засчитывается как 0 и  $V_{CC}$ .

Переключатели  $S1...S3$  замещают реальные электронные ключи, выполненные на интегральных полевых транзисторах. Низкоомные резисторы  $R_{IN}$  и  $R_{OL}$  служат аналогами сопротивлений открытых каналов соответственно  $p$ -МОП и  $n$ -МОП транзисторов. В числовом выражении это единицы-десятки ом в зависимости от технологии изготовления и нагрузочной способности по току. Вот ориентировочные цифры, характерные для AVR- и PIC-контроллеров:

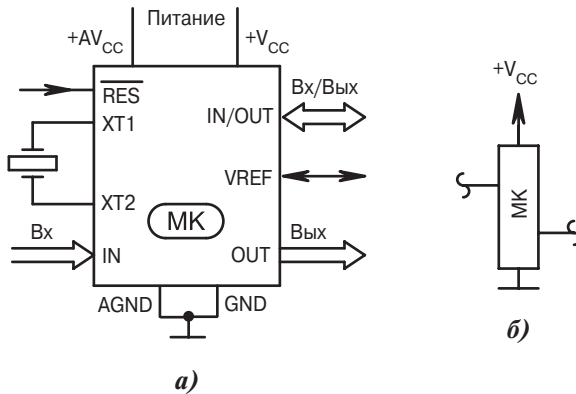
- $I_{IN} = 20...25$  мА,  $I_{OL} = 20...25$  мА — максимальные токи, протекающие через резисторы  $R_{IN}$ ,  $R_{OL}$ , при которых ещё гарантируются выходные логические уровни от 0 до  $(0.1...0.2)V_{CC}$  и от  $(0.6...0.8)V_{CC}$  до  $V_{CC}$ ;
- $I_{MAX} = 35...45$  мА — предельный ток нагрузки на одну линию порта, длительное воздействие которого может привести (хотя и не обязательно) к отказу МК. Это граничный режим с балансировкой «на лезвии ножа»;
- $I_{K3} = 100...150$  мА — ток короткого замыкания выходной линии порта на общий провод или на шину питания. Если не снять замыкание в течение первых 15...20 с, то температурный перегрев транзисторов выходного каскада с большой долей вероятности приведёт к фатальным последствиям.

Схема двунаправленного порта ввода/вывода (Рис. 1.5) получается как суперпозиция схем входа (Рис. 1.2, в) и выхода (Рис. 1.4, а). Триггер Шмитта  $DD1$  и линия задержки  $DT1$  являются стандартными для всех входов. Они не пропускают короткие импульсные помехи, устанавливая для них ограничительные пороги как по амплитуде, так и по длительности.

Переключатели  $S1...S3$  коммутируются двумя программно доступными регистрами МК. В разных семействах они имеют разные названия. В частности, регистр PORTx (AVR, PIC) эквивалентен переключателям  $S1$ ,  $S2$ , а регистры DDRx (AVR), TRISx (PIC) — переключателю  $S3$ .

## 1.2. Условные обозначения на схемах

На **Рис. 1.6, а, б** показаны сигналы, окружающие идеализированный МК. Их расшифровка приведена в **Табл. 1.1**. Этот «джентльменский набор» характерен для обычных 8-битных МК.



**Рис. 1.6.** Условное графическое обозначение идеализированного МК: а) полная схема; б) упрощённая схема.

**Таблица 1.1.** Расшифровка сигналов идеализированного МК

Цепь	Назначение, функция	Название по даташиту
$+AV_{CC}$	Цепь аналогового питания (+)	AVCC, AVDD
$+V_{CC}$	Цепь цифрового питания (+)	VCC, VDD
$\overline{RES}$	Начальный сброс НИЗКИМ уровнем	$\overline{RES}$
XT1	Вход генераторной схемы	XTAL1, XT1
XT2	Выход генераторной схемы	XTAL2, XT2
OUT	Выходные линии портов	Px, Rx, GPx
IN	Входные линии портов	Px, Rx, GPx
IN/OUT	Линии двунаправленных портов	Px, Rx, GPx
VREF	Вход/выход внутреннего/внешнего ИОН	VREF
AGND	Общий аналоговый провод (-)	AVSS, AGND
GND	Общий цифровой провод (-)	VSS, GND

Чтобы не загромождать электрические схемы лишней информацией, в дальнейшем в них будут приводиться только наиболее важные связи. Остальное считается имеющимся в МК по умолчанию, например, отдельные цепи аналогового питания, кварцевый резонатор, линии подключения программатора и т.д.

