

РЮМИК С.М.

1000 и одна микроконтроллерная схема

выпуск 4

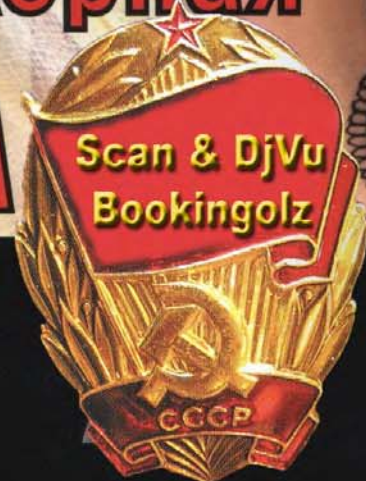
СЕРИЯ

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ СИСТЕМЫ

**1000 и одна
микроконтроллерная
СХЕМА**

ВЫПУСК 4

РЮМИК С. М.



С. М. РЮМИК

**1000 И ОДНА
МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ
СХЕМА**

ВЫПУСК 4



**Москва
ДМК-Пресс
2017**

УДК 621.316.544.1 + 004.312.46

ББК 31.264

P97

Рюмик С. М.

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

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

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

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

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

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

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

УДК 621.316 544 1 + 004 312 46

ББК 31 264

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

ISBN 978-5-97060-565-3

© Рюмик, С. М., 2017

© Оформление, Издание, ДМК Пресс, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

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

2.2. Механические датчики	40
2.2.1. Энкодеры	40
2.2.2. Пользовательские кнопки	40
2.2.3. Многокнопочное управление	43
2.2.4. Движковые переключатели	45
2.2.5. Механические джойстики	45
2.3. Резистивные датчики	48
2.4. Акустические датчики.	49
2.5. Оптические датчики.	51
2.6. Ёмкостные датчики	54
2.7. Температурные датчики.	55
2.7.1. Терморезисторы	55
2.7.2. Интегральные аналоговые термодатчики	56
2.7.3. Интегральные цифровые термодатчики	57
2.8. Погодные датчики	58
2.8.1. Датчики атмосферного давления	58
2.8.2. Датчики влажности	59
2.9. Датчики пространственной ориентации	60
2.10. Прочие схемы узлов ввода	64
Список использованных источников и литературы к главе 2	66

Глава 3. Схемы узлов управления и тактирования

3.1. Формирователи сигналов начального сброса	67
3.1.1. Узлы внешнего сброса МК	67
3.1.2. Начальный сброс МК от тактовой кнопки	69
3.1.3. Сброс МК от супервизоров	71
3.2. Внешние источники опорного напряжения.	73
3.3. Тактирование от внешних генераторов.	77
3.4. Кварцевая стабилизация тактовой частоты	79
3.5. Узлы подсистемы программирования	82
Список использованных источников и литературы к главе 3	85

Глава 4. Схемы подачи питания

4.1. Стабилизаторы напряжения 1.2 В.	86
4.2. Стабилизаторы напряжения 1.8 В.	87
4.3. Стабилизаторы напряжения 2.5 В.	88
4.4. Стабилизаторы напряжения 3.3 В.	89
4.5. Стабилизаторы напряжения 3.6 В.	93
4.6. Стабилизаторы напряжения 4.3 В.	94
4.7. Стабилизаторы напряжения 5 В.	94
4.8. Регулируемое питание	96
4.9. Понижающие DC/DC-преобразователи.	100
4.10. Инвертирующие DC/DC-преобразователи	103
4.11. Повышающие DC/DC-преобразователи	104
4.12. Фильтрация аналогового питания	105
4.13. Фильтрация цифрового питания.	108

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

Глава 5. Схемы узлов вывода

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

Глава 6. Схемы комбинированных узлов ввода/вывода

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

6.4. Двухнаправленные конвертеры уровней	169
6.5. Опрос клавиатуры	172
6.6. Прочие схемы узлов ввода/вывода	173
Список использованных источников и литературы к главе 6	175

Глава 7. Схемы интерфейсных узлов

7.1. COM-порт	176
7.2. Интерфейс RS-485.	179
7.3. Интерфейс RS-422.	181
7.4. Интерфейс CAN	182
7.5. Интерфейс «1-Wire»	186
7.6. Интерфейс I ² C	187
7.7. Интерфейс S/PDIF	188
7.8. Интерфейс Ethernet	189
7.9. Интерфейс JTAG.	190
7.10. Интерфейс SWD	192
7.11. Интерфейс LIN.	193
7.12. Часы реального времени RTC	194
7.13. Интерфейс IrDA	196
7.14. Интерфейс SPI	198
7.15. SIM-карты.	199
7.16. Схемотехника внешних подключений	200
7.17. Прочие интерфейсы	201
Список использованных источников и литературы к главе 7	207

Глава 8. Интерфейс USB

8.1. Общие замечания	208
8.2. Конвертеры USB-UART	208
8.3. Информационные цепи $D+$, $D-$	210
8.4. Силовая цепь V_{Bus}	210
8.5. Резисторы выбора режима	212
8.6. Защитные элементы USB.	215
8.7. Экран USB-разъёма	218
8.8. Режимы «Device», «Host», «OTG»	220
8.9. Питание в режимах «Host»/«OTG»	224
Список использованных источников и литературы к главе 8	227

Глава 9. Внешняя память

9.1. Микросхемы EEPROM	228
9.2. Микросхемы последовательной Flash-памяти	229
9.3. Микросхемы параллельной Flash-памяти	232
9.4. Микросхемы последовательно-параллельной Flash-памяти	235
9.5. Микросхемы ОЗУ	237
9.6. Микросхемы SDRAM.	239
9.7. Карты памяти microSD	242
9.8. Прочие схемы устройств памяти	246
Список использованных источников и литературы к главе 9	247

Глава 10. Измерительные схемы	
10.1. Особенности измерений	248
10.2. Измерение напряжения в отладочных платах	249
10.3. Измерение тока в отладочных платах	250
Список использованных источников и литературы к главе 10	255
Глава 11. Схемы с нюансами	
11.1. Нюансы в тракте питания	256
11.2. Нюансы в схемах применения ЭРИ	258
11.3. Нюансы в цепях входа и выхода	260
Список использованных источников и литературы к главе 11	262
Глава 12. Схемы, которые можно улучшить	
12.1. Неточности в схемах	263
12.2. Улучшения в тракте питания	264
12.3. Улучшения в канале USB	265
12.4. Улучшения в цепях ввода/вывода сигналов	267
Список использованных источников и литературы к главе 12	271
Глава 13. Конструктивные особенности	
13.1. Принципы конструирования РЭА.	272
13.2. «Золотое сечение»	273
13.3. Характеристики печатных плат	274
13.4. Спецификация элементов	275
13.5. Отсутствующие ЭРИ.	278
13.6. Прямоугольные платы.	279
13.7. Фигурные платы	281
13.8. Крепёжные отверстия	282
13.9. Контактные отверстия.	283
13.10. Физически разделяемые платы	284
13.11. Разъёмы на платах.	285
13.12. Угловое подключение шилдов	287
13.13. Макетная область	288
13.14. Топология контактных площадок	289
13.15. Сенсорные кнопки	292
13.16. Сенсорные слайдеры	293
13.17. Встроенные дисплеи	294
13.18. Элементы индикации	295
13.19. Групповое расположение кнопок.	295
13.20. Универсальная разводка посадочных мест	296
13.21. Элементы на краю платы	297
13.22. Двухвыводные SMD-элементы	299
13.23. Маркировка SMD-диодов	299
13.24. Маркировка танталовых SMD-конденсаторов.	300
13.25. Маркировка столбиковых SMD-конденсаторов.	300
13.26. Маркировка микросхем в SOIC-корпусе	301
13.27. Маркировка микросхем в TQFP-корпусе	302

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

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 ответственности 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].

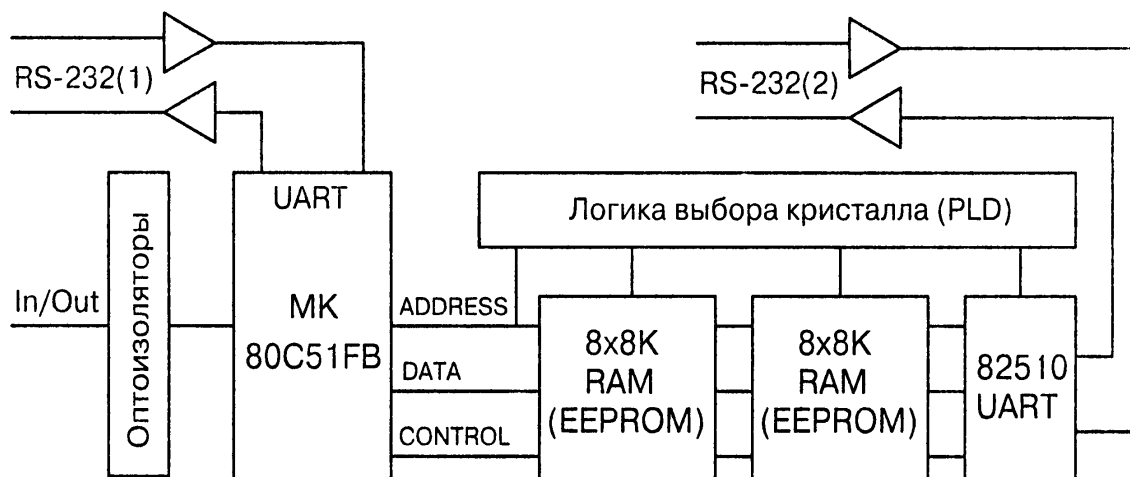


Рис. 1.1. Структурная схема отладочной платы «Evaluation Board EV80C51FB»

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.

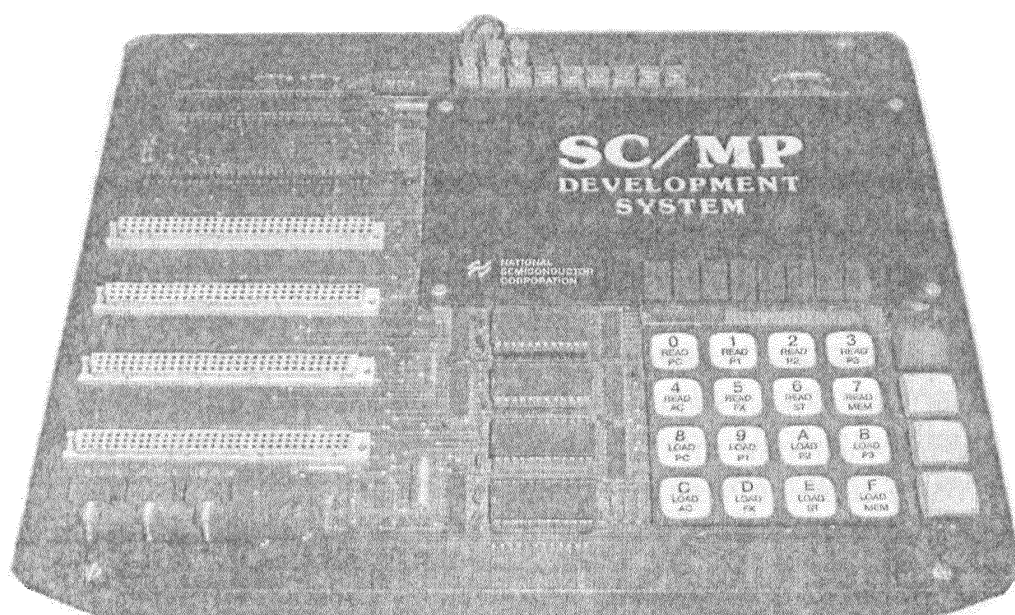


Рис. 1.2. Внешний вид стартового набора «SC/MP ISP-8P/301N»

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».

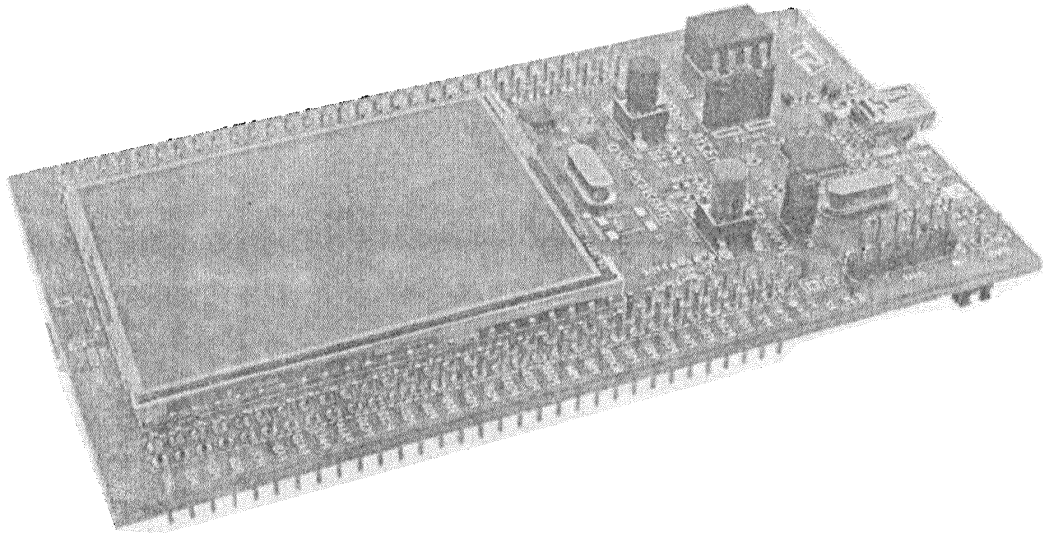


Рис. 1.3. Внешний вид отладочной платы «STM32F469I-DISCO» [1-8]

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).

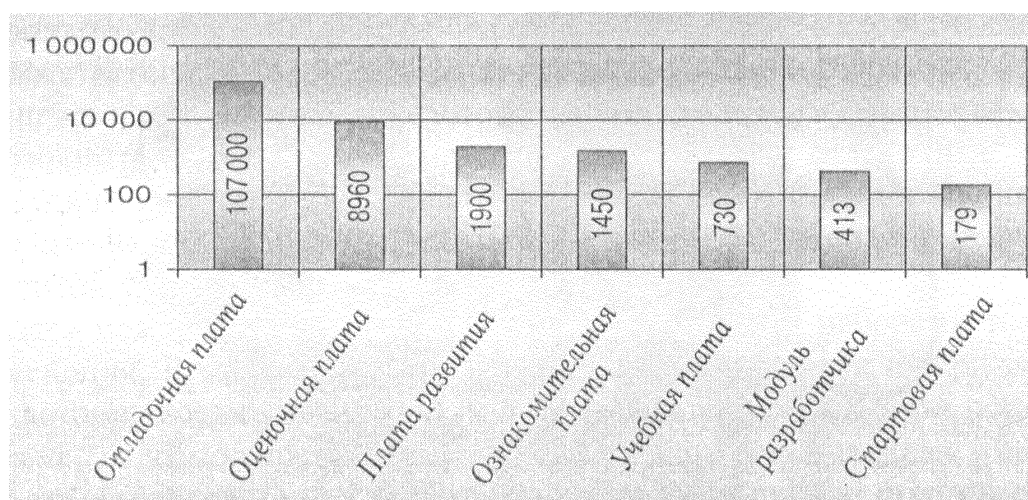


Рис. 1.5. Частота употребления русскоязычных названий для «Board» в Интернете

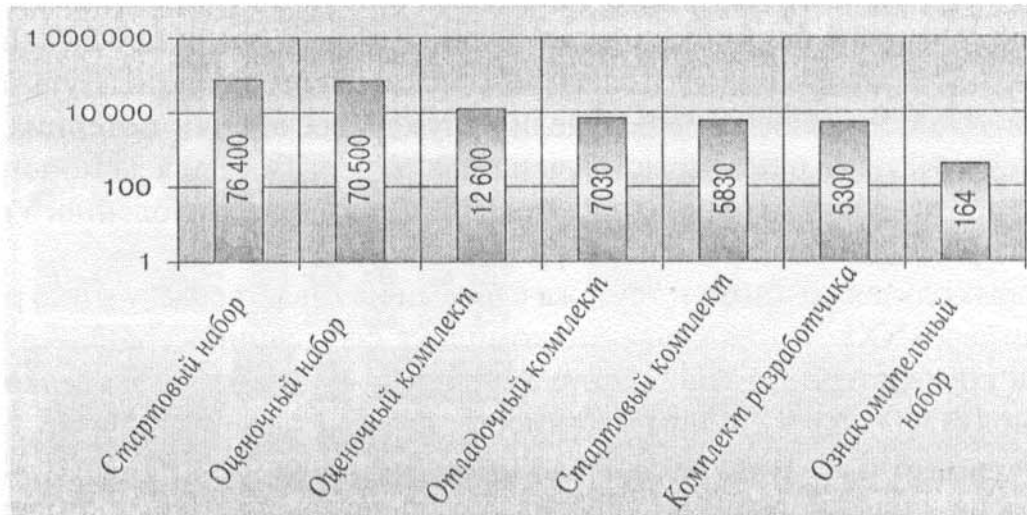


Рис. 1.6. Частота употребления русскоязычных названий для «Kit» в Интернете

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	Распространенные 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).

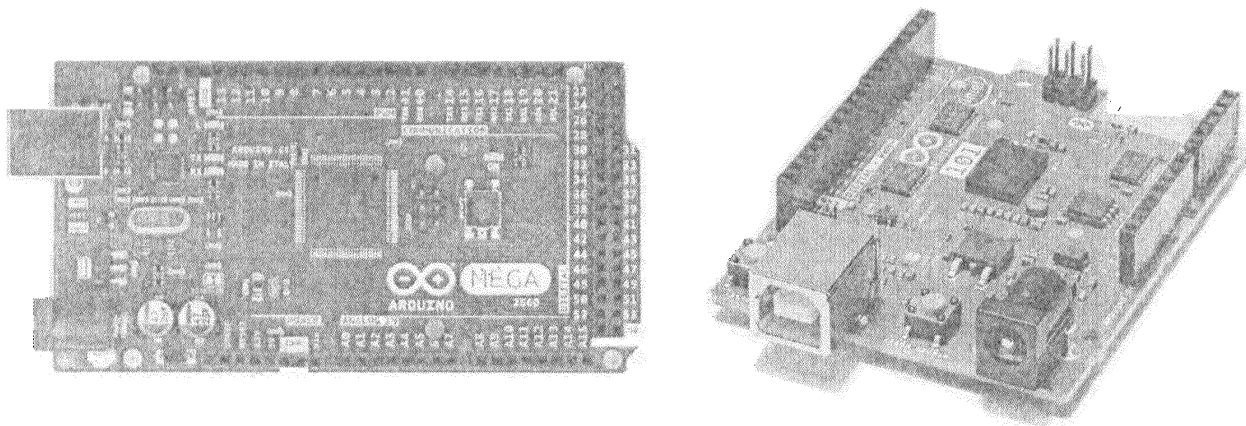


Рис. 1.7. Внешний вид отладочных плат семейства Arduino [1-12]

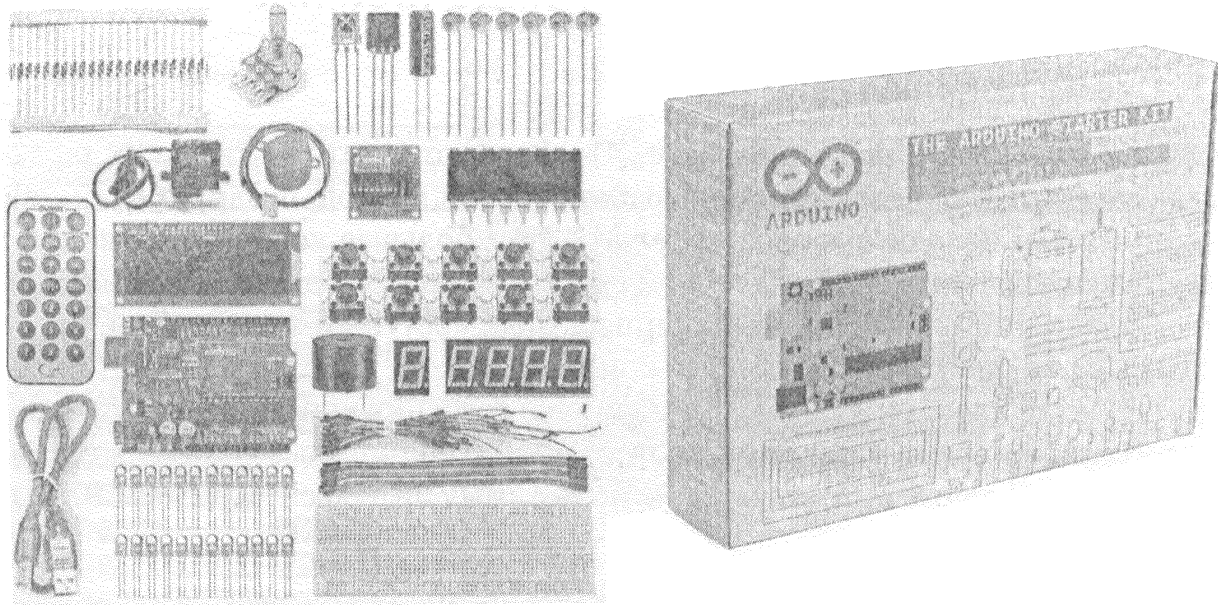


Рис. 1.8. Внешний вид стартовых наборов семейства Arduino [1-13]

Отладочные платы начального уровня наиболее простые и дешёвые. Их с удовольствием применяют те, для кого электроника является хобби, т. е. развлечением не без пользы. Радиолюбители постарше используют платы начального уровня для повышения квалификации, когда хочется идти в ногу с техническим прогрессом и следить за модными новинками. Для радиолюбителей помоложе это хороший повод начать первое знакомство с МК и не набить при этом много шишек.

Учебные отладочные платы, как следует из названия, предназначены для обучения и совершенствования знаний. По функционалу они превосходят платы начального уровня в части доступных интерфейсов, внешних разъёмов, встроённых узлов индикации. Это логично, поскольку пользователь в процессе учёбы должен опробовать в работе все доступные функции: управление аналоговыми и цифровыми входами/выходами, каналами АЦП, ЦАП, ШИМ, ЖКИ, трактами аудио и видео. Кроме того, учебная плата помогает освоить технологию программирования МК и научиться управлять устройством с терминала компьютера, благо, что для работы применяются, как правило, бесплатные программы.

Профессиональные отладочные платы входят в состав фирменных комплектов разработки. При работе с ними используется дорогостоящее лицензионное ПО, даются официальные гарантии, обеспечивается качественная техническая поддержка по принципу 24/7. На таких отладочных платах — всего и по максимуму.

Если выбирать между платой и набором, то первый из них дешевле и проще, а второй — дороже и многофункциональнее. В любительской практике обычно обходятся покупкой простых плат, дополняя их затем блоком питания, кабелями и прочими аксессуарами. Получается, что рачительный радиолюбитель из платы сам в состоянии сделать полноценный набор под свои потребности.

Если финансовая сторона дела не является главной заботой в жизни, то выгоднее приобрести сразу готовый стартовый набор, особенно в профессиональном или полупрофессиональном исполнении. В этом случае все проблемы с настройкой оборудования, доставкой дополнительных элементов и легальным использованием ПО отойдут на второй план.

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).