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

- входные сигналы (**Рис. 1.7, а...д**);
- выходные сигналы (**Рис. 1.8, а...о**);
- совмещённые входы/выходы (**Рис. 1.9, а...н**);
- цепи управления, синхронизации и сброса (**Рис. 1.10, а...д**).

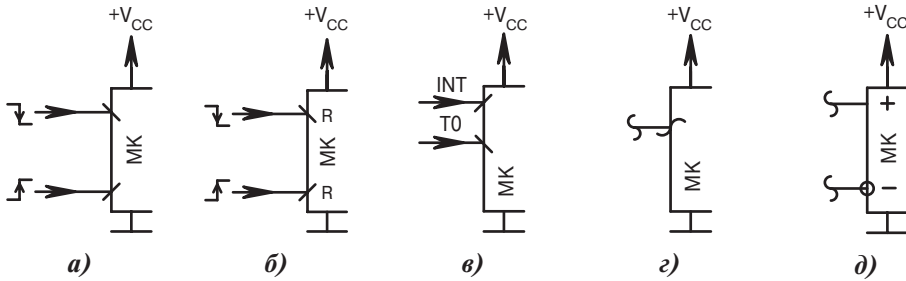


Рис. 1.7. Условные обозначения входных сигналов МК:

- а) цифровые входы без внутреннего резистора, активный фронт спадающий и нарастающий;  
 б) цифровые входы с внутренним резистором  $R$ , активный фронт спадающий и нарастающий;  
 в) цифровой вход обработки прерывания INT и цифровой вход таймера/счётчика T0;  
 г) аналоговый вход внутреннего АЦП;  
 д) аналоговые входы внутреннего компаратора (положительный и отрицательный).

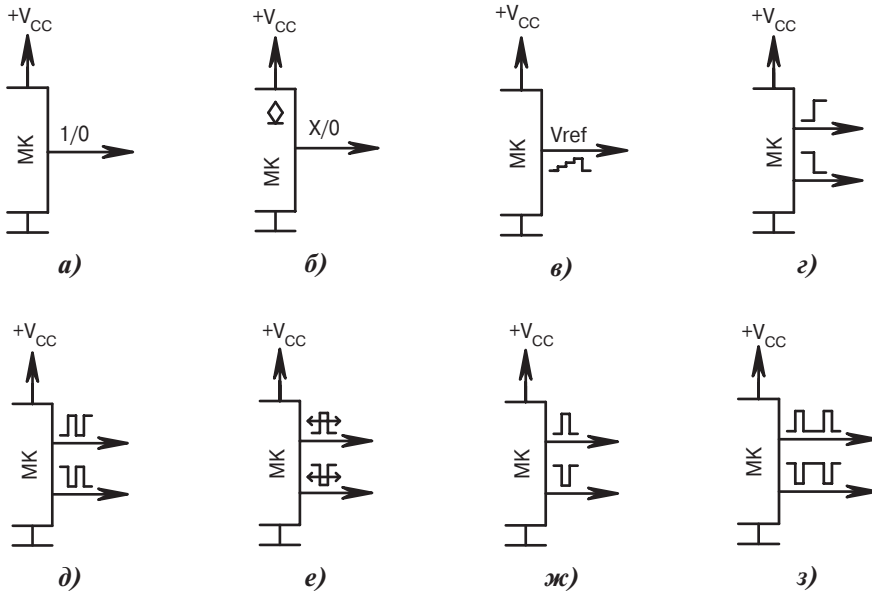
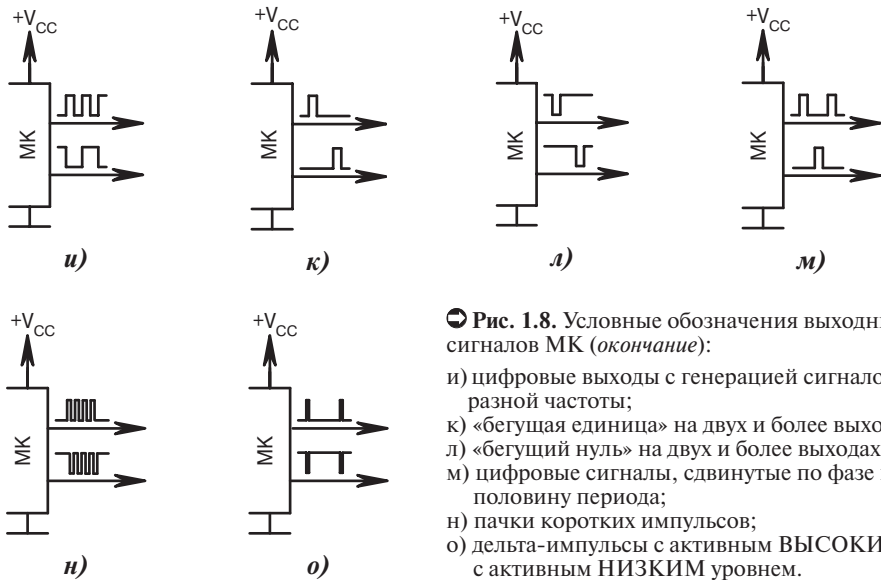