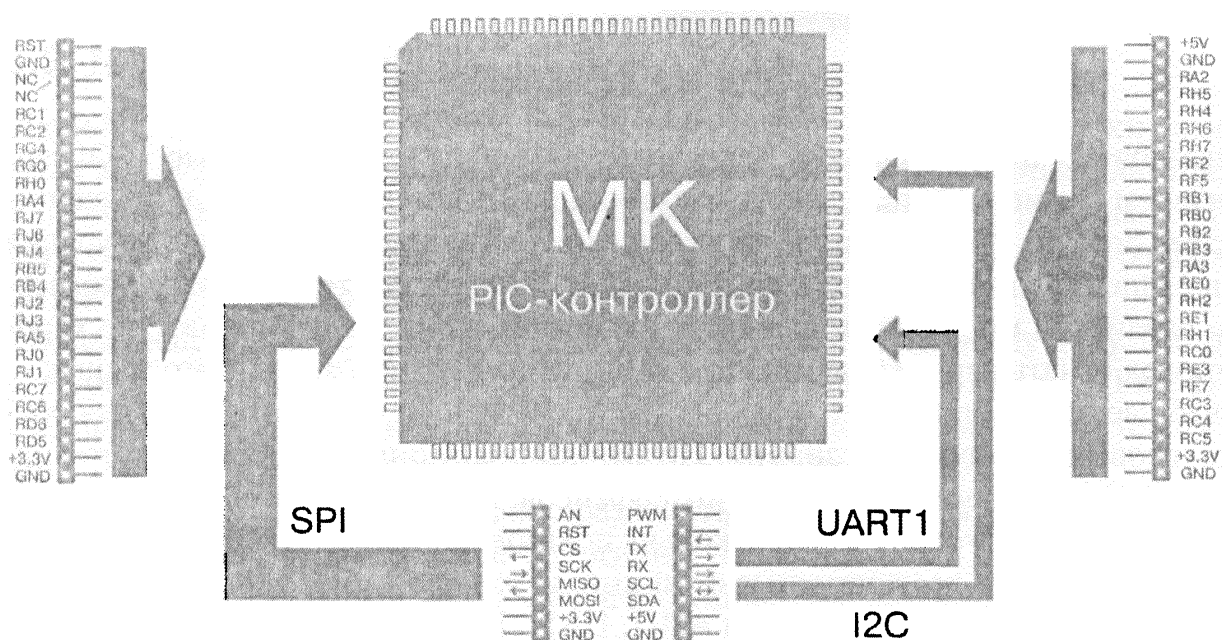


Рис. 1.9. Система внешних подключений к отладочной плате с PIC-контроллером

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 I²C.

Режимы работы переключаются внутренними регистрами МК. Дополнительно к ним могут задействоваться джамперные переключки 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).

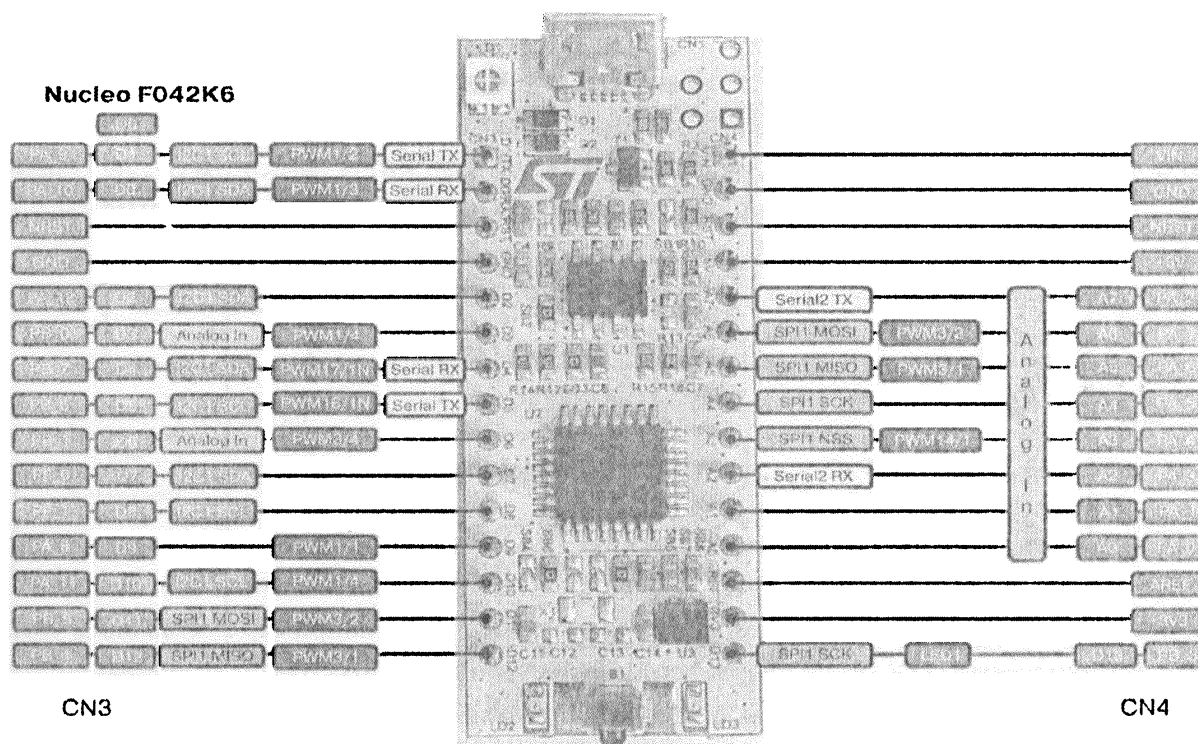


Рис. 1.10. Система внешних подключений платы STM Nucleo F042K6

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).

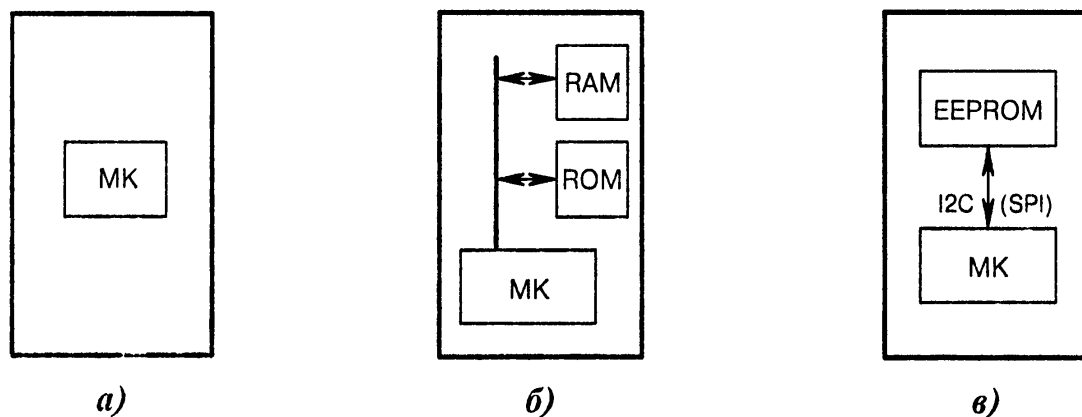


Рис. 1.11. Структурные схемы подсистемы памяти:

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 усечённый 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 I²C. Внешняя EEPROM необходима для хранения редко изменяемых параметров, констант, паролей, а также начальных настроек, которые не теряются при выключении питания

1.4.4. Подсистема программирования

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

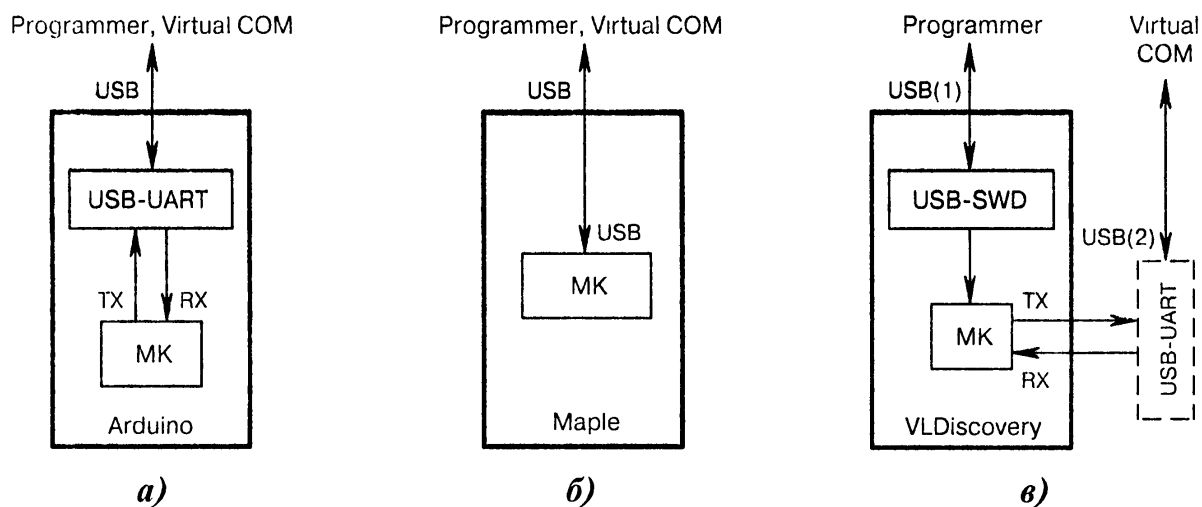


Рис. 1.12. Структурные схемы подсистемы программирования.

а) в МК зашит начальный загрузчик бутлоудер, поэтому программирование (Programmer) и работа (Virtual COM) производится через один общий канал и один конвертер 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.

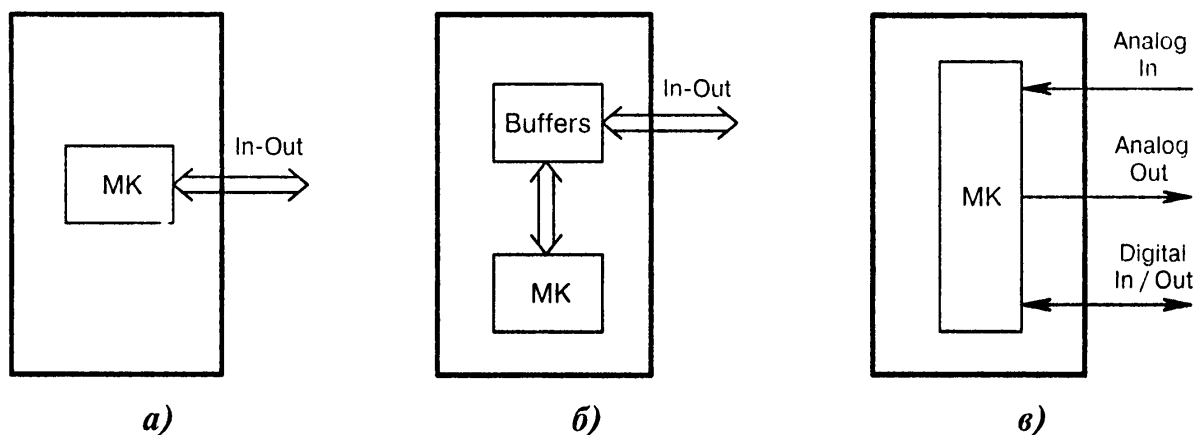


Рис. 1.13. Структурные схемы подсистемы ввода/вывода:

- 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).

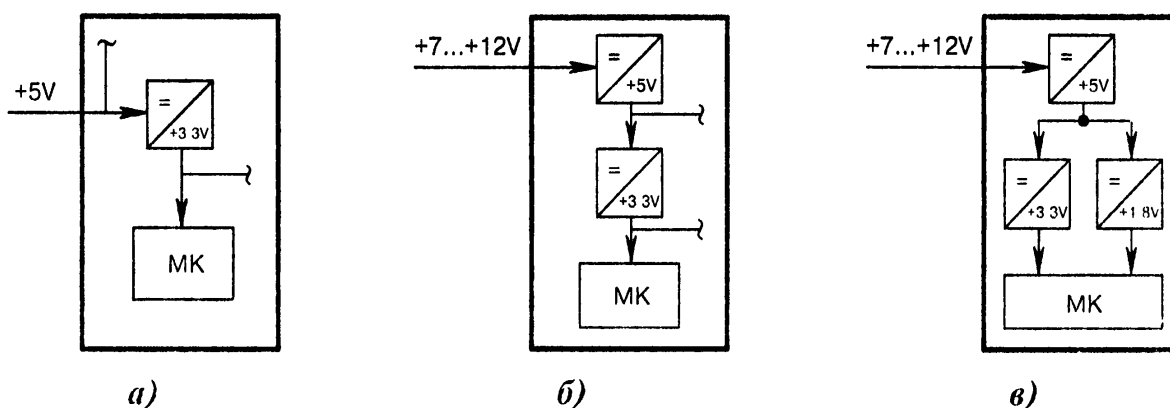


Рис. 1.14. Структурные схемы подсистемы питания:

- а) питание подаётся от «сетевой вилки» +5 В, ток 0.5...2 А. Понижающий стабилизатор на напряжение 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).

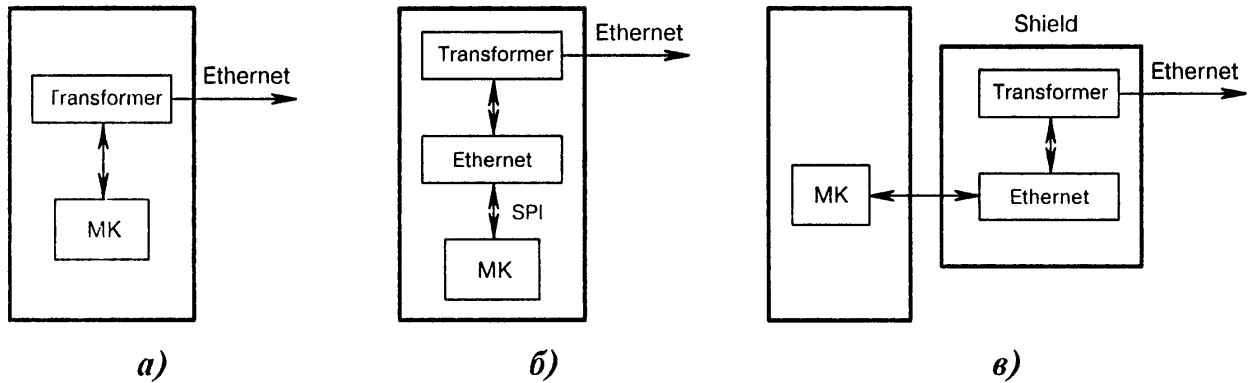


Рис. 1.15. Структурные схемы подсистемы интерфейсов на примере Ethernet:

- 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.

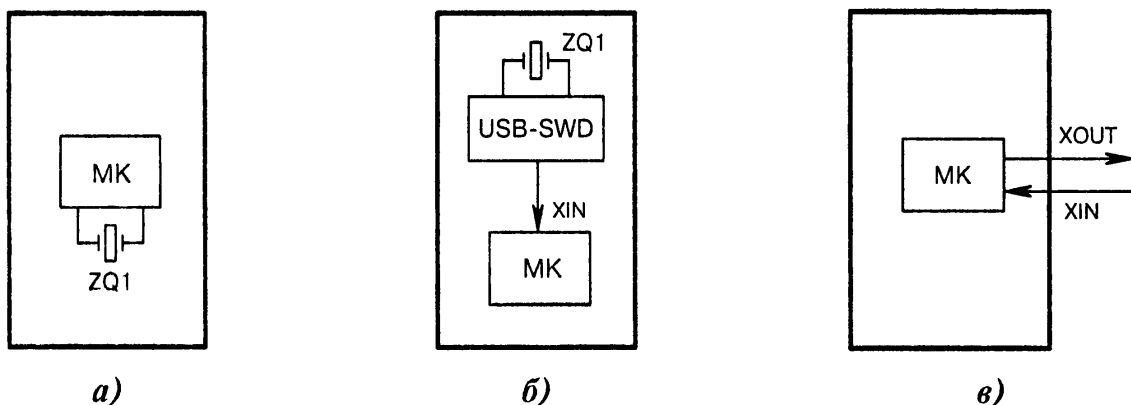


Рис. 1.16. Структурные схемы подсистемы тактирования:

- 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).

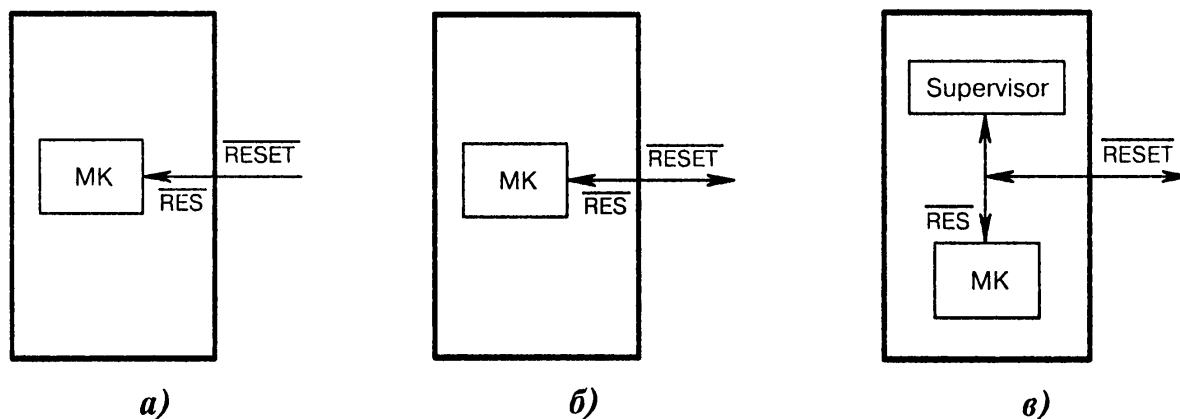


Рис. 1.17. Структурные схемы подсистемы сброса:

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

б) двусторонняя 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
Разъем POWER	KLD-SMT2-0202-A (2.0 мм)	Kycon
	KLD-SMT2-0202-B (2.5 мм)	Kycon
Разъем 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 X7R, SMD, типоразмер 0402
<i>C1 X7R 0 1UF</i>	Конденсатор <i>C1</i> , керамический, SMD, ёмкость 0.1 мкФ, температурная стабильность X7R
<i>C1_100N_0603_X7R_K_50</i>	Конденсатор <i>C1</i> , керамический, ёмкость 0.1 мкФ, температурная стабильность X7R, 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 LC-фильтр
<i>+3V3_STLINK</i>	Напряжение +3.3 В, подаваемое на узел STLINK
<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 («N», «n» — Negative)
<i>PG_3V3</i>	Сигнал «Питание +3.3 В в норме» («PG» — 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).

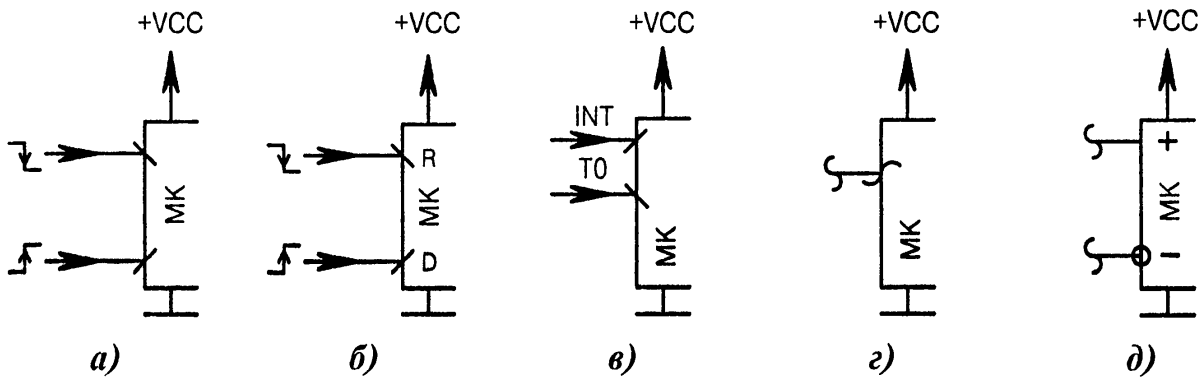


Рис. 1.18. Условные обозначения входных сигналов МК:

- 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;
- л) аналоговые входы (положительный и отрицательный) внутреннего компаратора

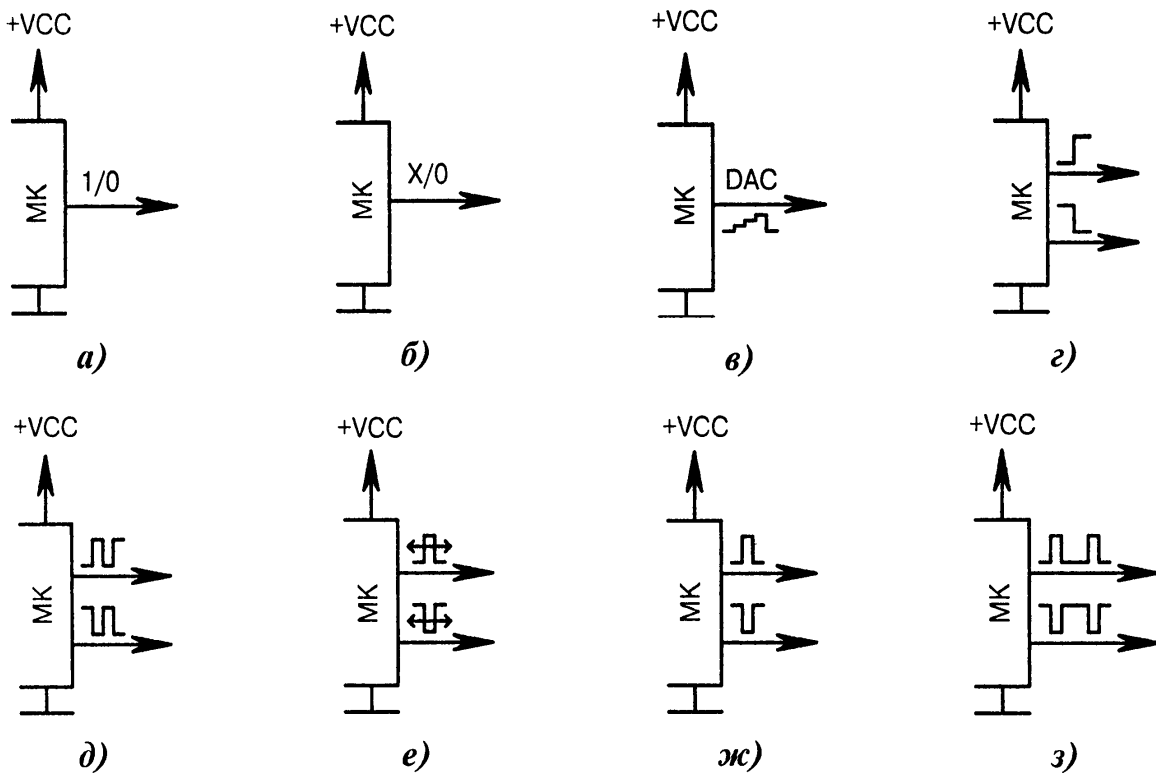
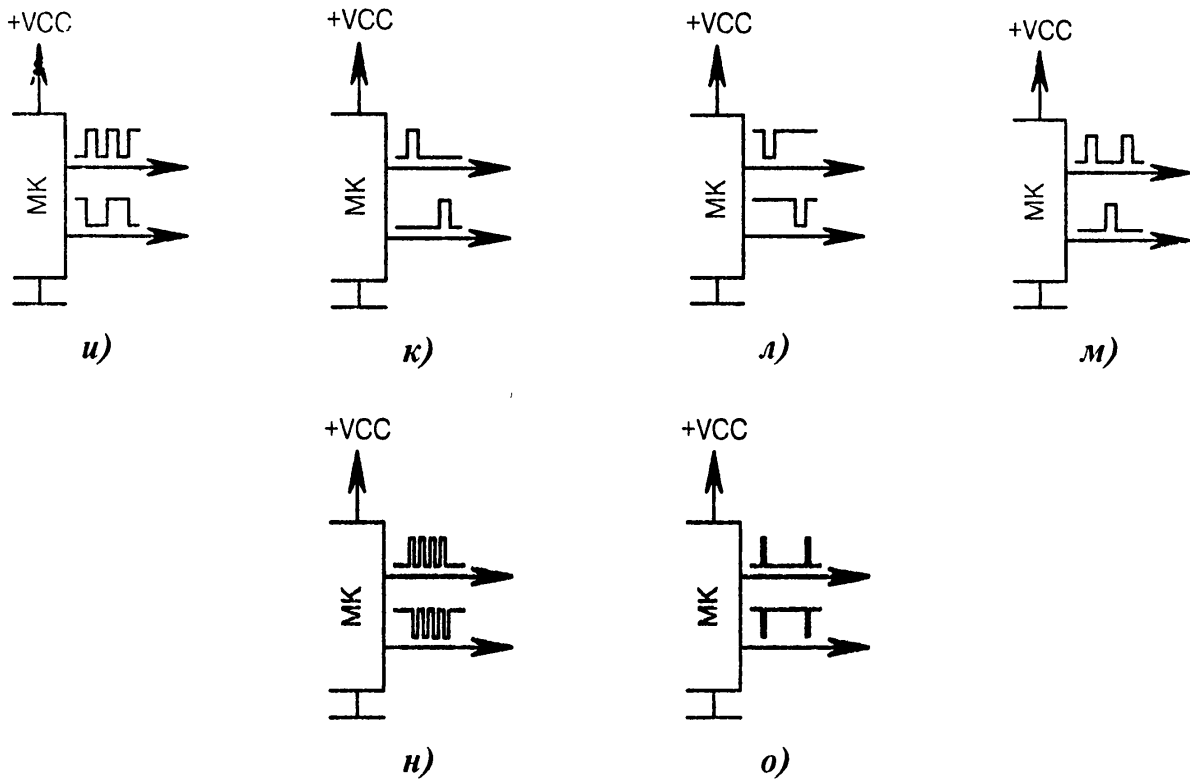


Рис. 1.19. Условные обозначения выходных сигналов МК (начало):

- 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 («Х» — 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 нуль» 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

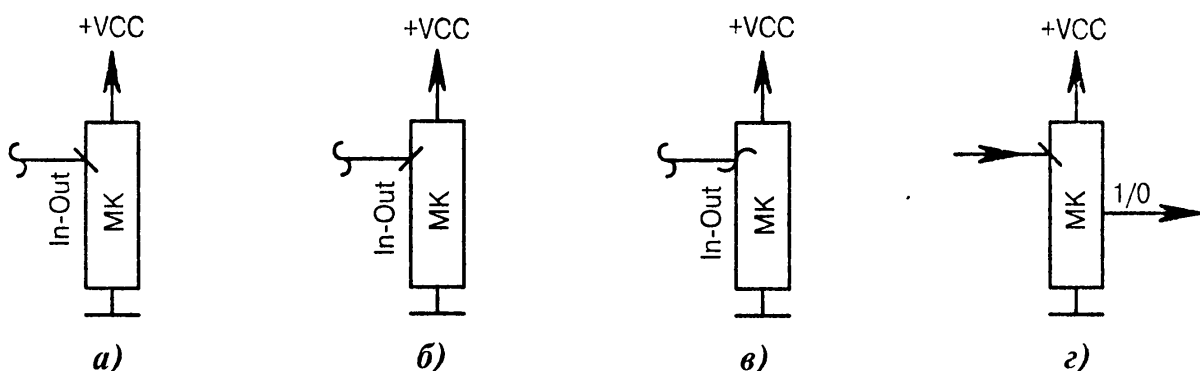
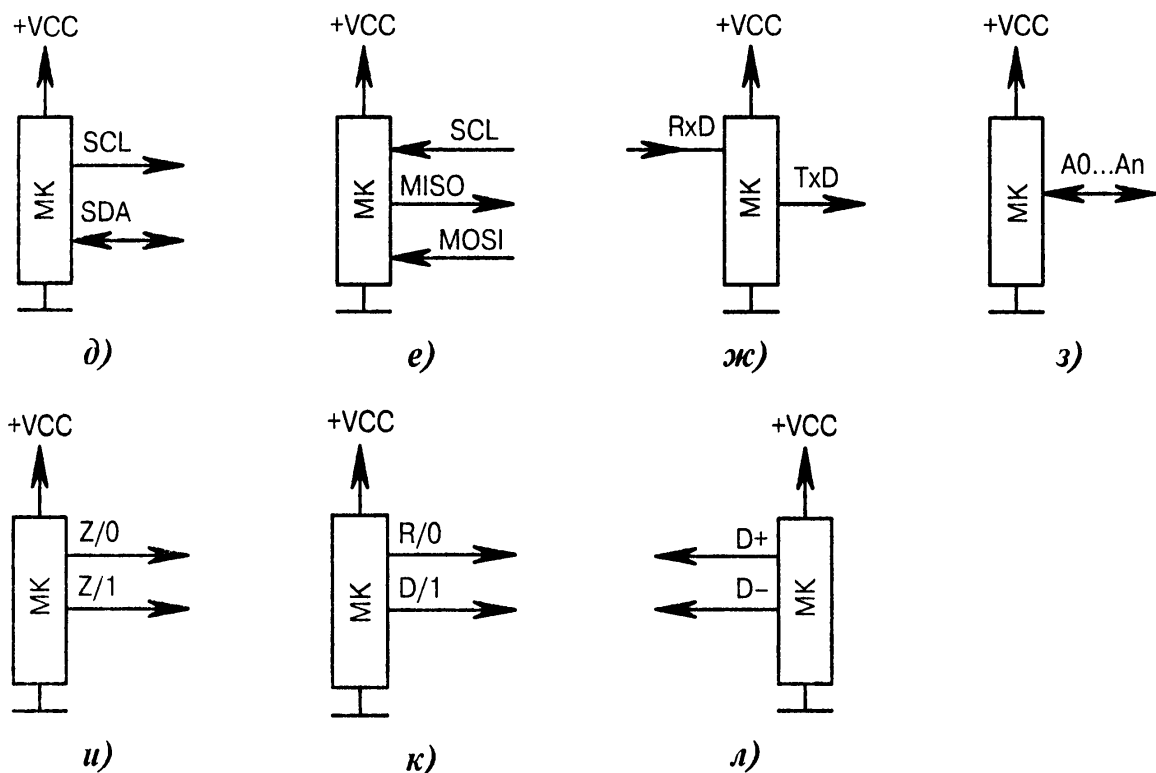


Рис. 1.20. Условные обозначения входных/выходных сигналов МК (начало):

- 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 I²C;
- е) трехпроводной 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

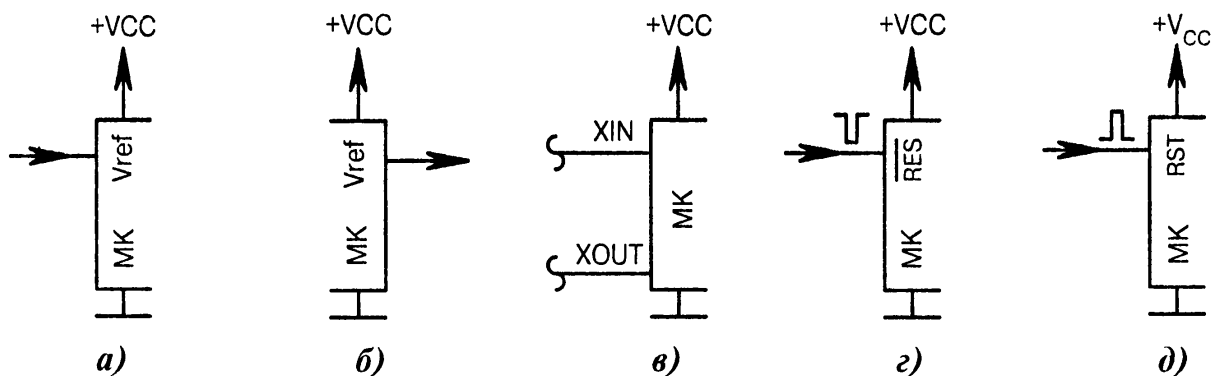


Рис. 1.21. Условные обозначения сигналов управления, тактирования, сброса:

- 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 *V_{AХ}* 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 *R_w* 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 «к», 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 «М», 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: C1 = 10.0; DA1 = L7805CV, C1 = 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 (англ.). — 14.04.2017.
- 1-3. IMSAI 8048 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: 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 (англ.). — 14.04.2017.
- 1-6. EV80C51FB Evaluation Board [Электронный ресурс] / Intel Corporation, 1988. — Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B9rh9tVI0J5mZD10MmJmZDgtYjg2Zi00YTJjLWJINDgtYTg2ZDU3NTZINzI4/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 (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. Персбаскин, А. В. Маркировка электронных компонентов. Определитель / А. Персбаскин, 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.

СХЕМЫ УЗЛОВ ВВОДА СИГНАЛОВ

*То, что мы видим, зависит от того, куда мы смотрим.
(Л. М. Леонов)*

2.1. Приём аналоговых и цифровых сигналов

2.1.1. Непосредственная связь

Самый простой способ подачи сигналов на МК — это их непосредственное подключение к линиям портов. Поскольку МК является в первую очередь цифровым прибором, то и рассматриваться сначала будут цифровые сигналы.

Под цифровыми понимаются двухуровневые сигналы с амплитудой, примерно равной напряжению питания МК. Линии портов для повышения надёжности защищают токоограничивающими резисторами, а также диодами, стабилитронами, сапсессорами (Рис. 2.1, а...в).

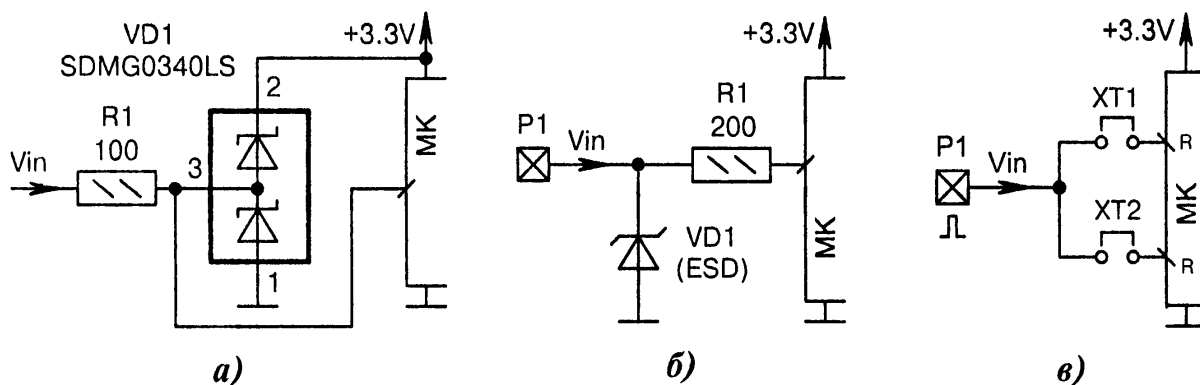


Рис. 2.1. Схемы непосредственной подачи цифровых сигналов на МК:

а) сборка диодов Шоттки $VD1$ защищает входы МК от всплесков напряжения в положительную и отрицательную стороны. Ток ограничивается резистором $R1$. Обратная сторона медали заключается в шунтировании линии порта собственной ёмкостью диодов, что снижает максимально допустимую частоту входных сигналов. Сборку диодов можно заменить двумя обычными маломощными диодами Шоттки, правда, в ущерб миниатюрности конструкции. Варианты: $VD1 = BAT54S$, $R1 = 200$;

б) защита входа МК сапсессором $VD1$ и токоограничивающим резистором $R1$;

в) с целью сокращения числа внешних линий используется одна контактная площадка $P1$ на два входа МК. Джемперами $XT1$, $XT2$ можно выбрать требуемый способ подачи сигнала: на верхний вход, на нижний вход, на оба входа сразу, ни на один из входов. Внутренние «pull-up» резисторы МК исключают вариант «висящих» входов, повышая тем самым помехоустойчивость

2.1.2. Подача аналоговых сигналов

Аналоговые сигналы, как правило, подаются на входы АЦП МК. Здесь важно предварительно отфильтровать помехи. В простейшем случае для этого применяются одно- или многозвенные ФНЧ на RC -цепочках (Рис. 2.2, а...ж).

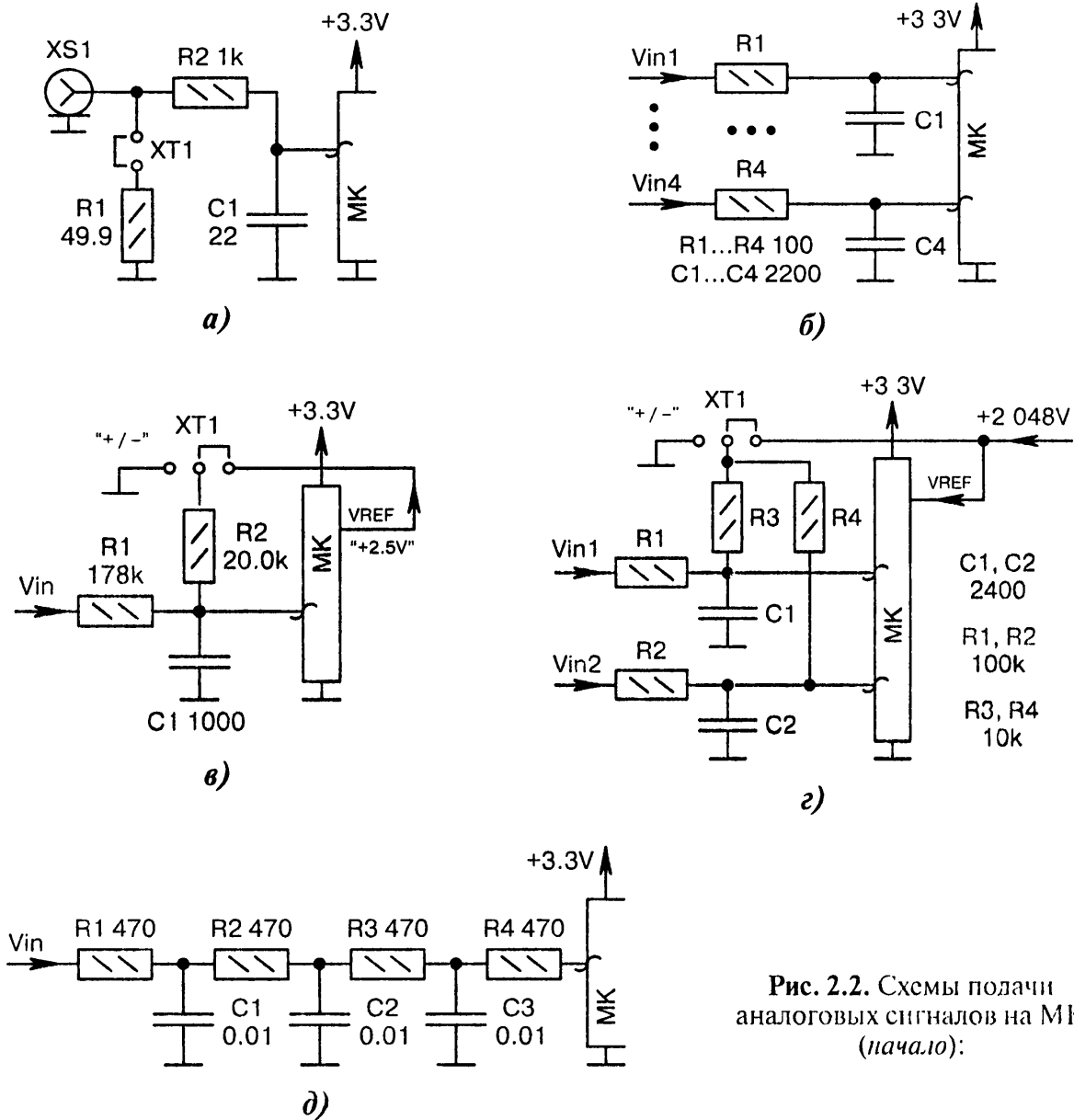


Рис. 2.2. Схемы подачи аналоговых сигналов на МК (начало):

а) $XS1$ — это байонетный ВЧ-разъём. Дампер $XT1$ включает или отключает согласующий 50-омный резистор $R1$. Резистор $R2$ входит в состав ФНЧ, также он ограничивает ток в МК;

б) четырёхканальный симметричный приём аналоговых сигналов с RC -фильтрацией помех на входе. Варианты: $R1...R4 = 220$, $C1...C4 = 47$;

в) резисторы $R1$, $R2$ снижают входное напряжение в 10 раз с учётом сопротивления входа АЦП. Дампером $XT1$ выбираются сигналы положительной (переключатель влево) или отрицательной (переключатель вправо) полярностей. Напряжение $VREF$ стабилизирует рабочую точку АЦП;

г) аналогично Рис. 2.2, в, но для измерения разности напряжений между входами $Vin1$, $Vin2$. Напряжение $VREF$ на МК и на резисторы $R3$, $R4$ поступает от внешнего источника;

д) трёхзвенный ФНЧ с частотой среза 6.5 кГц. Фильтр, строго говоря, четырёхзвенный, учитывая резистор $R4$ и ёмкость входа МК. Варианты: $R1...R4$ — сборка резисторов, ⊖

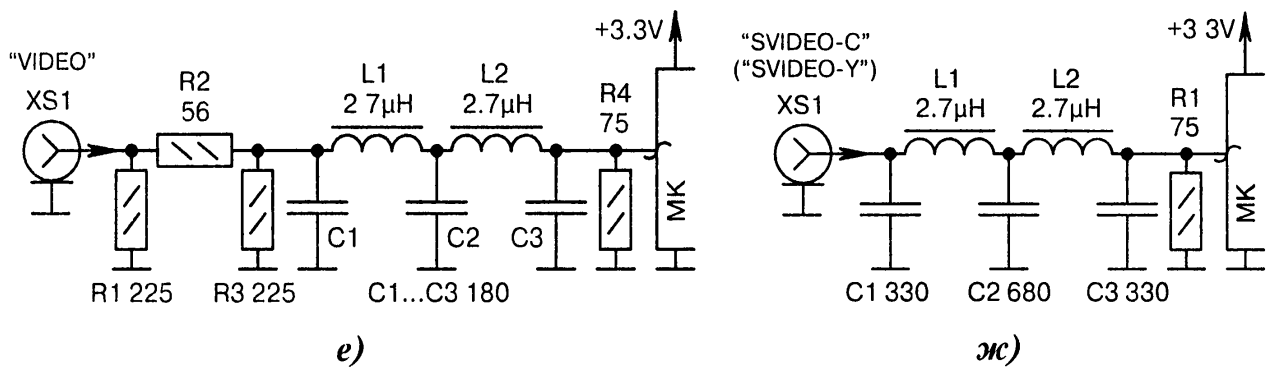


Рис. 2.2. Схемы подачи аналоговых сигналов на МК (окончание):

е) прием телевизионного сигнала *CVBS* (смесь синхроимпульсов и видеосигнала) с амплитудой 0...1 В. Входное сопротивление со стороны разъёма *X1* составляет ровно 75 Ом, ввиду последовательно-параллельного соединения резисторов *R1...R4*. Двухзвенный *LC*-фильтр устраняет ВЧ-гармоники. Если быстродействие АЦП МК не позволяет полностью оцифровать сигнал, то можно выделять из него фронты синхроимпульсов или измерять амплитуду;

ж) аналогично Рис. 2.2, е, но для сигнала *S-Video*, который имеет две составляющие: яркость (*Y*) и цветность (*C*). Варианты: установить конденсатор 0.1 мкФ последовательно между верхним выводом резистора *R1* и входом АЦП МК

2.1.3. Транзисторные формирователи

На Рис. 2.3, а, б показаны схемы, в которых используются биполярные транзисторы, выполняющие функцию входного ключа. Они защищают МК от всплесков напряжения любой полярности и от повреждения статическим электричеством.

При работе с аналоговыми сигналами буферные транзисторы служат усилителями или усилителями-ограничителями, формирующими «прямоугольники».

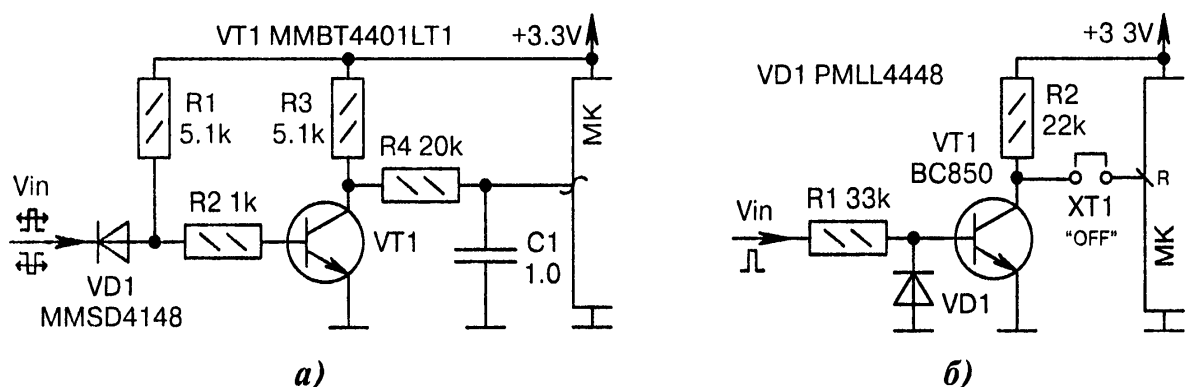


Рис. 2.3. Схемы подачи сигналов через транзисторные формирователи:

а) на вход устройства поступает сигнал *Vin* с изменяющимися полярностью, уровнем и скважностью. Транзистор *VT1* открывается при отрицательной амплитуде, а фильтр на элементах *R4*, *C1* выделяет постоянную составляющую, которая несёт информацию о частоте и (или) скважности входных импульсов. Напряжение измеряется через канал АЦП МК,

б) сигнал *Vin* может быть цифровым или аналоговым. В последнем случае отрицательное напряжение будет отсекается диодом *VD1*. Дампер *XT1* позволяет аппаратно отключить входной сигнал, что полезно при тестировании работоспособности устройства

2.1.4. Буферные повторители сигналов на ОУ

На Рис. 2.4, а...д показаны схемы буферных повторителей с единичным коэффициентом передачи входных сигналов. При этом ОУ в одних случаях включается со стопроцентной обратной связью, а в других случаях — как масштабирующий усилитель с частотной коррекцией.