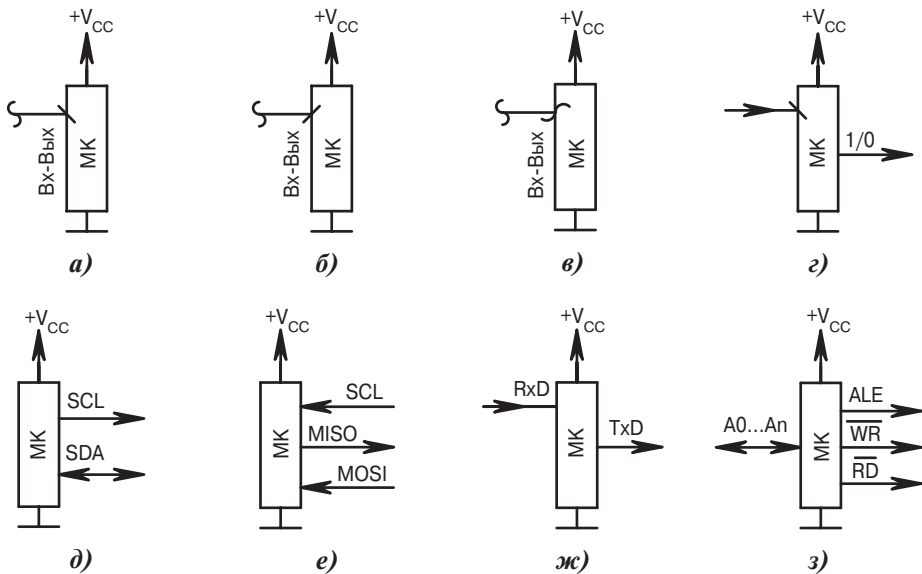
Рис. 1.8. Условные обозначения выходных сигналов МК (начало):

- а) цифровой КМОП-выход с произвольно изменяющейся информацией («1» — ВЫСОКИЙ уровень, «0» — НИЗКИЙ уровень);  
 б) цифровой выход с открытым стоком и произвольно изменяющейся информацией («X» — состояние обрыва, «0» — НИЗКИЙ уровень);  
 в) аналоговый выход простейшего ЦАП на основе программируемого ИОН;  
 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 уровня;  
 з) цифровые выходы с генерацией импульсных последовательностей большой скважности преимущественно ВЫСОКОГО уровня и преимущественно НИЗКОГО уровня;  $\ominus$