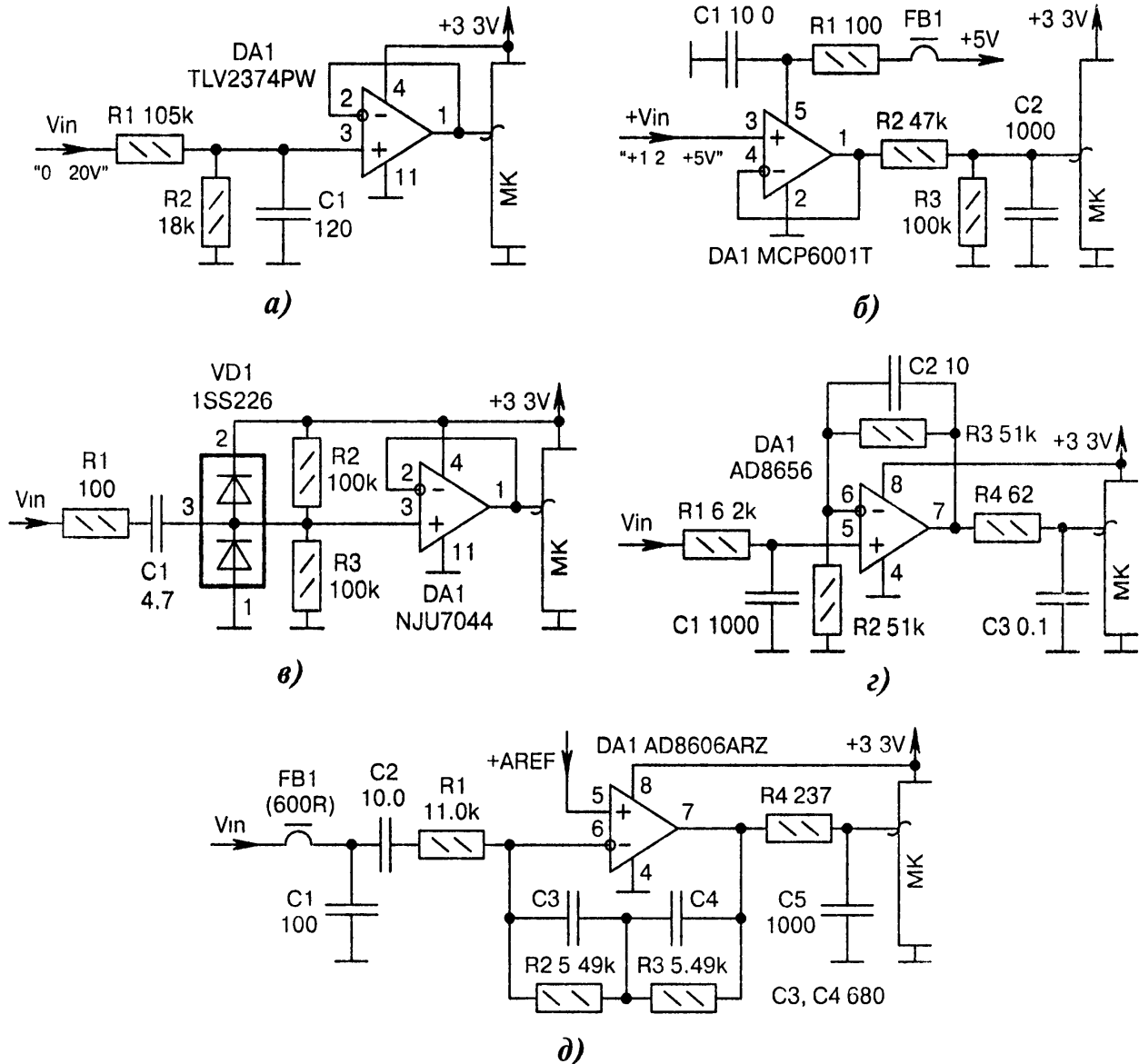


Рис. 2.4. Схемы буферных повторителей сигналов на ОУ:

а) входная часть «логгера» аналоговых сигналов, который фиксирует амплитуду 0.. 20 В и переводит её в цифровую форму. Резисторы $R1$, $R2$ должны быть высокоточные, например $\pm 0.1\%$,

б) ОУ $DA1$ имеет высокое входное сопротивление и единичный коэффициент усиления. Резисторы $R2$, $R3$ входят в делитель напряжения. Особенность — разное питание $DA1$ и МК;

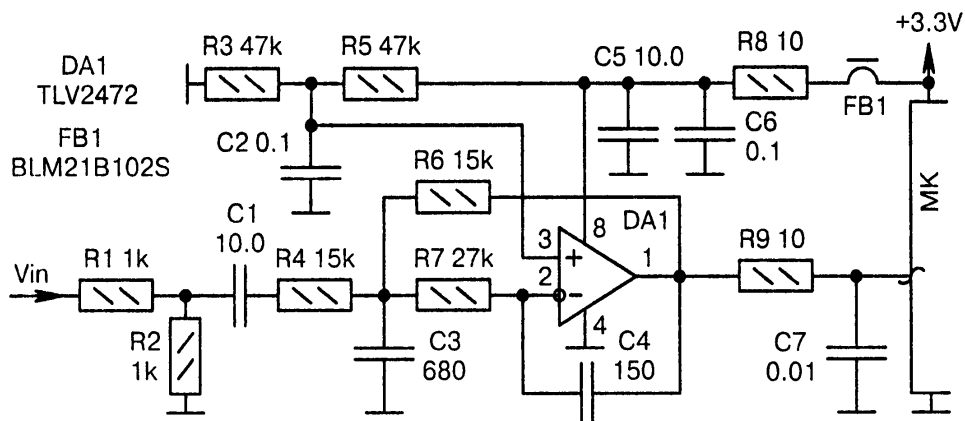
в) приём аудиосигналов через повторитель напряжения на ОУ $DA1$. Вторая половина ОУ может использоваться для второго канала (режим стерео);

г) масштабирующий ОУ $DA1$ с двумя пассивными ФНЧ $R1$, $C1$ и $R4$, $C3$. Конденсатор $C2$ устраняет самовозбуждение на высоких частотах. Резистором $R2$ регулируется усиление;

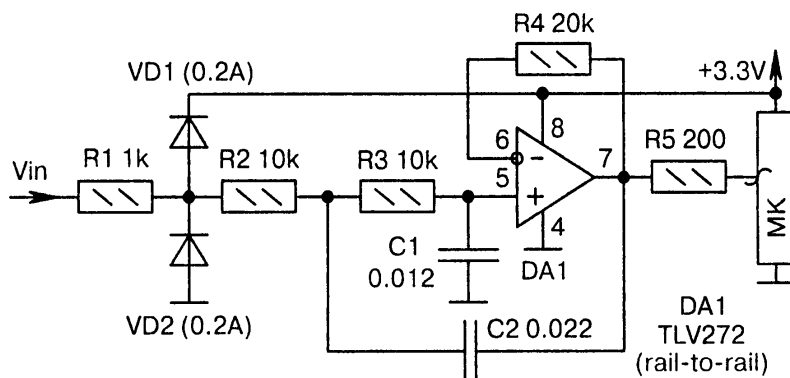
д) тракт приёма аудиосигналов. Особенность — в цепи обратной связи ОУ $DA1$ имеются две RC-цепочки. Напряжение $+AREF$ должно быть стабильным и близким к половине питания

2.1.5. Активные фильтры на ОУ

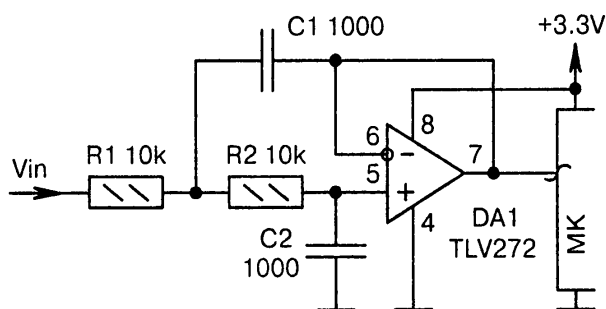
Простые RC - и LC -фильтры подходят для большинства задач по устранению помех в канале АЦП. Но иногда важно иметь фильтры с более плоской характеристикой в полосе пропускания и более крутыми склонами в полосе заграждения. Вот тут-то и пригодятся активные фильтры на ОУ [2-1]. В отладочных платах чаще всего применяются ФНЧ с двухпетлевой обратной связью (Рис. 2.5, а...в).



а)



б)



в)

Рис. 2.5. Схемы активных фильтров на ОУ:

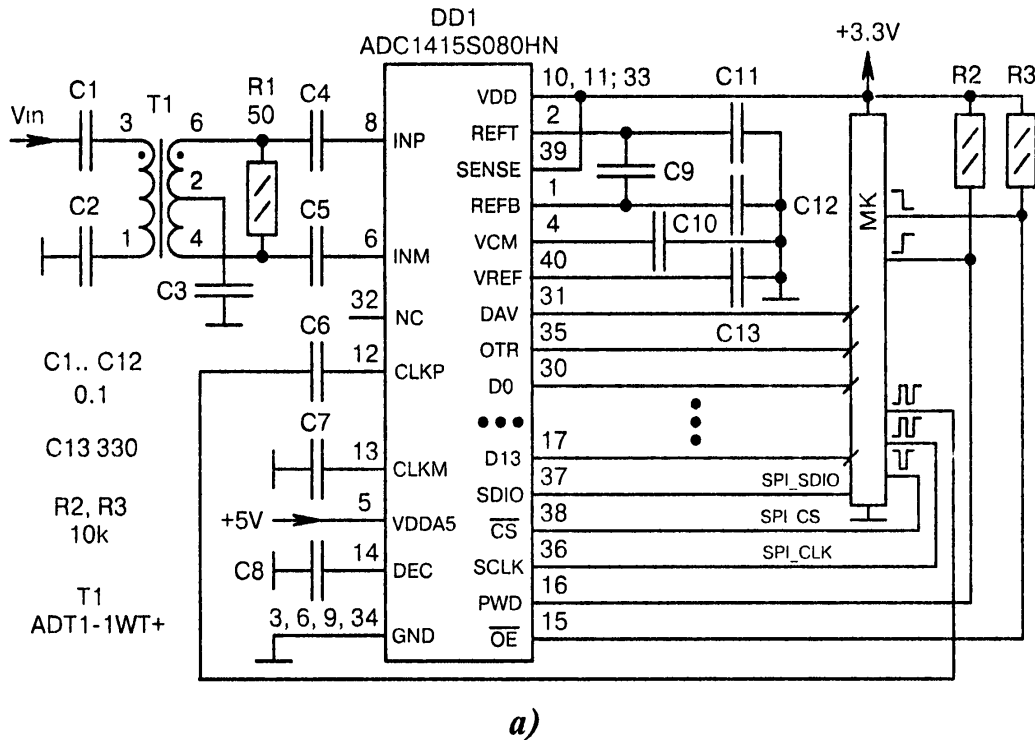
а) приём аудиосигналов через двухзвенный активный фильтр на ОУ *DA1*. Резисторы *R3*, *R5* создают половинную «подпорку» напряжения на положительном входе ОУ;

б) применение активного фильтра для сглаживания формы входного сигнала *Vin*. Диоды *VD1*, *VD2* обычные кремниевые (а не Шоттки), поскольку защищается вход ОУ, а не МК;

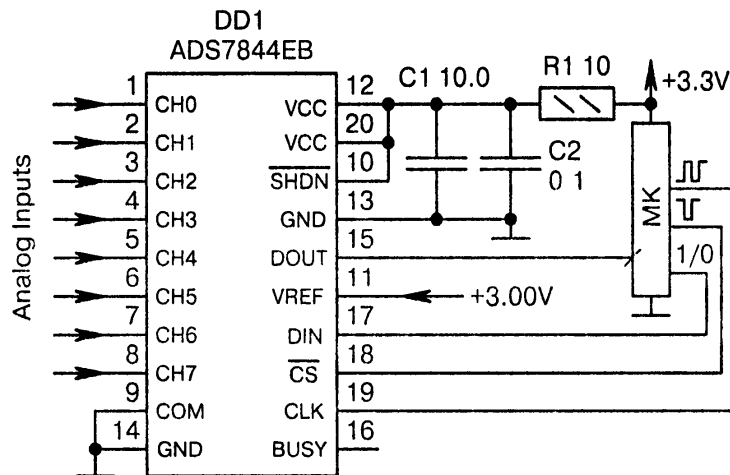
в) аналогично Рис. 2.5, б, но с более простой схематехникой входных и выходных цепей

2.1.6. Подключение внешних АЦП

Внутренние АЦП становятся стандартом «де-факто» во всех современных МК. Однако бывают случаи, когда общего количества каналов АЦП не хватает или их параметры слишком низкие для решения конкретной задачи. В таких случаях на помощь приходят микросхемы внешних АЦП (Рис. 2.6, а, б).



а)



б)

Рис. 2.6. Схемы подключения внешних АЦП:

а) *DD1* — это одноканальный 14-битный АЦП, принимающий сигналы амплитудой 1.. 2 В через трансформатор *T1* и выдающий информацию по 14 линиям *D0...D13* в МК. Частота дискретизации (максимум 80 МГц) определяется сигналом, подаваемым на вход *CLKP* *DD1*. Установка параметров ведётся через интерфейс SPI. Симметрирующий SMD-трансформатор *T1* должен иметь идентичные параметры двух половинок по амплитуде и фазе в полосе частот 1...400 МГц;

б) *DD1* — это 8-канальный 12-битный АЦП, точность $\pm 1\%$, частота дискретизации 200 кГц, ток потребления не более 650 мкА

2.2. Механические датчики

2.2.1. Энкодеры

Энкодер представляет собой конструктивный аналог переменного резистора, но с бесконечно вращающейся ручкой. Интересно отметить, что энкодеры в отладочных платах подключаются к портам МК не напрямую, а через буферные элементы (Рис. 2.7, а, б). Это повышает помехоустойчивость и надёжность.

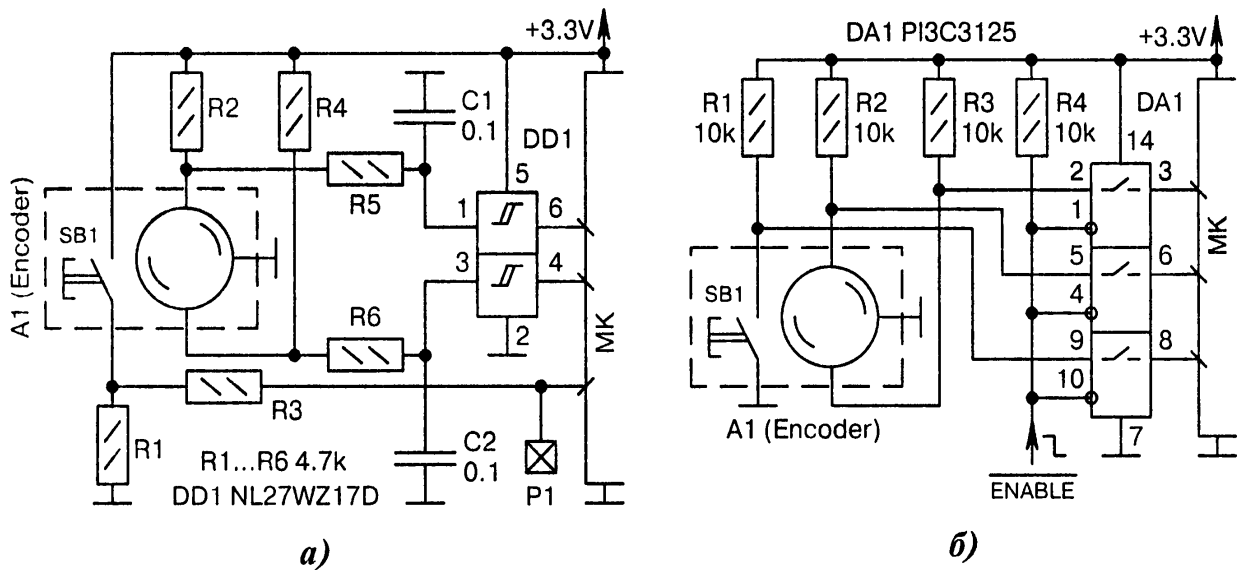


Рис. 2.7. Схемы подключения энкодеров к МК:

а) резисторы $R1$, $R2$, $R4$ ограничивают ток через контакты энкодера $A1$. Элементы $R5$, $R6$, $C1$, $C2$, $DD1$ снижают помехи. Высокоомный резистор $R3$ позволяет использовать нижнюю линию МК не только для кнопки энкодера, но и для ввода/вывода сигналов через контакт $P1$;

б) энкодер $A1$ подключается к МК через сборку ключей $DA1$, содержащих полевые транзисторы. Сигналом \overline{ENABLE} можно в целях диагностики полностью отключить энкодер от МК

2.2.2. Пользовательские кнопки

Почти на всех отладочных платах имеется одна или несколько пользовательских кнопок. Они специально предназначены для нажатия по усмотрению пользователя (отсюда и название). Нажатием на кнопку производят смену логических уровней ВЫСОКИЙ/НИЗКИЙ на одной из свободных линий МК.

Пользовательские кнопки часто называют «тактовыми». Конструктивно они представляют собой механизм с нажимным толкателем, который замыкает электрическую цепь. Тактовые кнопки бывают с фиксацией и без фиксации, с подсветкой и без подсветки, с двумя и с четырьмя контактами, с вертикальной и с угловой установкой на печатную плату.

При замыкании и размыкании контактов кнопки между её пластинами возникают микроискры. Они служат источником помех «дребезга» контактов. Для устранения помех используют программные (Рис. 2.8, а...е) или программно-аппаратные способы (Рис. 2.9, а...м).

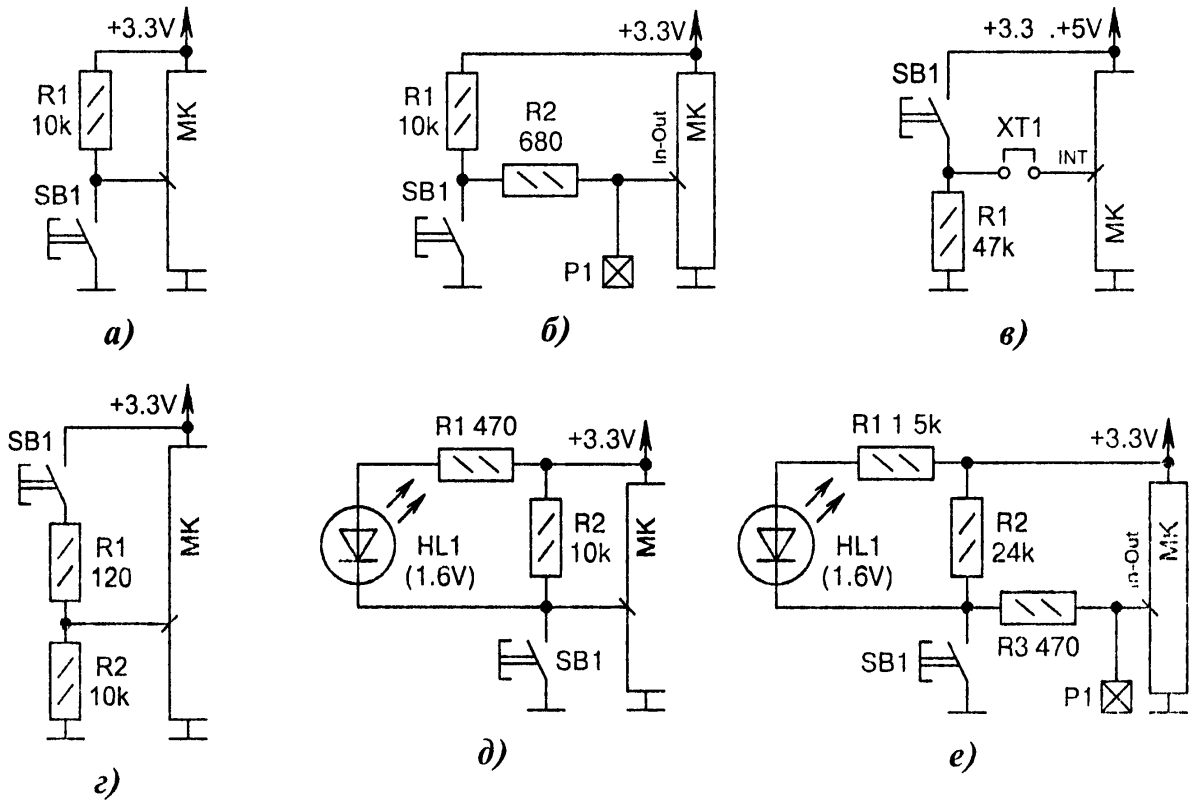


Рис. 2.8. Схемы подключения тактовых кнопок к МК (программная обработка):

- а) простейшая схема подключения кнопки *SB1* к МК. Варианты: $R1 = 1k$; $R1 = 2.2k$;
- б) токоограничивающий резистор $R2$ позволяет использовать контактную площадку $P1$ как на ввод, так и на вывод сигналов МК безотносительно от того, нажата кнопка *SB1* или нет;
- в) подключение кнопки *SB1* к питанию имеет смысл, если проверяется вход прерывания *INT*, срабатывающий по переднему фронту импульса. Дампер *XT1* физически отключает кнопку *SB1* от МК. Это может потребоваться при отладке программы, чтобы случайно не замкнуть на питание линию порта в режиме выхода с НИЗКИМ уровнем;
- г) безопасное подключение тактовой кнопки *SB1* с ограничительным резистором $R1$. Резистор $R2$ может отсутствовать, если внутри МК имеется свой «pull-down» резистор;
- д) нажатие на кнопку *SB1* визуально подтверждается включением светодиода *HL1*;
- е) симбиоз схем Рис. 2.8, б и Рис. 2.8, д, но с другими номиналами радиоэлементов

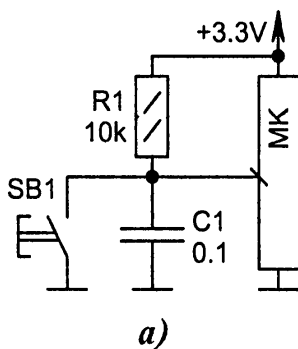


Рис. 2.9. Схемы подключения тактовых кнопок к МК (программно-аппаратная обработка) (начало):

- а) подключение кнопки *SB1* к МК с аппаратным уменьшением «дребезга» контактов конденсатором $C1$. Окончательное подавление помех осуществляется программно. Резистор $R1$ задаёт ток 0.33 мА через кнопку *SB1*. Варианты: $R1 = 4.7k$; $R1 = 100k$, $C1 = 0.01$; ☹

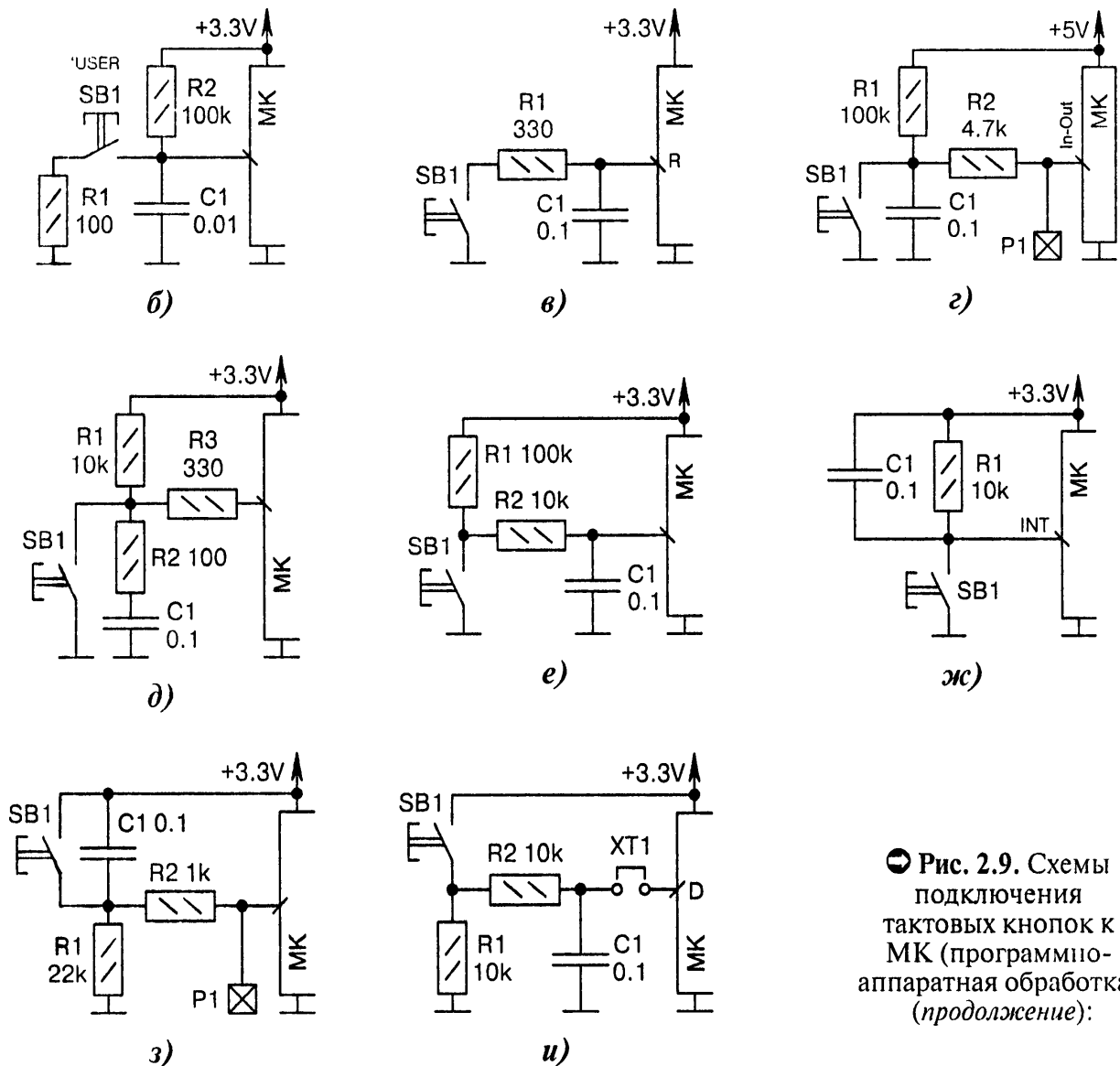


Рис. 2.9. Схемы подключения тактовых кнопок к МК (программно-аппаратная обработка) (продолжение):

б) кнопка *SB1* подключается к общему проводу не напрямую, а через защитный резистор *R1*. Постоянная времени фильтра «антидребезг» — 1 мс (*R2*, *C1*). Варианты: $R2 = 1\text{M}$, $C1 = 1000$;

в) аналогично Рис. 2.9, б, но с переменной мест *SB1*, *R1* и «pull-up» резистором внутри МК;

г) резистор *R2* позволяет использовать линию МК на приём/генерацию сигналов через внешнюю контактную площадку *P1*. Варианты: $R1 = 10\text{k}$, $R2 = 100$ или $R2 = 1\text{k}$;

д) резистор *R2* снижает ток заряда/разряда конденсатора *C1*, следовательно, уменьшаются импульсные помехи по общему проводу в момент коммутации кнопки *SB1*;

е) «дребезг» контактов кнопки *SB1* сглаживается фильтром *R2*, *C1*. Варианты: $R1 = 10\text{k}$, $R2 = 330$ или $R2 = 1\text{k}$;

ж) кнопкой *SB1* проверяется работоспособность входа прерывания *INT* МК. Конденсатор *C1* увеличивает начальный ток через контакты кнопки, что способствует формированию крутого фронта сигнала *INT*;

з) «верхнее» подключение кнопки *SB1*, формирующей ВЫСОКИЙ уровень на входе МК. Конденсатор *C1* аппаратно снижает «дребезг» контактов кнопки *SB1*, но полностью их не устраняет, т. е. нужна программная фильтрация. Варианты: $C1 = 0$, $R1 = 10\text{k}$, $R2 = 475\text{k}$;

и) аналогично Рис. 2.9, е, но для «верхнего» включения кнопки *SB1*. Дампер *XT1* отключает кнопку, при этом НИЗКИЙ уровень на входе МК поддерживается «pull-down» резистором, ●

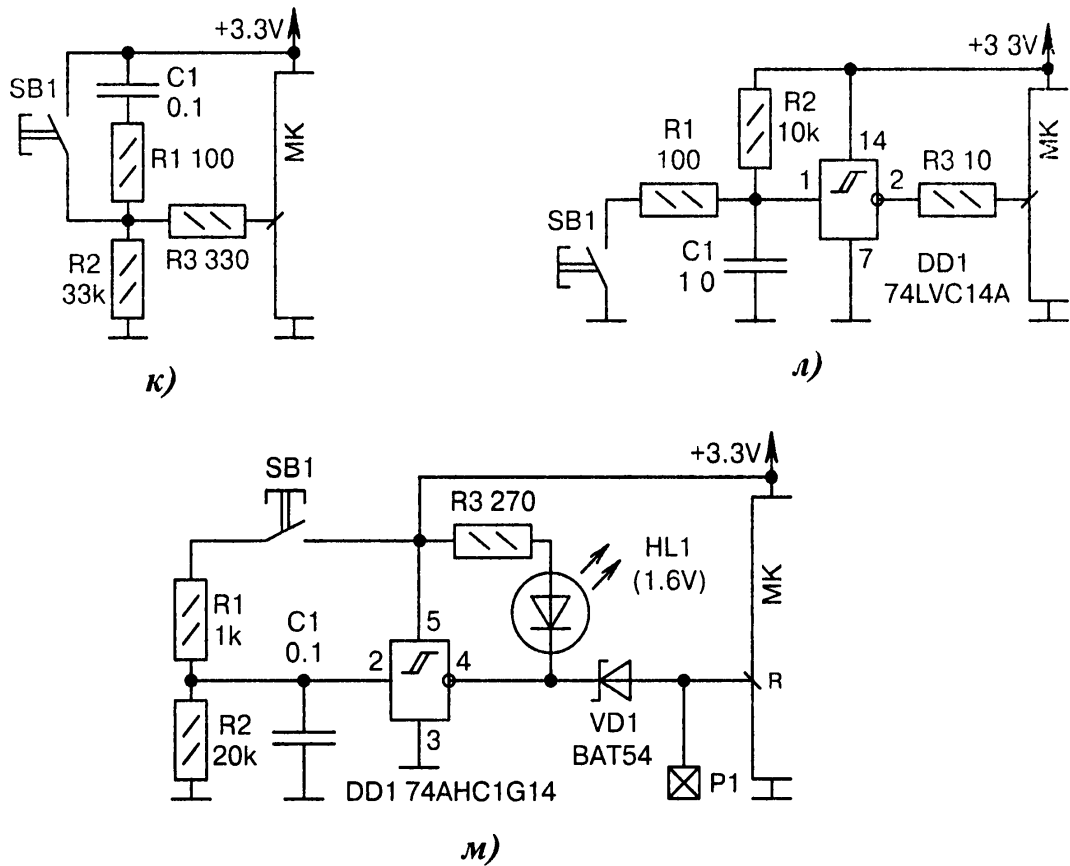


Рис. 2.9. Схемы подключения тактовых кнопок к МК (программно-аппаратная обработка) (окончание):

к) аналогично Рис. 2.9, з, но демпферным резистором $R1$. Варианты: $R2 = 100\text{k} \dots 220\text{k}$;

л) буферный триггер Шмитта $DD1$ формирует на выходе сигнал с крутыми фронтами. Фильтр $R1, C1$ снижает вероятность ложного срабатывания кнопки $SB1$ («дребезг» контактов);

м) нажатие кнопки $SB1$ сопровождается включением светодиода $HL1$. Диод $VD1$ — развязывающий. Он отсекает выход инвертора $DD1$ от контактной площадки $P1$, позволяя принимать сигналы в МК при ненажатой кнопке $SB1$

2.2.3. Многокнопочное управление

На Рис. 2.10, а...е приведены схемы группового подключения кнопок к МК.

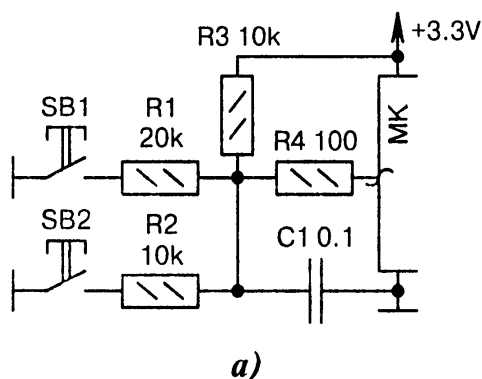


Рис. 2.10. Схемы многокнопочного управления (начало):

а) факт нажатия одной или двух кнопок $SB1, SB2$ определяется измерением напряжения в точке схождения резистивного делителя $R1 \dots R3$. Варианты: $C1$ может отсутствовать; ☹

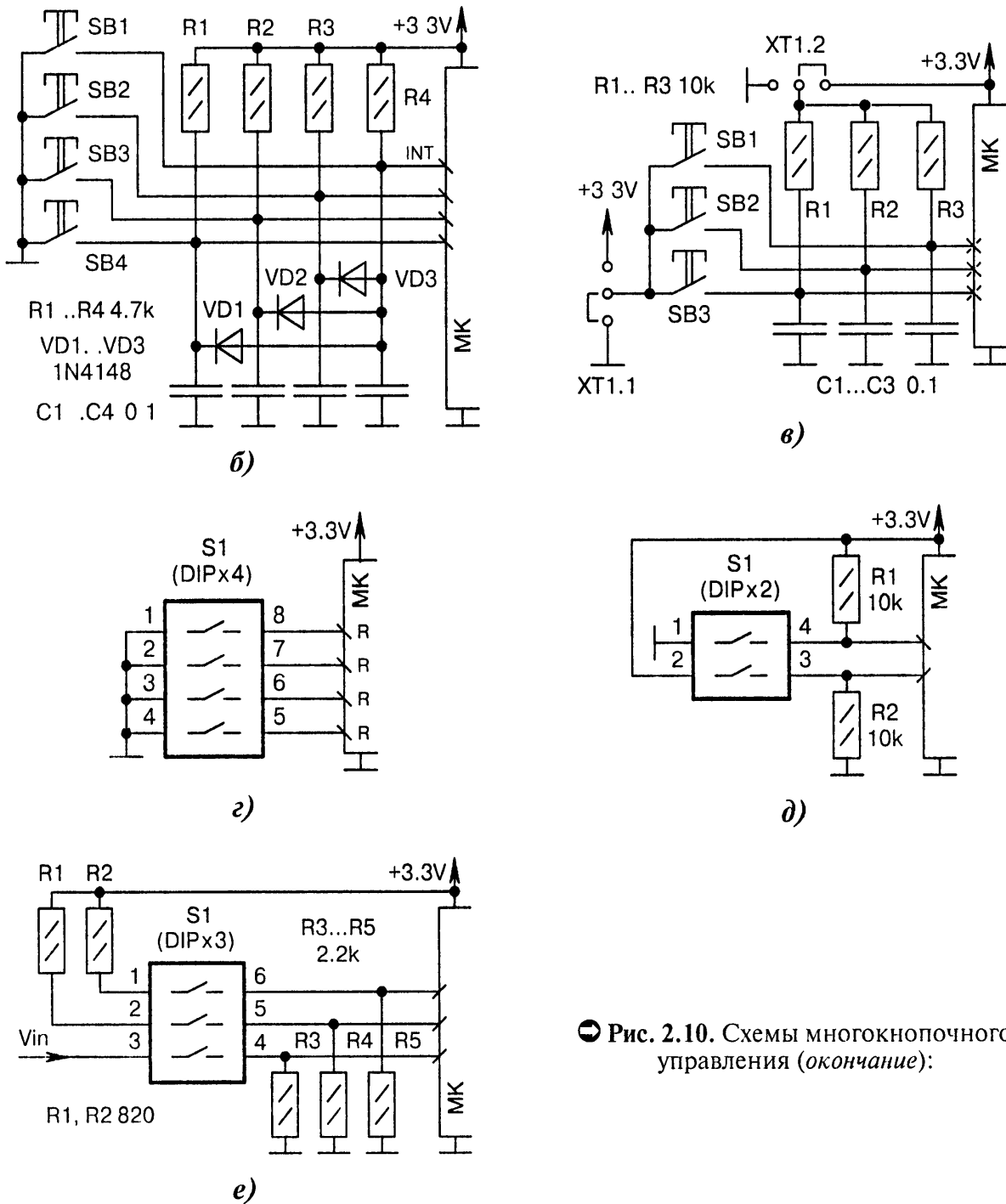


Рис. 2.10. Схемы многокнопочного управления (окончание):

б) верхний вход МК настроен на прерывание *INT* по заднему фронту сигнала. Прерывание происходит при нажатии любой из кнопок *SB1...SB4*, что повышает скорость реакции в программе. Диоды *VD1...VD3* соединяются по схеме «ИЛИ» с нагрузочным резистором *R4*;

в) двоянный джампер *XT1* должен переключаться синхронно, с тем чтобы нажатие на кнопки *SB1...SB3* приводило к формированию НИЗКИХ или ВЫСОКИХ уровней на входах МК;

г) подключение сборки DIP-переключателей *S1* к МК, который должен иметь внутренние «pull-up» резисторы. Варианты: сборка резисторов 4x10k вместо «pull-up» резисторов в МК; *S1.1...S1.4* подключаются к цепи +3.3V, при этом МК должен иметь «pull-down» резисторы;

д) формирование разнополярных уровней замыканием верхнего и нижнего переключателей сборки *S1*. Достоинство — простота, недостаток — надо следить, чтобы входы МК случайно не настроились в режим выхода, что может привести к КЗ на общий провод или питание;

е) аналогично Рис. 2.10, д, но с защитными резисторами *R1, R2* и входным сигналом *Vin*

2.2.4. Движковые переключатели

Движковые переключатели по-другому называют «слайдерами» (англ. slider). По конструкции они бывают одиночные и сдвоенные (Рис. 2.11, а...в).

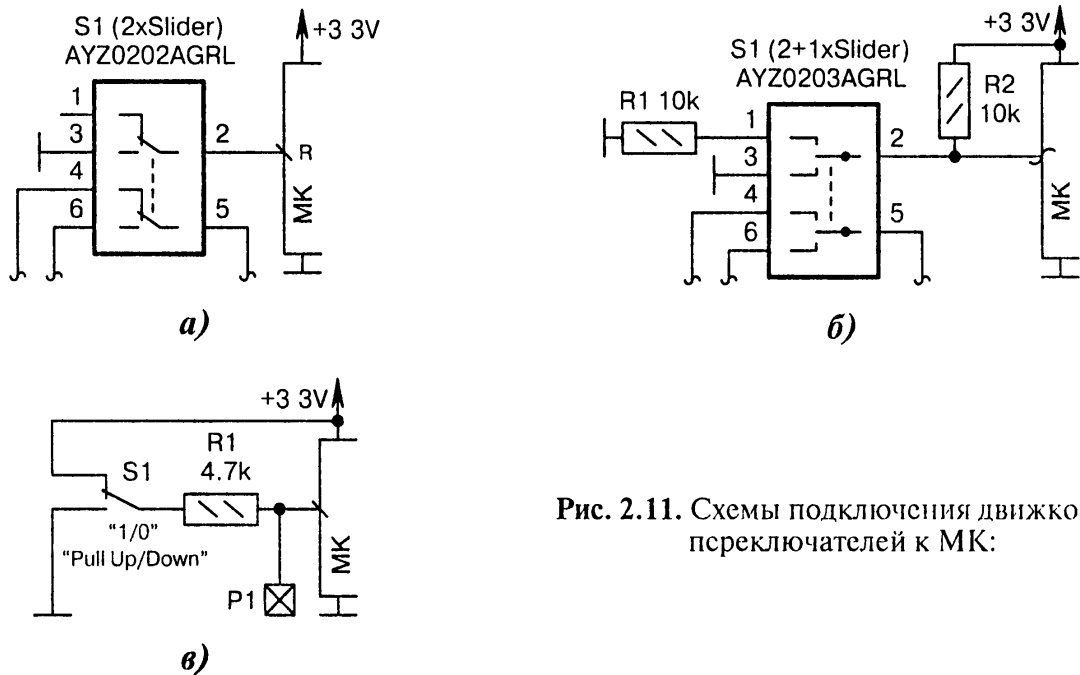


Рис. 2.11. Схемы подключения движковых переключателей к МК:

а) сдвоенный переключатель *S1* своими нижними контактами коммутирует рабочие цепи, а верхними контактами информирует МК о выбранном режиме. Если на входе МК ВЫСОКИЙ уровень, то замкнуты контакты *S1:4* и *S1:5*, если НИЗКИЙ, то замкнуты контакты *S1:5* и *S1:6*;

б) аналогично Рис. 2.11, а, но переключатель *S1* имеет третье (нейтральное) положение. Информацию о его состоянии МК получает, измеряя напряжение в канале АЦП: +1.65 В (замкнуты контакты *S1:5* и *S1:4*), 0 В (замкнуты контакты *S1:5* и *S1:6*), +3.3 В (все контакты разомкнуты);

в) переключателем *S1* можно установить на входе МК ВЫСОКИЙ или НИЗКИЙ уровень, при этом для внешнего сигнала резистор *R1* выполняет функцию «pull-up» или «pull-down»

2.2.5. Механические джойстики

На Рис. 2.12, а...ж приведены схемы подключения джойстиков к МК.

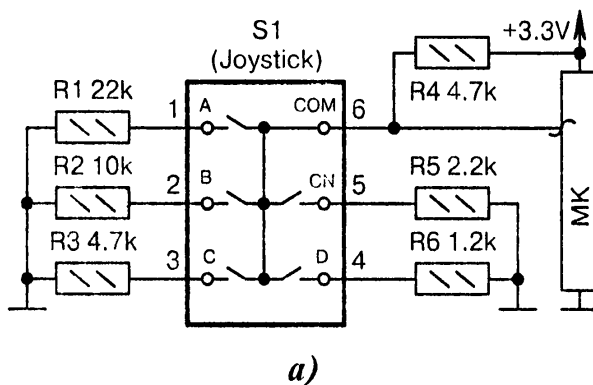


Рис. 2.12. Схемы подключения джойстиков к МК (начало)

а) при отклонении рукоятки джойстика *S1* влево, вправо, вверх, вниз и при нажатии на кнопку пуска происходит замыкание контактов *S1:1...S1:5* с *S1:6*. Резисторы *R1...R6* образуют делитель, где каждому положению рукоятки соответствует своё напряжение на входе АЦП МК; Ⓢ

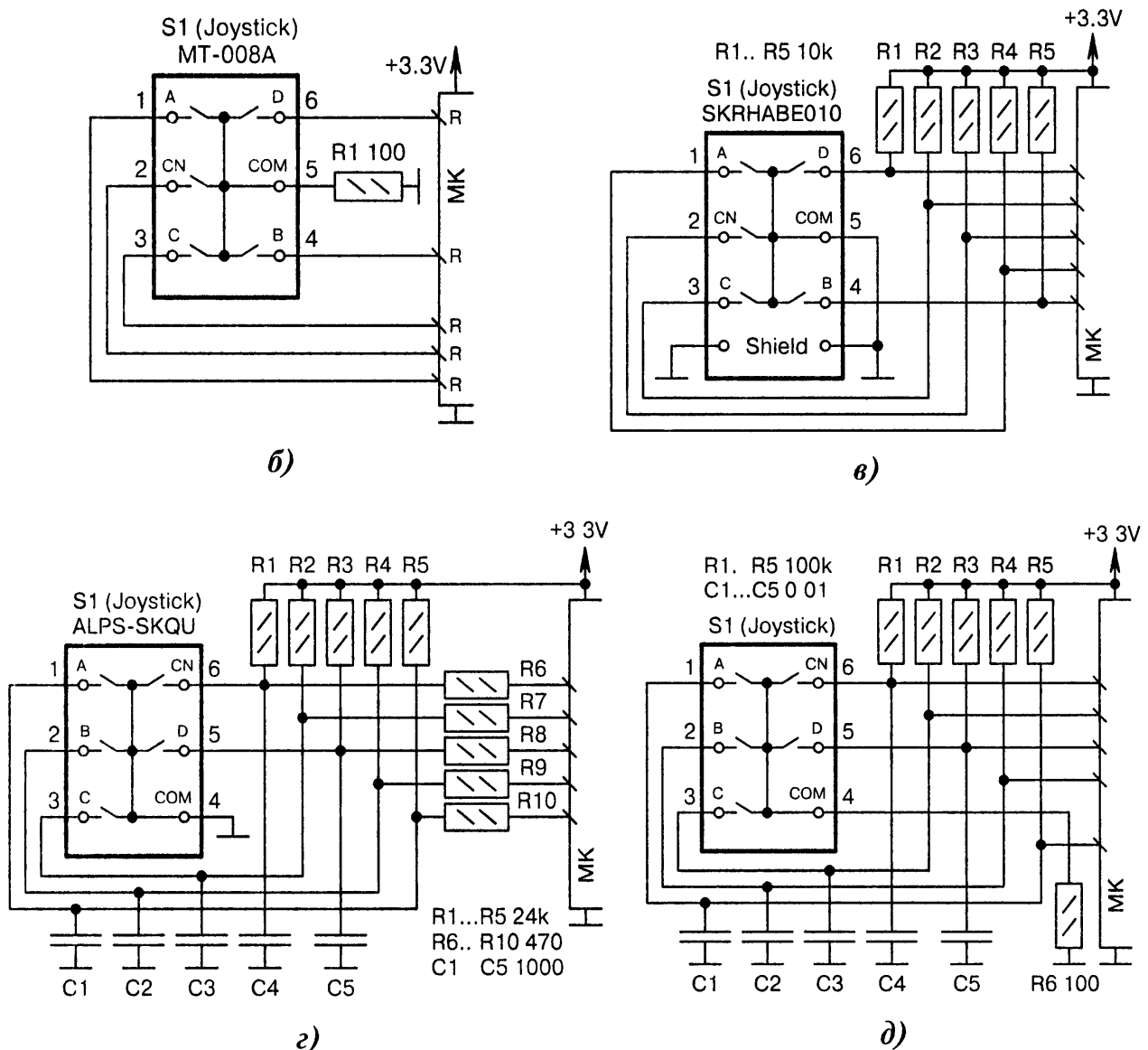


Рис. 2.12. Схемы подключения джойстиков к МК (продолжение):

б) упрощённое подключение джойстика *S1* к МК. Используется один общий токоограничивающий резистор *R1*. Правда, он не спасает, если будут замкнуты две контактные группы, а на линиях МК случайно выставятся противофазные логические уровни в режиме выхода. Проблема «дребезга» контактов джойстика должна подавляться программным способом,

в) контакты джойстика *S1* с маркировкой «А»...«D», «CN» (CeNter) электрически замыкаются с контактом «COM» (COMmon) при отклонении рукоятки, соответственно, влево, вправо, вверх, вниз и нажатии на кнопку по центру. «Shield» — это две «земляные» ламели от корпуса джойстика. Резисторы *R1* ..*R5* ограничивают токи, протекающие через контакты джойстика;

г) аналогично Рис. 2.12, в, но с фильтрующими конденсаторами *C1*...*C5* и защитными резисторами *R6*...*R10*. Первые из них снижают радиопомехи, возникающие в момент коммутации контактов, а вторые — обеспечивают защиту от наводок через металлические части джойстика, к которым человек прикасается рукой. Варианты: *C1*...*C5* = 0.1, при этом обеспечивается аппаратная фильтрация «дребезга» контактов;

д) аналогично Рис. 2.12, г, но с другими номиналами резисторов и конденсаторов, а также с одним общим токоограничивающим резистором *R6*. Варианты: *R1*...*R5* = 10k; *C1*...*C5* = 0.1; *R6* = 0.75, ☉

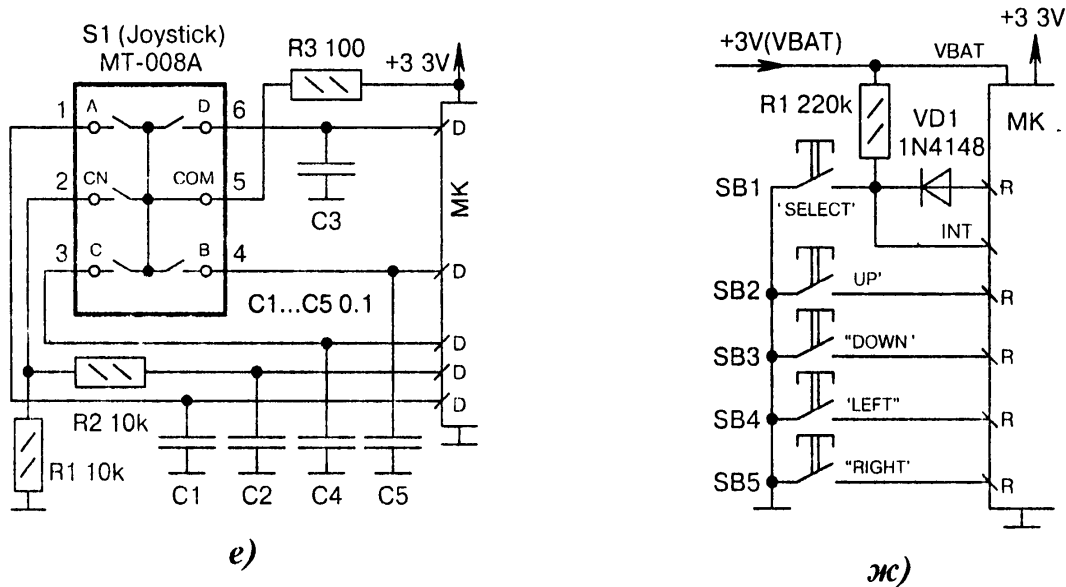


Рис. 2.12. Схемы подключения джойстиков к МК (окончание):

е) аналогично Рис. 2.12, д, но с противоположными логическими уровнями, внутренними «pull-down» резисторами МК и с улучшенной фильтрацией помех центральной кнопки «CN» джойстика элементами $R2, C2$. Варианты: $C1...C5 = 0.01$; $R1$ отсутствует, $R2 = 0$,

ж) кнопки $SB1...SB5$ конструктивно образуют крестовину джойстика. Кнопка $SB1$ подключается к верхней линии МК через развязывающий диод $VD1$, а также к входу прерывания INT , что позволяет автоматически выводить МК из состояния сна. Последнее возможно лишь при наличии резервного трёхвольтового аккумулятора, который подсоединяется к цепи $+3V(VBAT)$

2.2.6. Джамперы

Джамперные переключки (джамперы) предназначены для замыкания контактов. Если контактов два, то это аналог тактовой кнопки. Если контактов три и более, то это аналог движкового переключателя (Рис. 2.13, а...в).