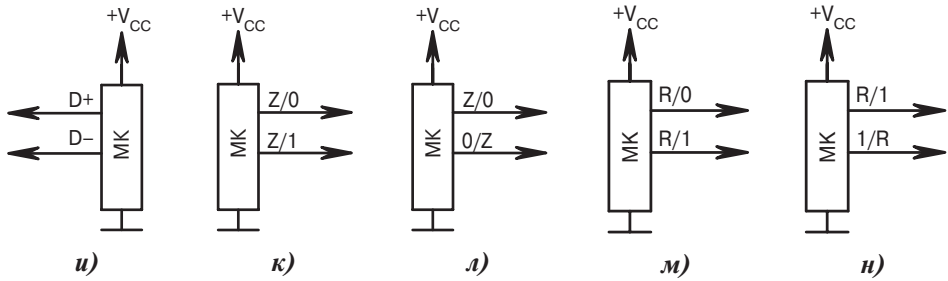
➡ **Рис. 1.8.** Условные обозначения выходных сигналов МК (окончание):

- 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;
- о) дельта-импульсы с активным ВЫСОКИМ и с активным НИЗКИМ уровнем.



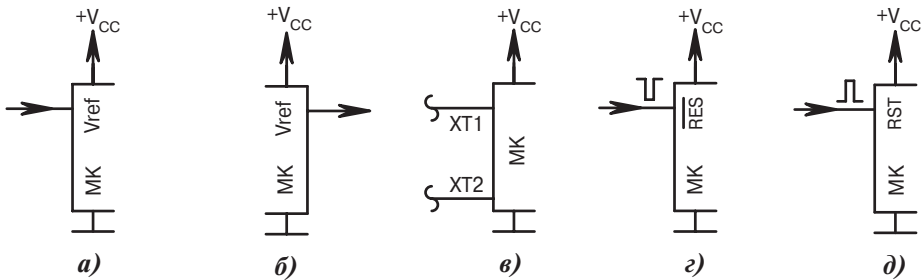
**Рис. 1.9.** Условные обозначения входных/выходных сигналов МК (начало):

- 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 цифровые линии, одна из которых настроена на вход, другая — на выход;
- д) интерфейс I<sup>2</sup>C с выходным сигналом SCL и двунаправленным сигналом SDA;
- е) интерфейс SPI с входными сигналами SCL, MOSI и выходным сигналом MISO;
- ж) интерфейс UART (USART) с входным сигналом RxD и выходным сигналом TxD;
- з) цифровой параллельный интерфейс с совмещённой шиной адреса/данных A0...An; ➡



► **Рис. 1.9.** Условные обозначения входных/выходных сигналов МК (окончание):

- и) интерфейс USB с двунаправленными выводами D+, D-;
- к) линии с квазиоткрытым стоком: «0» — выход с НИЗКИМ уровнем, «1» — выход с ВЫСОКИМ уровнем, «Z» — высокоимпедансный вход без резистора;
- л) аналогично **Рис. 1.9, к**, но с противофазными сигналами;
- м) линии «квазидвунаправленные»: «0» — выход с НИЗКИМ уровнем, «1» — выход с ВЫСОКИМ уровнем, «R» — вход с «pull-up» резистором  $R$ ;
- н) аналогично **Рис. 1.9, м**, но с противофазными сигналами и с активным ВЫСОКИМ уровнем.



**Рис. 1.10.** Условные обозначения сигналов управления, синхронизации, сброса:

- а) вход ИОН; б) выход ИОН; в) вход (XT1) и выход (XT2) генераторного узла;
- г) сброс сигналом НИЗКОГО уровня RES; д) сброс сигналом ВЫСОКОГО уровня RST.

Отличить «что есть что», помогают стенки вертикальных линий в условном графическом обозначении МК. Входные сигналы, как принято в электрических схемах, подводятся слева, значит вертикальная линия одна, причём находится она тоже слева (например, **Рис. 1.7, а**). Выходные сигналы по традиции рисуются с правой стороны, значит вертикальная линия размещается тоже справа (например, **Рис. 1.8, а**). Если в МК используются двунаправленные линии, то вертикальных линий будет две и условное обозначение МК превращается в классический прямоугольник.

На всех последующих схемах общий провод МК, т.е. цепь GND, рисуется внизу, питание  $V_{CC}$  вверху, входы слева, выходы справа. Двунаправленные выводы могут находиться как слева, так и справа. Питание  $AV_{CC}$  и общий провод AGND для экономии места на схемах не показываются, хотя считается, что если они требуются, то включены правильно.