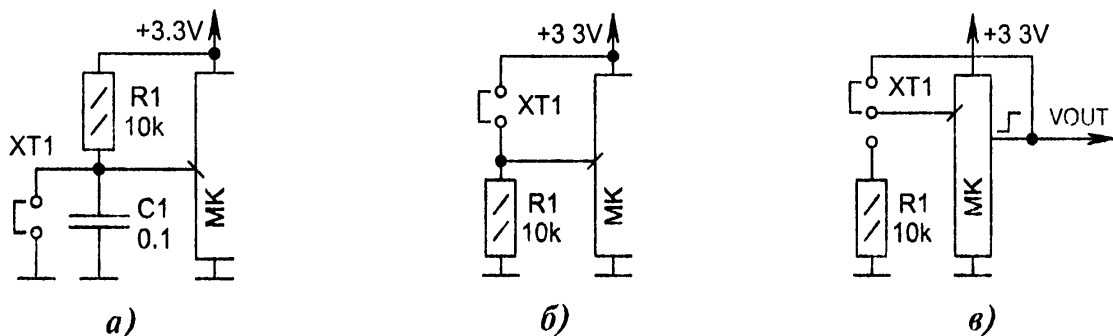


Рис. 2.13. Схемы подключения джамперов к МК:

а) если джампер $XT1$ замыкает контакты, то на вход МК подаётся НИЗКИЙ уровень, и наоборот. Конденсатор $C1$ снижает «дребезг» контактов, а также уменьшает ВЧ-помехи, которые могут наводиться на вход МК при отсутствии джампера;

б) если джампер $XT1$ установлен, то на вход МК подаётся ВЫСОКИЙ уровень, и наоборот;

в) если джампер $XT1$ в верхнем положении, то вход соединяется с выходом МК (контроль генерации сигнала), иначе на вход МК подаётся НИЗКИЙ уровень от резистора $R1$

2.3. Резистивные датчики

Под резистивными датчиками подразумеваются переменные и подстроечные резисторы, которые применяются в отладочных платах. Они, как правило, подключаются к каналам АЦП МК и служат для имитации изменения во времени некоторого физического параметра.

Сигнал с резистивного датчика предварительно преобразовывается в пропорциональное напряжение, которое затем оцифровывается через АЦП. Переменный резистор позволяет, не подключая внешнего датчика к отладочной плате, заранее спрогнозировать результат и выяснить реакцию системы на крайние значения параметров. Типовой угол поворота резисторов составляет 0...300 градусов.

Принципиальной разницы при подключении переменных и подстроечных резисторов к МК не существует, схемы для них универсальные (Рис. 2.14, а...м).

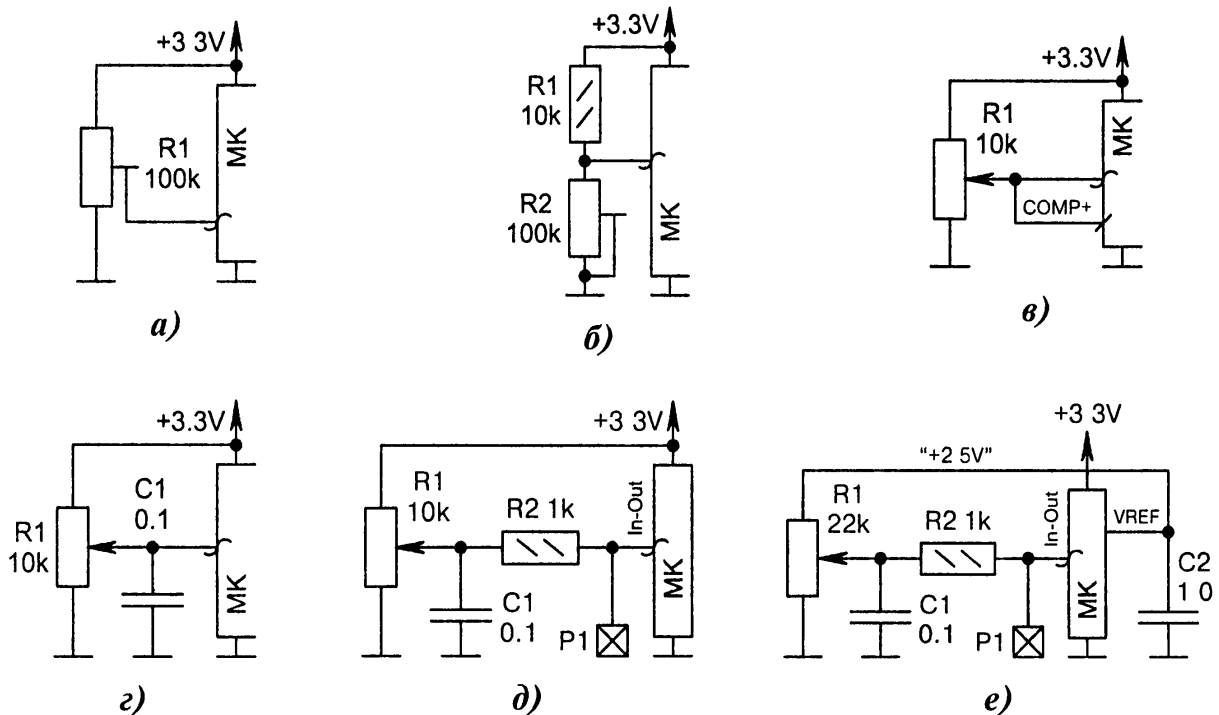


Рис. 2.14. Схемы подключения резистивных датчиков к МК (начало):

а) $R1$ — это подстроечный резистор «под отвёртку» PT10MV10-104A2020, диаметр 10 мм, угол поворота 220 градусов, 10 000 циклов вращения, мощность 0.15 Вт. Варианты: $R1 = 50k$;

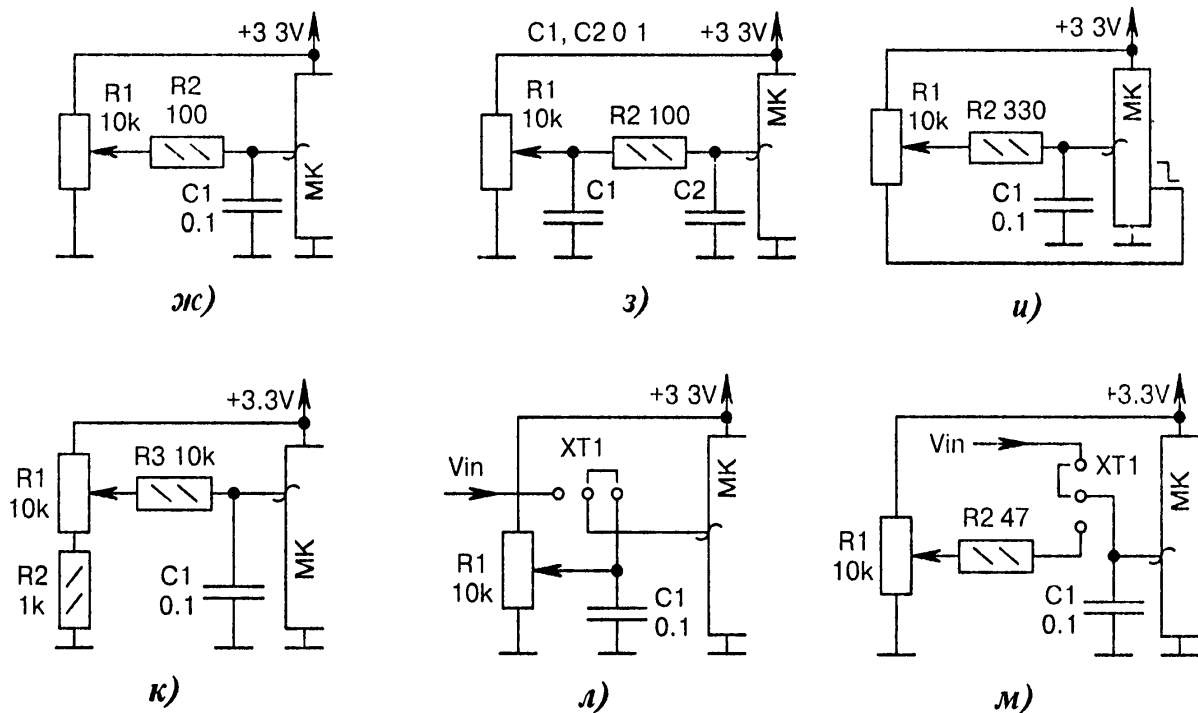
б) потенциометрическое включение подстроечного резистора $R2$. Требуется соблюдать осторожность, чтобы случайно не выставить в программе на линии порта МК ВЫСОКИЙ уровень при крайнем верхнем положении движка резистора $R2$, иначе произойдёт КЗ на «землю»;

в) одновременный съём информации с АЦП и аналогового компаратора МК;

г) конденсатор $C1$ снижает помехи от «шороха» контактов переменного резистора $R1$. Варианты: $C1 = 10.0$; $R1 = 2.2k$; $R1 = 1k$, $C1 = 4700$; $R1 = 20k$, $C1 = 820$;

д) аналогично Рис. 2.14, г, но с ограничительным резистором $R2$, который защищает МК в случае ошибок в программе при крайних положениях резистора $R1$ (настройка линии на выход вместо входа), а также позволяет генерировать выходные сигналы через контакт $P1$;

е) аналогично Рис. 2.14, д, но с другим номиналом резистора $R1$ и стабильным его питанием от внутреннего ИОН $VREF$. Варианты: $R1 = 5k$, $C1 = 1000$, $R2 = C1 = 0$; $R1 = 10k$, $C1 = 0.01$, ☉



⊙ Рис. 2.14. Схемы подключения резистивных датчиков к МК (окончание):

ж) ограничительный резистор $R2$ одновременно входит в состав ФНЧ, поскольку после (а не до него) ставится конденсатор $C1$;

з) симбиоз схем Рис. 2.14, д и Рис. 2.14, ж приводит к улучшенной фильтрации «шороха» контактов переменного резистора $R1$;

и) НИЗКИМ уровнем с выхода МК резистор $R1$ подключается к «земле». ВЫСОКИМ уровнем с выхода МК можно косвенно убедиться в отсутствии обрыва контактов в резисторе $R1$;

к) особенность — ограничительный резистор $R2$, который не даёт уменьшиться напряжению на входе МК ниже 10% от питания. Варианты: $R1 = 50\text{k}$, $R2 = 100$, $R3 = 0$, $C1 = 0.01$;

л) джампером $XT1$ к входу АЦП МК подключается реальный внешний сигнал V_{in} или имитатор переменного сигнала на резисторе $R1$. Конденсатор $C1$ снижает помехи;

м) аналогично Рис. 2.14, л, но с RC-фильтром $R2$, $C1$, при этом конденсатор не отключается от МК при вводе внешнего сигнала и дополнительно фильтрует его. Варианты. $C1 = 0.01$, $R2 = 1\text{k}$

2.4. Акустические датчики

Наличие микрофона на отладочной плате является желательным, хотя и не обязательным элементом «электронного интерьера». Малогабаритный микрофон много места не занимает, однако с его помощью можно проверить работоспособность аудиоканала, смоделировать голосовое управление режимами, превратить устройство в цифровой диктофон.

Интересно отметить, что обычные аналоговые микрофоны в отладочных платах постепенно вытесняются их более современными цифровыми собратьями, что способствует улучшению технических параметров.

На Рис. 2.15, а...з показаны схемы подключения аналоговых и цифровых микрофонов к МК.

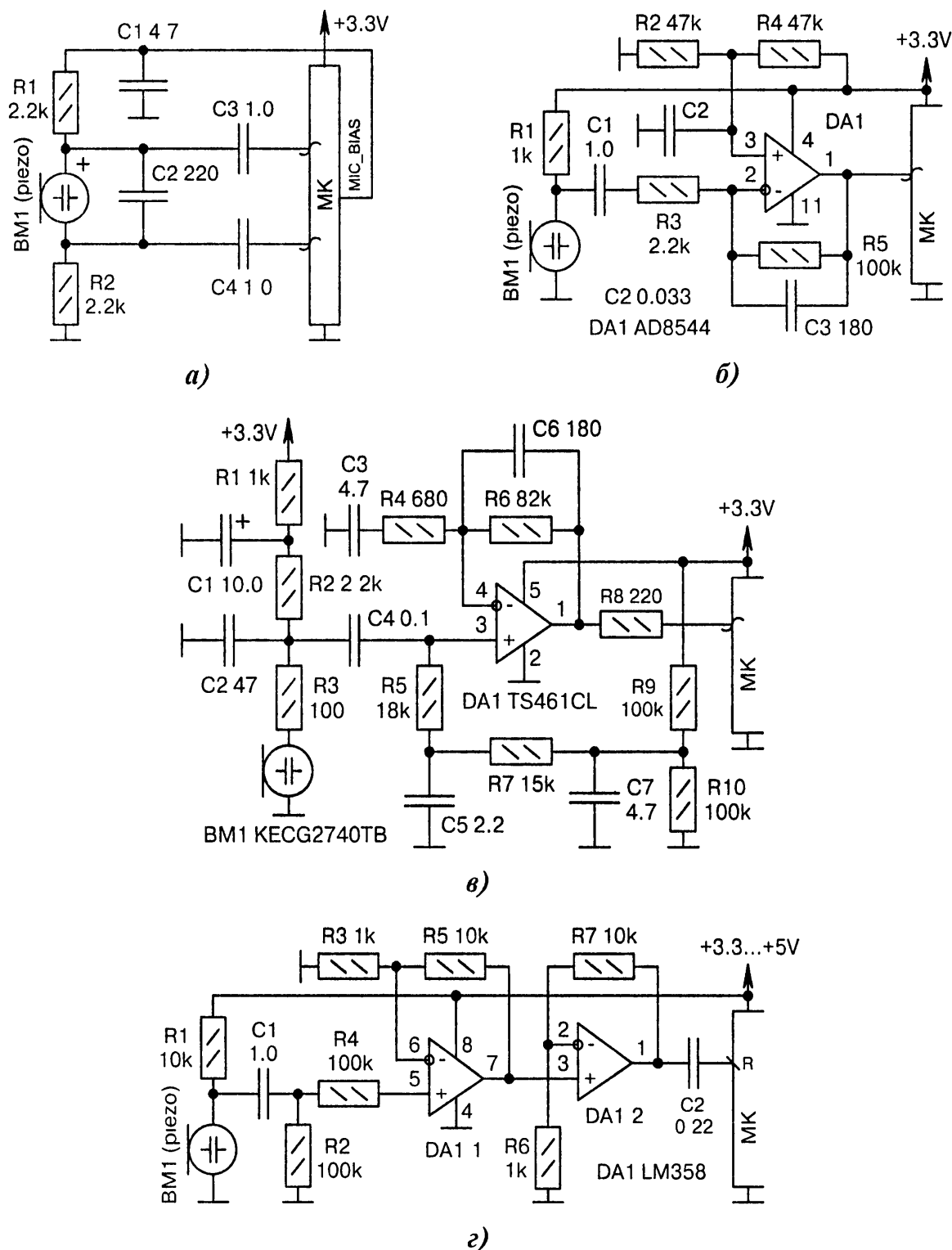


Рис. 2.15. Схемы подключения микрофонов к МК (начало):

а) МК принимает сигнал от микрофона *BM1* по дифференциальной схеме. Питание на микрофон подаётся с ИОН — это цепь *MIC_BIAS* в МК Nuvoton NUC505, напряжение +1.2 В;

б) микрофон *BM1* подключается к МК через инвертирующий усилитель на ОУ *DA1*. Варианты: *DA1* = ОРА344, *R1* = 2.2k, *R2...R4* = 10k, *R5* = 820k, *C1* = *C2* = 4.7, *C3* = 0;

в) улучшенная фильтрация помех и шумов по питанию — в цепи смещения микрофона *BM1* (*R1*, *C1*) и в цепи средней точки ОУ *DA1* (*C5*, *R7*, *C7*). Усиление регулируется резистором *R4*;

г) сигнал от пьезомикрофона *BM1* усиливается в 100 раз двухкаскадным ОУ *DA1*. Акустический сенсор срабатывает от громкого звука или при постукивании по корпусу *BM1*; Ⓢ

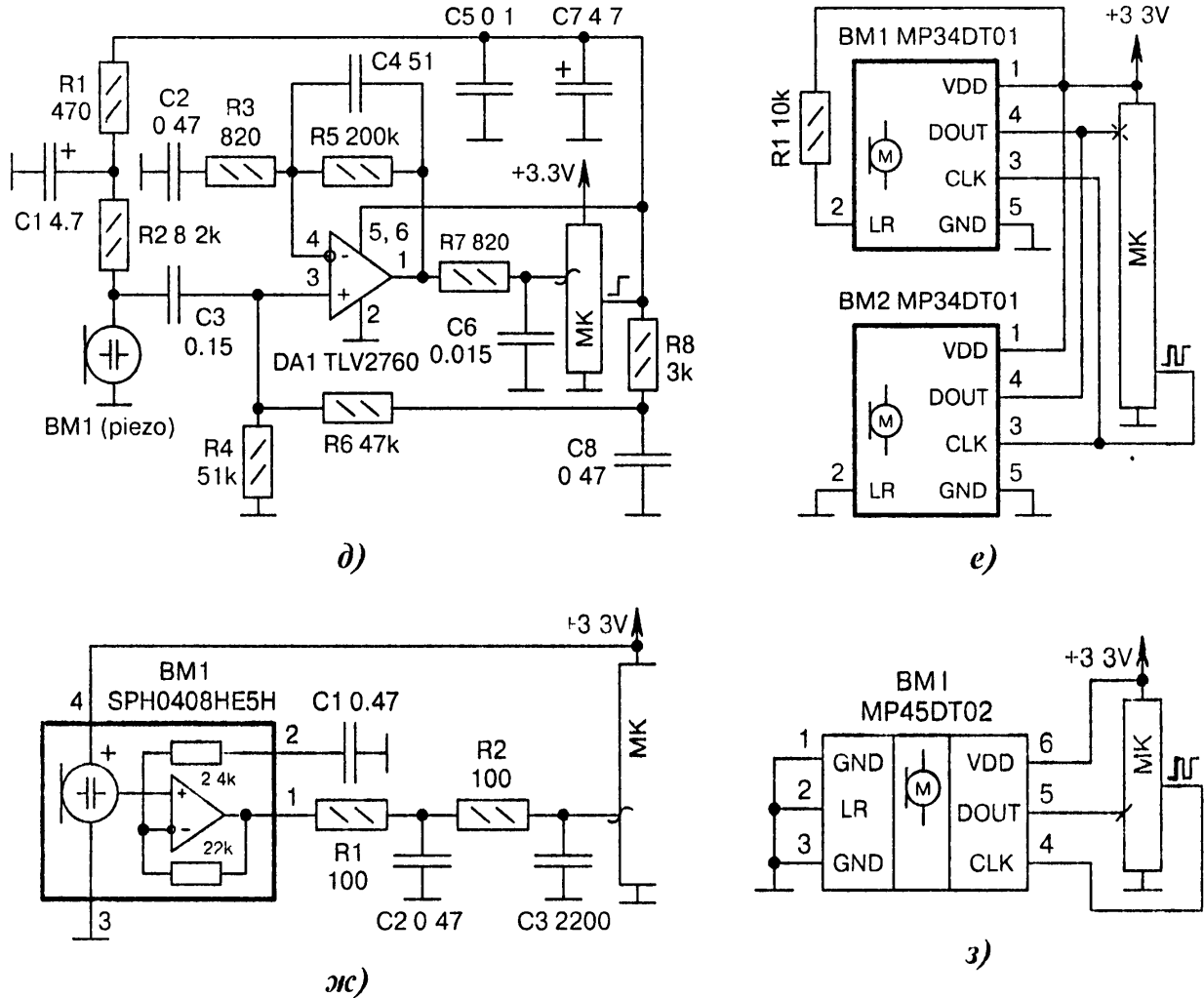


Рис. 2.15. Схемы подключения микрофонов к МК (окончание).

д) аналогично Рис. 2.15, в, но с питанием ОУ DA1 от ВЫСОКОГО уровня с линии порта МК. Если выставить на выходе НИЗКИЙ уровень, то тракт микрофона аппаратно отключается;

е) BM1, BM2 — это цифровые микрофоны, изготовленные по технологии MEMS [2-2]. Полоса частот 100...10000 Гц, ток потребления 0.6 мА, чувствительность -26 dBFS. Сигнал на входе CLK должен быть 1...3.25 МГц. По его переднему и заднему фронтам МК принимает сигналы, соответственно, от микрофона BM1 (ВЫСОКИЙ уровень LR) и BM2 (НИЗКИЙ уровень LR). Если микрофоны размещаются в разных местах отладочной платы, то получается приём стереозвука;

ж) BM1 — это активный аналоговый микрофон. Чувствительность -22 дБ, отношение сигнал/шум 59 дБ, ток потребления не более 0.35 мА. Полоса частот определяется двумя фильтрами: конденсатор C1 входит в ФВЧ, элементы R1, C2, R2, C3 образуют двухзвенный ФНЧ;

з) аналогично Рис. 2.15, е, но с одним каналом и с другим типом цифрового MEMS-микрофона BM1, имеющего коэффициент шума -61 дБ. Габаритные размеры 4.72x3.76x1.25 мм

2.5. Оптические датчики

Оптические датчики в отладочных платах обычно служат для простой и эффективной демонстрации возможностей МК, но они также могут входить в схему адаптации яркости дисплея к свету и темноте (Рис. 2.16, а...л).