### Ограничения и условности

- Транзисторы, диоды, ОУ в некритичных случаях будут унифицированными, например, КТ315, КД522, LM358, или полностью обезличенными, например,  $VTI$  (npn),  $VTI$  (pnp),  $VDI$  (Шоттки).
- В обозначение стабилитронов, реле, светодиодов, разрядников вводится цифровой параметр. Например,  $VDI$  (4V7) — это стабилитрон с напряжением стабилизации 4.7 В;  $KI$  (5V) — это реле с номинальным рабочим напряжением 5 В;  $HLI$  (1.8V) — это светодиод зелёного цвета, у которого прямая ветвь ВАХ начинается примерно с 1.8 В;  $HLI$  (кр-зел) — двухцветный светодиод с «красным» и «зелёным» излучателями;  $FVI$  (120V) — разрядник с пороговым напряжением 120 В.
- Моточные данные трансформаторов и катушек индуктивности, как правило, не приводятся. Их конструкция зависит от частоты сигнала, диапазона напряжения и тока. Коэффициент передачи трансформаторов указывается в скобках через дробь, например,  $TI$  (1/10). Это означает, что при подаче на первичную обмотку трансформатора переменного напряжения 1 В на вторичной обмотке будет напряжение 10 В. Тип провода для однообразия выбран ПЭВ.
- Интегральные стабилизаторы напряжения применяются из семейства 78Lxx, хотя их можно заменить любыми другими аналогичными.
- Нагрузка обозначается в виде резистора  $R_H$  без указания мощности, номинала и наличия реактивной составляющей. Эти величины уточняются в частном порядке при разработке конкретного устройства.
- Условные графические обозначения ЭРИ на схемах будут близкими к «гостовским», но в отдельных случаях с отступлениями, чтобы лучше разъяснить материал.
- Порядковая нумерация ЭРИ в схемах ведётся в стандартном порядке: сверху вниз, затем слева направо.
- В случае применения нескольких каналов с однотипными элементами, они будут обозначаться условным знаком «^», например,  $R^{\wedge}$ ,  $VT^{\wedge}$ . Количество каналов указывается буквой «n».
- В схемах с напряжением питания 1.5...5 В вводятся упрощённые надписи для параметров электролитических конденсаторов. В целях сокращения места номинальное напряжение у них указываться не будет, только ёмкость в микрофарадах. Дело в том, что современные конденсаторы имеют рабочее напряжение от 6.3 В и выше, т.е. все они годятся к применению. Малогабаритные «чипы» для поверхностного монтажа с напряжением 2.7...4 В не в счёт, это экзотика.

### Маркировка резисторов и конденсаторов

В настоящей книге принята следующая условная маркировка.

Конденсаторы ёмкостью до 9.9 пФ будут обозначаться в пикофарадах с разделительной десятичной точкой, например, «2.0 пФ» = 2 пФ; «2.2 пФ» = 2.2 пФ; «4.7 пФ» = 4.7 пФ.



Конденсаторы ёмкостью от 10 до 9999 пФ будут обозначаться в пикофарадах без десятичной точки и без надписи «пФ», например, «10» = 10 пФ; «68» = 68 пФ; «2200» = 2200 пФ.

Конденсаторы ёмкостью от 0.01 мкФ до 9999 мкФ будут обозначаться в микрофарадах с десятичной точкой без надписи «мкФ», например, «1800.0» = 1800 мкФ; «0.022» = 0.022 мкФ; «0.1» = 0.1 мкФ; «1.0» = 1 мкФ; «47.0» = 47 мкФ.

Конденсаторы ёмкостью от 0.01 Ф и более будут обозначаться в фарадах с десятичной точкой, например, «0.47 Ф» = 0.47 Ф; «0.1 Ф» = 0.1 Ф.

Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением до 999 Ом будут обозначаться в омах без надписи «Ом», например, «8.2» = 8.2 Ом; «560» = 560 Ом.

Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением от 1 до 999 кОм будут обозначаться в килоомах с добавлением буквы «к», например, «16к» = 16 кОм; «1.8к» = 1.8 кОм; «750к» = 750 кОм.

Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением от 1 МОм и более будут обозначаться в мегаомах с добавлением заглавной буквы «М», например, «1.1М» = 1.1 МОм; «3М» = 3 МОм.

Резисторы повышенной точности  $\pm 0.5\%$ ;  $\pm 1\%$ ;  $\pm 2\%$  безотносительно от сопротивления будут обозначаться с прибавлением к номиналу третьей значащей цифры, например, «10.0к» = 10.0 кОм; «3.62к» = 3.62 кОм; «0.10» = 0.1 Ом. Если три цифры уже имеются, то ориентироваться надо по числам, не входящим в ряд E24, например, «499к» = 499 кОм; «362» = 362 Ом.

### Прочие разъяснения

Как уже отмечалось, ссылки на первоисточники схем даются выборочно. Это не означает, что всё остальное автор книги придумал сам. Как правило, приводится собирательный образ определённого технического решения, используемого на практике разработчиками разной квалификации. Много схем заимствовано из даташитов, которые фирмы-изготовители в целях рекламы бесплатно выставляют на своих сайтах.

Проекты и публикации, из которых брались схемы, могут содержать невыявленные редакционные опечатки, неточности, а также изначальные ошибки и заблуждения разработчиков, вызванные отсутствием макетирования схем на практике. В простых и очевидных случаях ошибки исправлены, но... Иногда бывает очень сложно понять смысл технического решения, если отсутствует подробное описание принципа работы и алгоритма функционирования программы.

Пользоваться настоящим сборником электрических схем надо творчески, не заостряя внимание на мелких недочётах и неточностях. Человеческий фактор можно свести к минимуму, но избавиться от него насовсем нельзя. Ситуация напоминает ту, что сложилась в современном футболе — болельщики постоянно недовольны качеством судейства, но они же первые не хотят, чтобы вводились эффективные средства технического контроля.

Интернет нивелирует новизну идей и способствует мгновенному распространению информации. Для авторов это минус, для пользователей это плюс. С другой стороны, автор технических публикаций — это не пожизненное звание, приносящее постоянный доход. Правильно говорят, что сегодня ты автор, а завтра пользователь, и наоборот.

## ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УЗЛОВ ВЫВОДА МК

*К чему душа лежит, к тому и руки приложатся  
(Русская поговорка)*

### 2.1. Светодиодные индикаторы

#### 2.1.1. Одиночные светодиоды

Светодиоды или **СВЕТО**излучающие **ДИОДЫ** (в английском варианте LED — Light Emitting Diode) хорошо известны каждому электронщику. Это полупроводниковые приборы, преобразующие электрический ток в световое излучение. Их основные достоинства: высокий КПД, близкое к монохромному излучение, миниатюрность, механическая прочность, высокая надёжность, малое тепловыделение, до 10 лет наработки без выключения питания. Наконец, светодиоды являются низковольтными приборами, а стало быть, максимально электробезопасными.

Первые промышленные образцы светодиодов красного цвета появились в 1962 г. (фирма General Electric Corp.). В 1976 г. были разработаны светодиоды оранжевого, зелёного и жёлтого цвета свечения, а в 1993 г. появились первые полупроводниковые излучатели синего цвета (фирма Nichia Corporation). В любительских конструкциях чаще всего применяют «красные» и «зелёные» светодиоды, реже — «синие» и «белые».

Характерные значения КПД у стандартных светодиодов — от 1 до 10%. Для сравнения, КПД парового двигателя составляет 5...7%. У мощных современных светодиодов этот показатель достигает 12...35%.

В **Табл. 2.1** приведены параметры маломощных светодиодов с силой света не более 1000 мкд. Их особенностью является значительный технологический разброс вольт-амперной характеристики (ВАХ). Как следствие, для конкретного светодиода прямой ток  $I_{\text{пр}}$  и прямое напряжение  $V_{\text{пр}}$  известны лишь ориентировочно. При расчётах на это обычно закрывают глаза, поскольку в большинстве случаев от светодиода требуется констатация факта «включен» или «выключен».