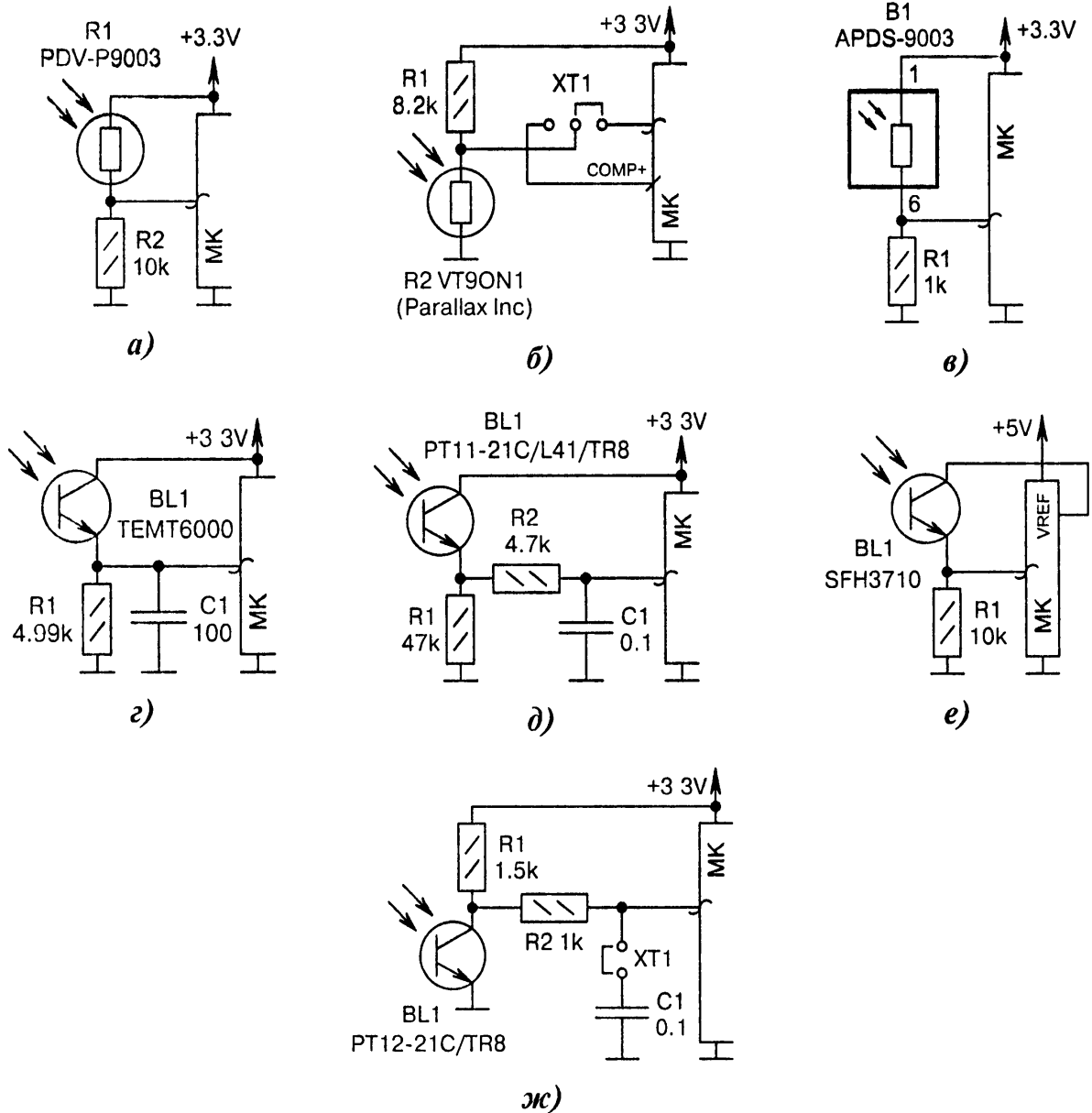


Рис. 2.16. Схемы подключения оптических датчиков к МК (начало)

- а) $R1$ — это малогабаритный фоторезистор из сульфида кадмия (CdS). Его сопротивление изменяется от 1 МОм в темноте до 16.. 33 кОм при освещении 10 лк. Диапазон волн 400 ..700 нм;
- б) аналогично Рис. 2.16, а, но с переменной мест $R1$ и $R2$. Параметры фоторезистора $R2$: диапазон сопротивлений от 20...38 кОм до 1 МОм, материал CdS, быстродействие 5...35 мс. Вместо входа АЦП может подключаться аналоговый компаратор МК джампером $XT1$;
- в) $B1$ — это SMD-датчик освещённости резистивного типа. Время отклика 0.8. .2 мс, максимум чувствительности 620 нм. Особенность — реагирует на освещение «белым» светодиодом;
- г) $BL1$ — это SMD-фототранзистор, угол обзора ± 60 градусов, ток коллектора не более 20 мА, световой диапазон 360...970 нм. Варианты: $R1 = 200\text{k}$, $C1 = 0$; $R1 = 576\text{k}$, $C1 = 4700$;
- д) аналогично Рис. 2.16, г, но с другим типом фототранзистора $BL1$ (530...1030 нм) и дополнительной фильтрацией сигнала элементами $R2$, $C1$;
- е) особенность — стабильное напряжение $VREF$ на коллекторе фототранзистора $BL1$, обеспечиваемое внутренним ИОН МК. Это улучшает достоверность и повторяемость измерений;
- ж) фототранзистор $BL1$ имеет максимум чувствительности в ближнем ИК-диапазоне 900 нм при общей полосе 400...1100 нм. Джампером $XT1$ включается/отключается ФНЧ ($R2$, $C1$); ☹

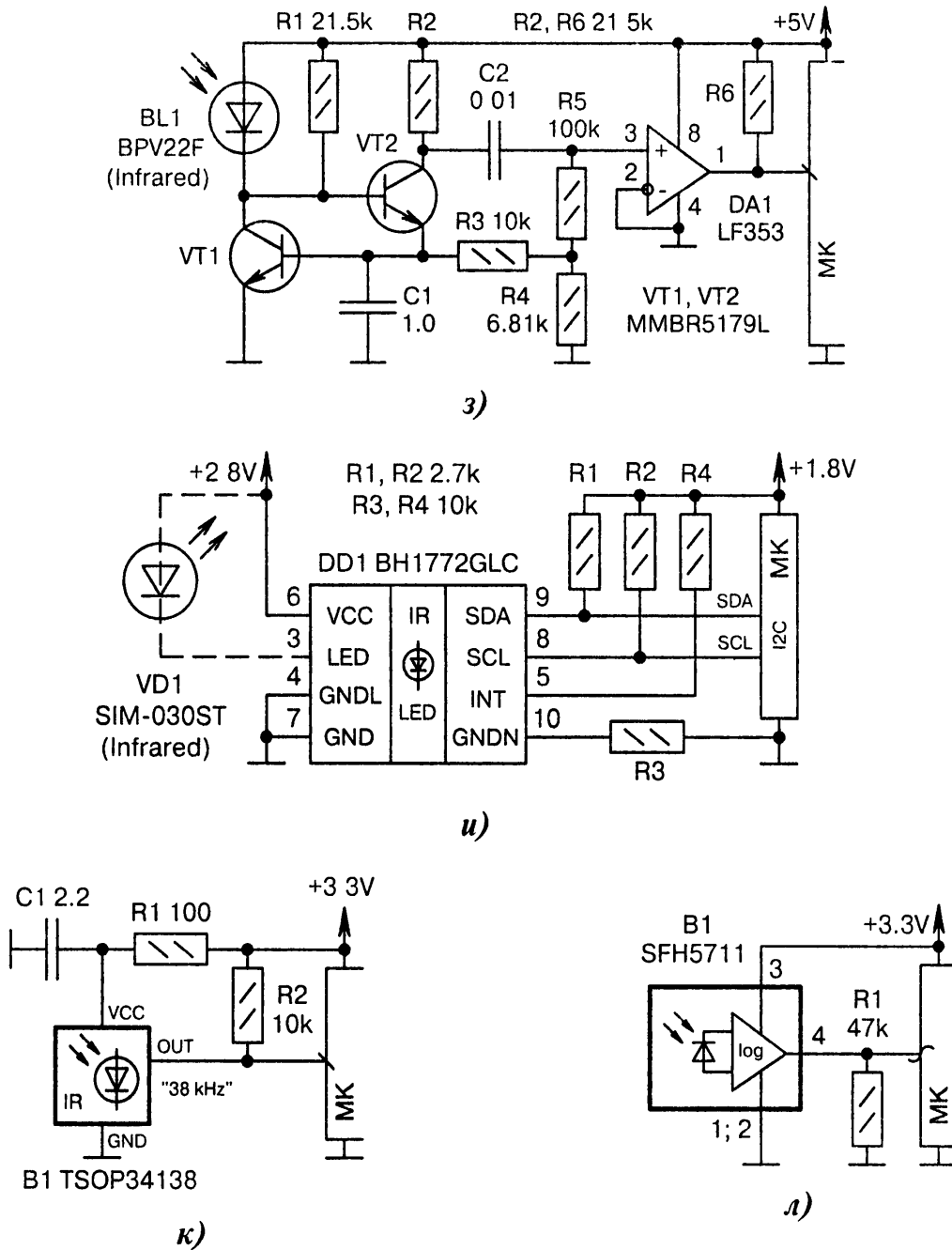


Рис. 2.16. Схемы подключения оптических датчиков к МК (окончание):

з) транзисторы $VT1$, $VT2$ совместно с компаратором на ОУ $DA1$ повышают крутизну фронтов принимаемых фотодиодом $BL1$ сигналов;

и) микросхема $DD1$ имеет встроенный фотодиод и может служить датчиком освещённости в видимом диапазоне длин волн. Если между выводами $DD1:3$ и $DD1:6$ подключить внешний излучающий ИК-светодиод $VD1$ (показан пунктиром), то устройство превращается в цифровой датчик приближения, действующий на расстоянии 1...10 см. Управление режимами ведётся через шину I²C, оцифровка показаний осуществляется с точностью 16 разрядов;

к) подключение «телевизионного» интегрального ИК-приёмника $B1$ к МК. Элементы $R1$, $C1$ служат фильтром по питанию. Частота модуляции 38 кГц. Варианты: $B1 = HS0038B$, $R1 = 0$;

л) $B1$ — это аналоговый датчик освещённости с логарифмическим усилителем внутри. Кривая спектральной чувствительности совпадает с характеристикой зрения человека 400...700 нм. Ток выходного сигнала пропорционален освещённости, напряжение измеряется на нагрузке $R1$

2.6. Ёмкостные датчики

Ёмкостные датчики в отладочных платах выполняют функцию сенсорных элементов. Конструктивно они представляют собой металлизированные площадки на печатной плате. Касание пальцем к ним приводит к срабатыванию датчика.

Если сенсорных площадок несколько и они размещаются компактно в одну линию, то получается удобный элемент для «плавного» (точнее, дискретного) управления каким-либо параметром. Для этого надо просто провести пальцем по линейке слайдера слева направо или сверху вниз, а программа МК сама определит координату местоположения.

На Рис. 2.17, а...в показаны схемы подключения ёмкостных датчиков к МК.

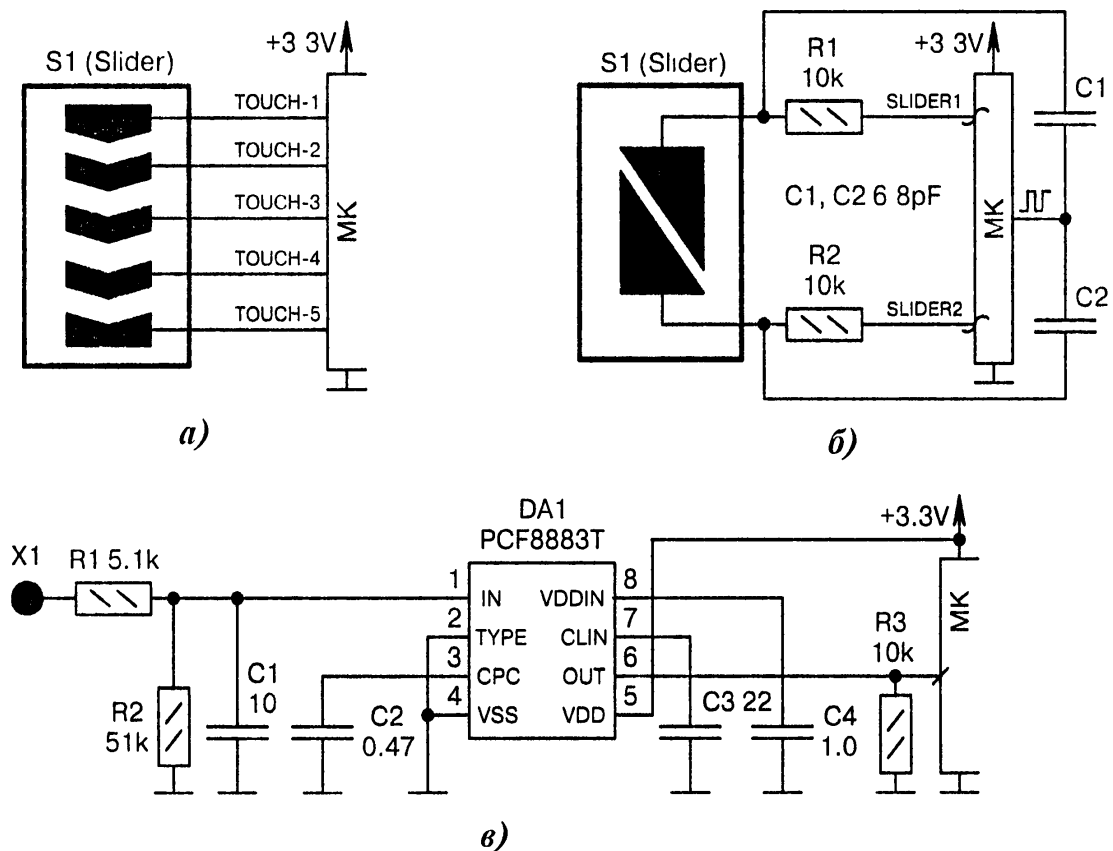


Рис. 2.17. Схемы подключения емкостных датчиков к МК:

а) МК должен на аппаратном уровне поддерживать сенсорный интерфейс Touch. Металлизированные площадки слайдера *S1* размещаются в одну линию, чтобы по ним удобно было проводить пальцем. Вносимая ёмкость изменяет частоту встроенного в МК генератора (Nuvoton Nano100 series), что позволяет фиксировать момент касания к определённому сенсору;

б) на выходе МК поочерёдно формируются НИЗКИЕ и ВЫСОКИЕ уровни. На двух входах МК регистрируются длительности фронта (спада), которые будут зависеть от ёмкости, вносимой рукой человека при касании к площадкам слайдера *S1*. Программным способом определяется задержка фронтов и направление движения пальца «сверху вниз» или «снизу вверх»;

в) *DA1* — это специализированная микросхема, фиксирующая изменение ёмкости 10–60 пФ на входе *IN* (контактная площадка *X1*) и преобразующая ее в импульсы переменной длительности на выходе *OUT*. При производстве сенсора используется патентованная технология фирмы Edisen Sensor Systeme. Точность замеров обеспечивает встроенная автокалибровка.

2.7. Температурные датчики

2.7.1. Терморезисторы

Терморезисторы, или, сокращённо, термисторы, уже не являются диковинкой в отладочных платах. С их помощью измеряется температура окружающей среды, а иногда и температура критичных к потребляемой мощности микросхем. Для за-меров используется канал АЦП МК (Рис. 2.18, а...е).

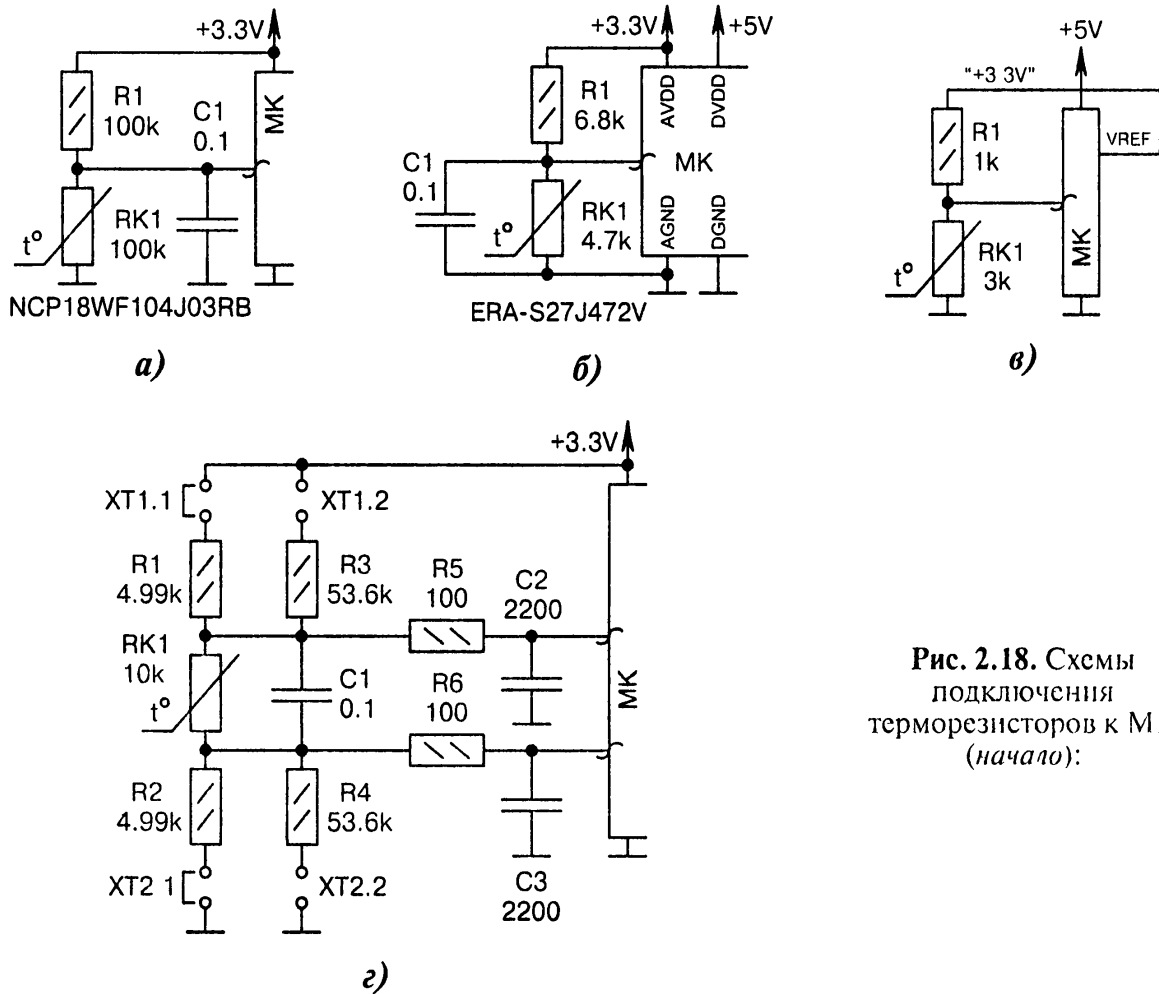


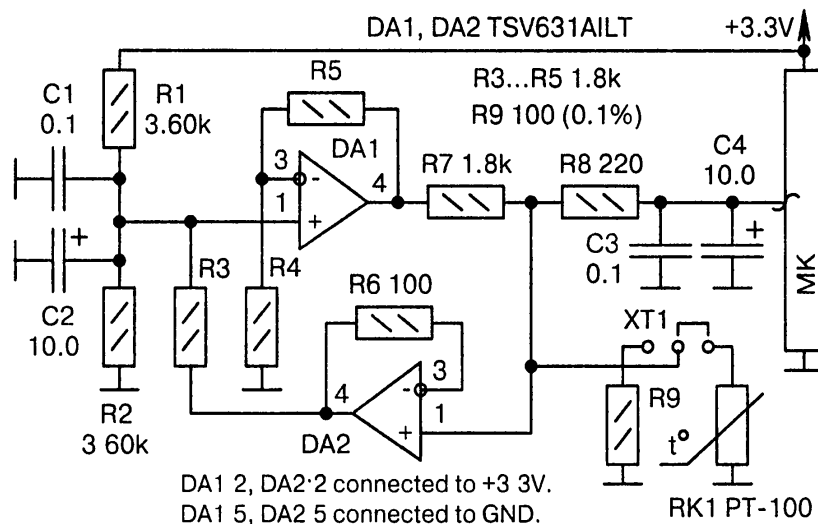
Рис. 2.18. Схемы подключения терморезисторов к МК (начало):

а) $RK1$ — это микроминиатюрный SMD-терморезистор, формфактор 0603, точность $\pm 5\%$, отрицательный ТКС с коэффициентом 3350...3399 К, диапазон температур $-20...+120^\circ\text{C}$. Конденсатор $C1$ снижает ВЧ-помехи, которые могут наводиться, например, от мобильного селсфона. Варианты: $C1 = 0$; поменять местами $R1$ и $RK1$;

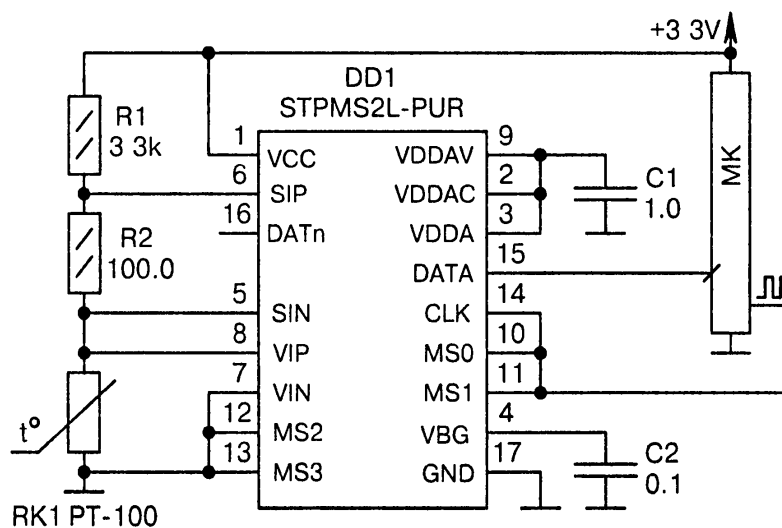
б) терморезистор $RK1$ питается от того же «аналогового» напряжения $AVDD$, что и АЦП МК. Это повышает точность измерения температуры. Варианты: $R1 = RK1 = 100\text{k}$;

в) аналогично Рис. 2.18, а, но с питанием делителя напряжения $R1, RK1$ от внутреннего ИОН МК. Это снижает погрешность измерения температуры,

г) SMD-терморезистор $RK1$ входит в состав одного из двух делителей напряжения: $R1, R2$ или $R3, R4$. Температурный диапазон выбирается джамперами $XT1, XT2$, при этом в программе надо подстраивать коэффициенты усиления в каналах АЦП. Напряжение, пропорциональное температуре, измеряется дифференциальным способом, что позволяет повысить точность, ☉



д)



е)

⊙ Рис. 2.18. Схемы подключения терморезисторов к МК (окончание):

д) на ОУ *DA1*, *DA2* выполнен источник стабильного тока. Этот ток пропускается через пленочный терморезистор *RK1*. Напряжение на терморезисторе, пропорциональное температуре, подаётся на вход АЦП МК через ФНЧ (*R8*, *C3*, *C4*). Дампер *XT1* нужен для калибровки измерительного тракта по образцовому резистору *R9* и для перепроверки показаний температуры;

е) измерение температуры с использованием термодатчика *RK1* класса PT-100 [2-3]. Микросхема *DD1* представляет собой дельта-сигма АЦП с разрядностью 11...16 бит. АЦП производит оцифровку показаний. Частота сигнала на входе *CLK DD1* должна составлять 1...4 МГц. Данные в МК принимаются в последовательном виде через выход *DATA*

2.7.2. Интегральные аналоговые термодатчики

Аналоговые термодатчики выдают информацию о температуре окружающей среды в виде пропорционально изменяющегося постоянного напряжения на выходе. Обычно это трёхвыводные микросхемы, имеющие контакт питания, контакт общего провода и информационный выход (Рис. 2.19, а...в).