**Таблица 2.1.** Параметры маломощных светодиодов общего применения

Цветовой оттенок	Длина волны [нм]	Материал	$V_{\text{пр}}$ [В] при $I_{\text{пр}}$ 0...20 мА	Точка начала подъёма ВАХ
Красный	630...640	GaAlAs, AlInGaP	1.6...2.1	Условно «1.6 В»
Жёлтый, оранжевый	570...600	GaAsP, GaP	1.7...2.8	Условно «1.7 В»
Зелёный	515...535	GaAsP, GaP, GaN	1.8...2.8	Условно «1.8 В»
Синий	460...475	InGaN	3.2...4.2	Условно «3.5 В»
Белый	—	InGaN	3.2...4.2	Условно «3.5 В»

Условные напряжения 1.6; 1.7; 1.8; 3.5 В характеризуют начальную точку подъёма кривой ВАХ, соответственно, у «красного», «жёлтого», «зелёного» и «синего»/«белого» индикаторов. Именно эти цифры в дальнейшем будут указываться в электрических схемах возле обозначения светодиодов. Однако реальное рабочее напряжение  $V_{\text{пр}}$  примерно на 0.1...0.4 В больше начального, что зависит от протекающего тока (Рис. 2.1).

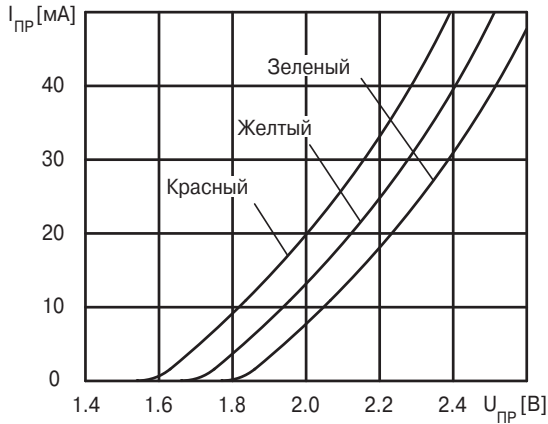


Рис. 2.1. Типовые ВАХ маломощных светодиодов фирмы Kingbright.

### Важные замечания.

1. Не следует устанавливать постоянный прямой ток  $I_{\text{пр}}$  через светодиод, близкий к максимальному пределу, указанному в даташите. Обычно это 20 мА. Длительная работа с таким током снижает долговременную надёжность. Для получения приемлемой яркости свечения достаточно задать ток 4...10 мА.

2. Светодиоды допускают импульсный режим работы, при котором прямой ток  $I_{\text{пр}}$  можно увеличить в 3...6 раз до 60...120 мА с сохранением среднего тока за период не более 20...25 мА. При расчётах надо не забывать, что с повышением тока возрастает и напряжение. Например, для «зелёного» светодиода при токе 15 мА напряжение  $V_{\text{пр}} = 2.1$  В, а при токе 75 мА  $V_{\text{пр}} = 2.7$  В.

3. Красный цвет индикации не гарантирует того, что светодиод относится к группе с условным началом кривой ВАХ 1.6 В (хотя в большинстве случаев именно так оно и есть). «Красный» светодиод может иметь «зелёную» ВАХ с точкой подъёма 1.8 В. Всё зависит от химического состава, из которого изготавливается излучатель, а этот параметр при покупке на радиорынке априори неизвестен. Аналогичная ситуация и с мощными «зелёными» светодиодами, которые могут иметь «синюю» ВАХ с точкой подъёма 3.5 В.

4. В некоторых даташитах на светодиоды указывается максимально допустимое обратное напряжение  $V_{\text{обр}} = 2...5$  В. Но это всего лишь тестовое напряжение, при котором на заводе-изготовителе проверяется обратный ток утечки, равный нескольким десяткам микроампер.

5. Светодиод выходит из строя не от высокого обратного напряжения, а от превышения рассеиваемой на нём мощности. В исследованиях [2-1] показано, что светодиоды зелёного и красного цвета имеют «стабилитронную» ВАХ с достаточ-

но крутым изгибом. При обратном напряжении 12...35 В происходит обратимый пробой  $p-n$ -перехода. Если ток при пробое не превышает 2...4 мА, то мощность рассеяния остаётся в регламентируемых даташитом рамках 75...150 мВт.

Практический вывод — при напряжении питания МК в пределах 3..5 В можно не опасаться «перепутать» полярность при запаивании «красно-оранжево-жёлто-зелёных» индикаторов. Все они гарантированно останутся целыми.

«Синие» и «белые» светодиоды в этом отношении гораздо более нежные. Они боятся электростатических потенциалов, которые могут накапливаться на одежде и на теле человека. Обратное напряжение для них не должно превышать 5 В и обращаться с ними надо примерно так, как с полевыми транзисторами.

На Рис. 2.2, а...ж показаны схемы подключения одиночных светодиодов к одной линии МК. На Рис. 2.3, а...м показаны схемы подключения одиночных светодиодов к нескольким линиям МК.

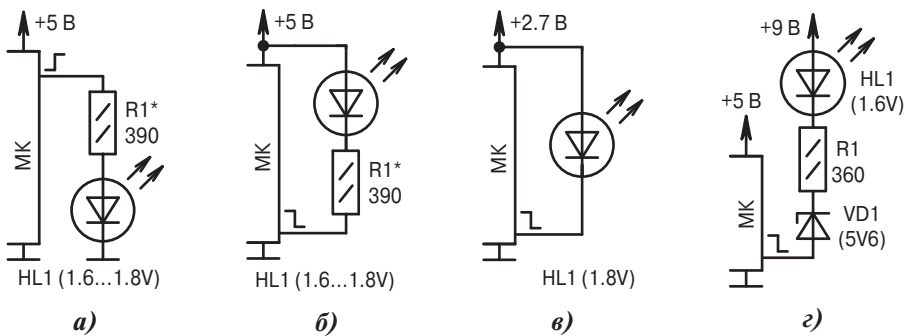


Рис. 2.2. Схемы подключения одиночных светодиодов к одной линии МК (начало):

а) стандартная схема ограничения тока через светодиод  $HL1$  при помощи резистора  $R1$ . Его сопротивление рассчитывается по формуле  $R_1[\text{кОм}] = (V_{\text{IH}}[\text{В}] - V_{\text{пр}}[\text{В}]) / I_{\text{пр}}[\text{мА}]$ , где  $V_{\text{IH}}$  — напряжение ВЫСОКОГО уровня из графиков даташита МК;  $V_{\text{пр}}$  — прямое напряжение на светодиоде  $HL1$  при токе  $I_{\text{пр}}$  (эти параметры зависят от типа индикатора и разброса его ВАХ). Для ориентира, у идеализированного МК  $V_{\text{IH}} = 4.75$  В при токе нагрузки 5...10 мА и  $V_{\text{IH}} = 4.5$  В при токе нагрузки 20 мА;

б) аналогично Рис. 2.2, а, но с инверсией сигнала на выходе МК и с другой расчётной формулой  $R_1[\text{кОм}] = (V_{\text{CC}}[\text{В}] - V_{\text{OL}}[\text{В}] - V_{\text{пр}}[\text{В}]) / I_{\text{пр}}[\text{мА}]$ , где  $V_{\text{CC}}$  — напряжение питания;  $V_{\text{OL}}$  — напряжение НИЗКОГО уровня из графиков даташита МК;  $V_{\text{пр}}$  — прямое напряжение на светодиоде  $HL1$  при токе  $I_{\text{пр}}$ . Для ориентира, у идеализированного МК  $V_{\text{OL}} = 0.15...0.3$  В при токе нагрузки 5...10 мА и  $V_{\text{OL}} = 0.4...0.5$  В при токе нагрузки 20 мА. Если выходы МК имеют симметричную нагрузочную способность, то между схемами на Рис. 2.2, а и на Рис. 2.2, б разницы нет;

в) прямое подключение светодиода  $HL1$  к линии МК возможно, но только при низком напряжении питания. Рабочая точка  $V_{\text{пр}} = 2$  В при  $I_{\text{пр}} = 15$  мА. Однако в каждом конкретном случае надо сверяться с графиками нагрузочной способности линий МК согласно даташиту;

г) подключение светодиода  $HL1$  к источнику повышенного напряжения +9 В через гасящий стабилитрон  $VD1$ . Проверочный расчёт — сумма напряжения питания МК (5 В) и напряжения стабилизации  $VD1$  (5.6 В) должна быть больше, чем разность между повышенным напряжением (9 В) и падением напряжения на светодиоде  $HL1$  (1.7...1.9 В); ☹

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)