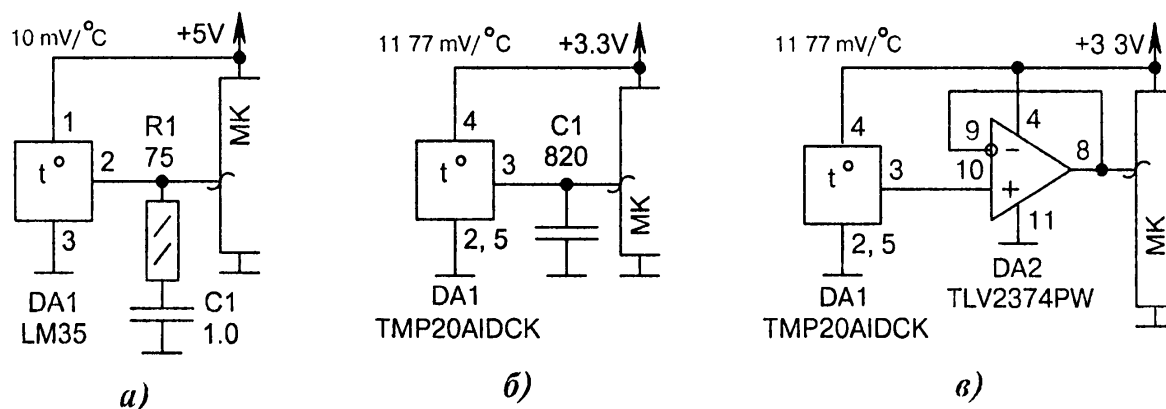


Рис. 2.19. Схемы подключения аналоговых термодатчиков к МК.

а) *DA1* — аналоговый датчик температуры, точность $\pm 0.5^\circ\text{C}$, диапазон $+2 \dots +150^\circ\text{C}$. Цепочка *R1*, *C1* демпфирует колебания сигнала на выводе *OUT* при начальной подаче питания $+5\text{ В}$. При нулевой температуре напряжение на выводе *OUT* составляет около 0 В , затем оно увеличивается до 1.5 В с коэффициентом 10 мВ на градус. Варианты: *DA1* = LM45; *DA1* = MCP9701A;

б) аналогично Рис. 2.19, а, но более просто и с низкой ёмкостью конденсатора *C1*, что повышает частоту среза ФНЧ;

в) аналоговый термодатчик *DA1* обеспечивает точность измерения температуры $\pm 2.5\%$ в диапазоне $-55 \dots +130^\circ\text{C}$. Выходное напряжение аппроксимируется несколькими формулами из даташита. При температуре $+25^\circ\text{C}$ напряжение составляет 1.574 В . Буферный повторитель *DA2* устраняет влияние импеданса входа АЦП МК на точность измерения температуры

2.7.3. Интегральные цифровые термодатчики

Цифровые термодатчики выдают информацию о температуре через один из цифровых интерфейсов: 1-Wire, I²C, SPI. На Рис. 2.20, а...д для примера показаны термодатчики с интерфейсом I²C.

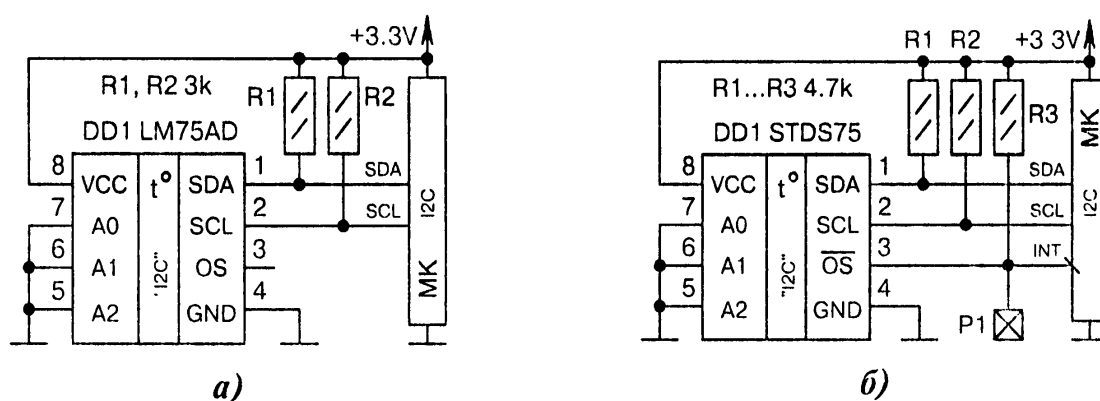


Рис. 2.20. Схемы подключения цифровых термодатчиков к МК (начало).

а) *DD1* — цифровой температурный датчик, работающий в диапазоне $-55 \dots +125^\circ\text{C}$. Разрядность внутреннего АЦП составляет $9/12$ бит, типовая точность $\pm 0.5^\circ\text{C}$;

б) аналогично Рис. 2.20, а, но с выходом $\overline{\text{OS}}$ (открытый сток), который соединяется с внешним контактом *P1*. Это позволяет организовать режим работы «а-ля термореле», когда при превышении определённого порога температуры на выходе $\overline{\text{OS}}$ появляется НИЗКИЙ уровень. Варианты: *DD1* = STLM75M2E, *R3* = 100k; *DD1* = LM75B, *R1...R3* = 10k; ⊕

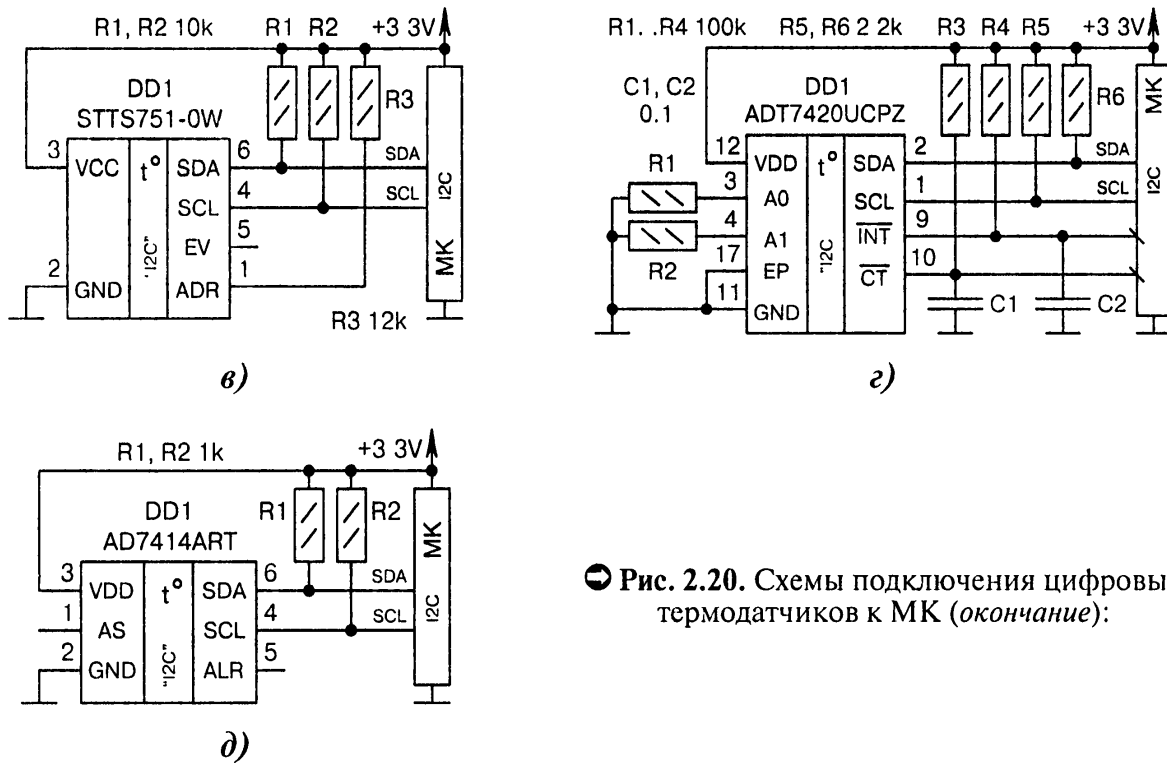


Рис. 2.20. Схемы подключения цифровых термодатчиков к МК (окончание):

в) аналогично Рис. 2.20, б, но с другим типом термодатчика *DD1*, логический адрес которого на шине I²C определяется аналого-цифровым способом, т. е. зависит от сопротивления резистора *R3*. В частности, сопротивление 12 кОм означает адрес 1001001b. Температура измеряется в диапазоне $-40 \dots +125^\circ\text{C}$, точность $\pm 1 \dots 2\%$, время одного замера 21 мс, корпус SOT-23/6;

г) *DD1* — это высокоточный датчик температуры, имеющий абсолютную погрешность $\pm 0.25^\circ\text{C}$ в диапазоне $-20 \dots +105^\circ\text{C}$. Оцифровка показаний ведется с точностью 16 бит. Первый замер доступен через 6 мс после подачи питания, затем через каждые 240 мс. Выходы с открытым стоком \overline{INT} и \overline{CT} срабатывают, соответственно, при выходе за пределы установленного «окна» температуры и при критической температуре выше $+147^\circ\text{C}$;

д) *DD1* — это малогабаритный термодатчик с уменьшенным числом выводов. Его точность составляет $\pm 0.5^\circ\text{C}$, диапазон $-40 \dots +125^\circ\text{C}$, оцифровка 10 разрядов, корпус SOT-23/6. Вывод *DD1:1* определяет логический адрес термодатчика на шине I²C. Он может «висеть в воздухе», а может подключаться к общему проводу или к питанию через резистор сопротивлением 1 кОм

2.8. Погодные датчики

2.8.1. Датчики атмосферного давления

Современные отладочные платы содержат всевозможные датчики, в том числе и достаточно экзотические. Чтобы показать их востребованность, фирмы-изготовители разрабатывают программные пакеты, реализующие в законченном виде полезные на практике приборы.

К числу таких приборов можно отнести и погодные метеостанции (главным образом домашние), для построения которых обязательно понадобятся датчики атмосферного давления (Рис. 2.21, а...в).

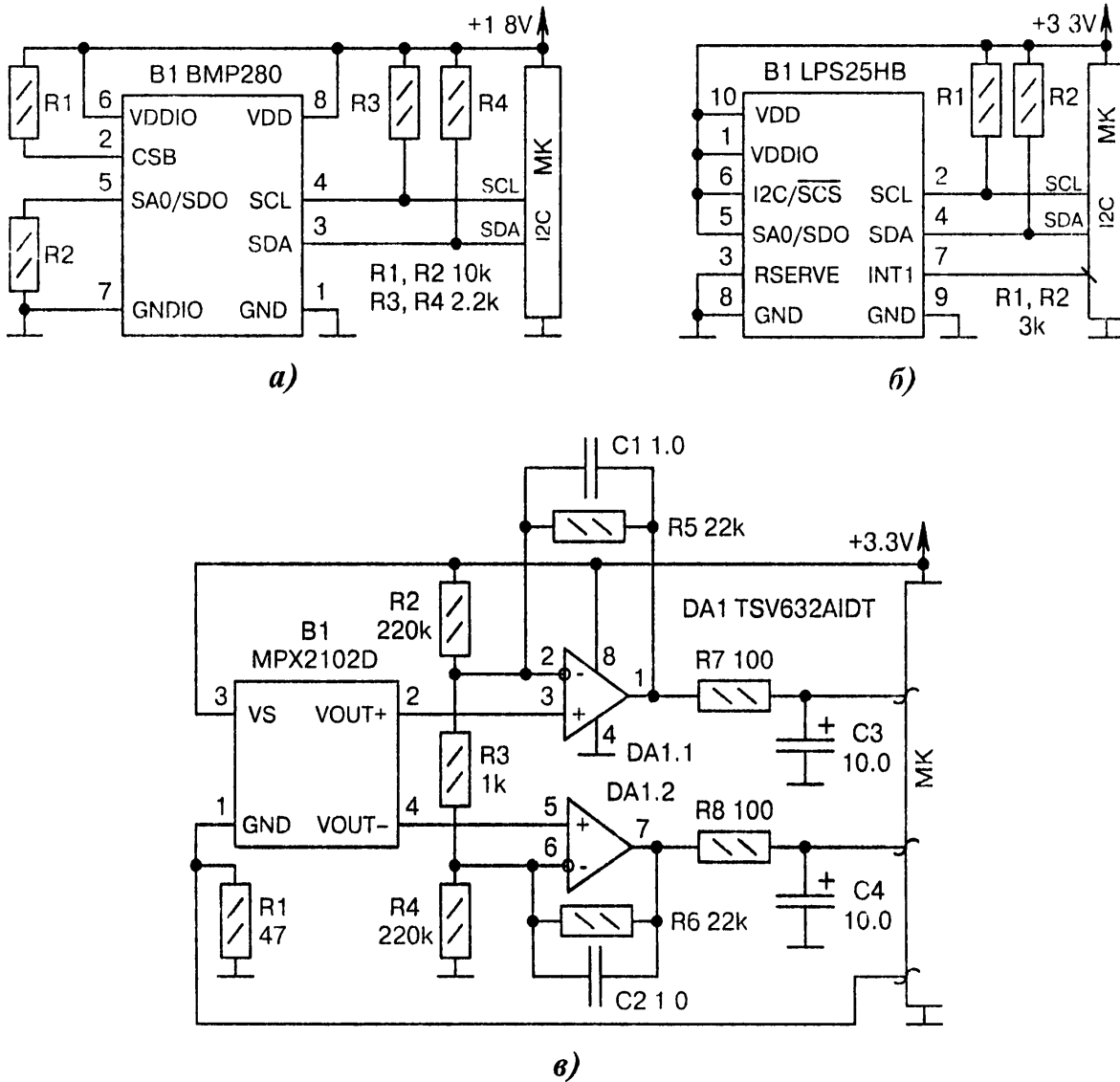


Рис. 2.21. Схемы подключения датчиков атмосферного давления к МК:

а) *B1* — это цифровой измеритель атмосферного давления 300...1100 hPa (в пересчёте на высоту +9000...–500 м), улучшенный аналог BMP180. Разрешающая способность ± 1 м, точность 16...20 бит, скорость обновления данных до 157 Гц. Управление ведётся по шине I²C, ток потребления 2.7 мкА. Имсеется встроенный измеритель температуры с разрешением $\pm 0.01^\circ\text{C}$;

б) *B1* — это цифровой барометр 260...1260 hPa, относительная точность ± 0.1 hPa, абсолютная точность ± 0.2 hPa, разрешение 24 бита, интерфейс I²C, ток потребления 4.5 мкА, скорость обновления данных 1...25 Гц;

в) *B1* — это аналоговый датчик давления 0...100 kPa, внутри которого размещается сбалансированный резистивный мост. Разность напряжений с плечей этого моста усиливается в дифференциальном усилителе, собранном на ОУ *DA1.1*, *DA1.2*, и подаётся на двухканальный АЦП МК. Аналоговое напряжение на резисторе *R1* будет изменяться от температуры, что можно использовать для коррекции показаний датчика *B1*. Резисторы *R2*...*R6* должны быть высокоточными

2.8.2. Датчики влажности

На Рис. 2.22, а, б показаны схемы подключения датчиков влажности. Они вместе с датчиками атмосферного давления тоже входят в состав погодных станций.

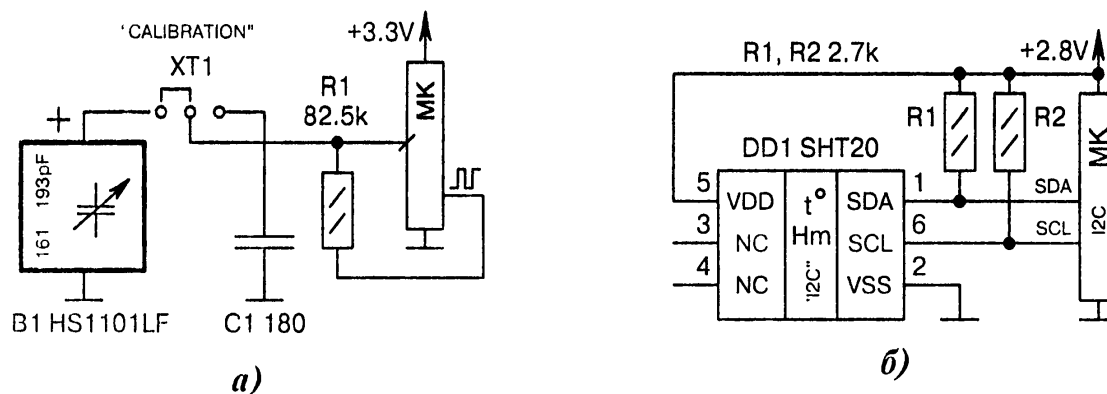


Рис. 2.22. Схемы подключения датчиков влажности к МК:

а) *B1* — это ёмкостной датчик влажности 0...100%. Точность составляет $\pm 2\%$, чувствительность 0.31 пФ/%, время стабилизации показаний 3...5 с. Влажность пересчитывается через ёмкость табличным методом или по формуле из даташита. Ёмкость датчика пропорциональна времени заряда/разряда конденсатора через резистор *R1* на частоте 10 кГц. При влажности 55% ёмкость составляет 177...183 пФ, разброс во всём диапазоне — 161...193 пФ. Для калибровки показаний служит конденсатор *C1*, который подключается к линии МК джампером *XT1*;

б) *DD1* — это совмещенный измеритель влажности 0...100% (точность $\pm 3\%$, АЦП 8...12 разрядов) и температуры $-40...+125^\circ\text{C}$ (точность $\pm 0.3^\circ\text{C}$, АЦП 12...14 разрядов). Время отклика составляет 5...8 с, ток потребления не более 0.33 мА. Варианты: *DD1* = Si7021-A10, *R1* = *R2* = 4.7k

2.9. Датчики пространственной ориентации

Датчики пространственной ориентации широко применяются в планшетах и смартфонах, отвечая за автоматический поворот картинки на экране. В играх они выступают в качестве пространственных 3D-джойстиков, когда положение персонажа зависит от угла наклона корпуса мобильного устройства.

Различают акселерометры, гироскопы и магнитометры (компасы). Акселерометры отслеживают уровень наклона устройства относительно воображаемой вертикальной оси. Гироскопы отслеживают повороты устройства вокруг вертикальной оси. Магнитометры определяют углы между собственными осями X, Y, Z и силовыми линиями магнитного поля Земли. Совместная работа трёх датчиков позволяет вычислить точное положение устройства в пространстве.

В отладочных платах датчики пространственной ориентации обычно выступают в качестве 3D-джойстиков для демонстрации потенциальных возможностей МК. Конструктивно они представляют собой малогабаритные микросхемы, выполненные по «мембранной» технологии MEMS.

Схемы сопряжения датчиков пространственной ориентации с МК отличаются для аналоговых и цифровых версий. В первом случае используется канал АЦП, во втором случае — один из цифровых интерфейсов, например I²C, SPI.

На Рис. 2.23, а...г показаны схемы подключения аналоговых акселерометров, на Рис. 2.24, а...д — цифровых акселерометров, на Рис. 2.25, а...в — гироскопов, на Рис. 2.26, а...г — магнитометров и комбинированных приборов.

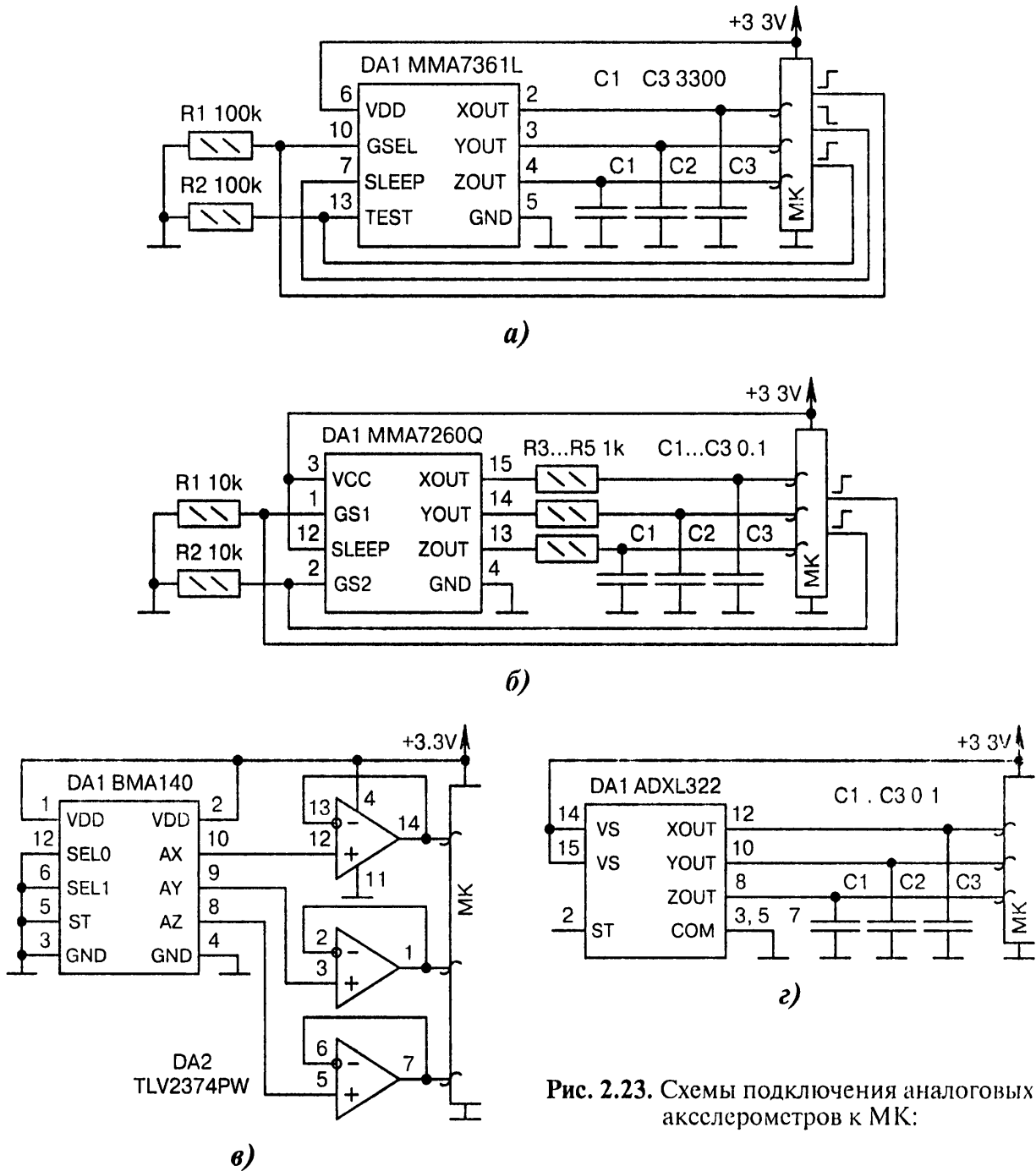


Рис. 2.23. Схемы подключения аналоговых акселерометров к МК:

а) *DA1* — это трёхосевой аналоговый акселерометр, который обеспечивает и измерение ускорений и выдаёт информацию в виде изменяющихся уровней в диапазоне 0...+3.3 В по трём каналам X, Y, Z. Конденсаторы *C1...C3* ограничивают полосу частот и снижают шумы. Резисторы *R1, R2* не дают «висеть в воздухе» входам *DA1* при сбросе МК. Сигналом *GSEL* выбираются диапазоны $\pm 1.5g$ или $\pm 6g$. ВЫСОКИМ уровнем сигнала *TEST* активируется внутренний тест самопроверки $+1g$ в канале Z. НИЗКИМ уровнем сигнала *SLEEP* датчик переводится в «спящее» состояние;

б) аналогично Рис. 2.23, а, но с другим аналоговым трёхосевым акселерометром *DA1*, с четырьмя поддиапазонами $\pm 1.5, \pm 2, \pm 4, \pm 6g$ (*GS1, GS2*) и с RC-фильтрами *R3...R5, C1...C3*;

в) *DA1* — это аналоговый трёхосевой акселерометр $\pm 4g$, чувствительность 0.33 В/г, нелинейность $\pm 0.5\%$, встроенный фильтр 1.5 кГц, потребление тока 0.2 мА, габариты 3x3x0.9 мм. Буферные повторители, выполненные на ОУ *DA2*, устраняют влияние нагрузок по трём каналам;

г) аналогично Рис. 2.23, а, но в упрощённом виде. Ускорение $\pm 2g$, чувствительность 420 мВ/г, полоса 50 Гц. Ускорению 0g соответствует выходное напряжение, равно половине питания

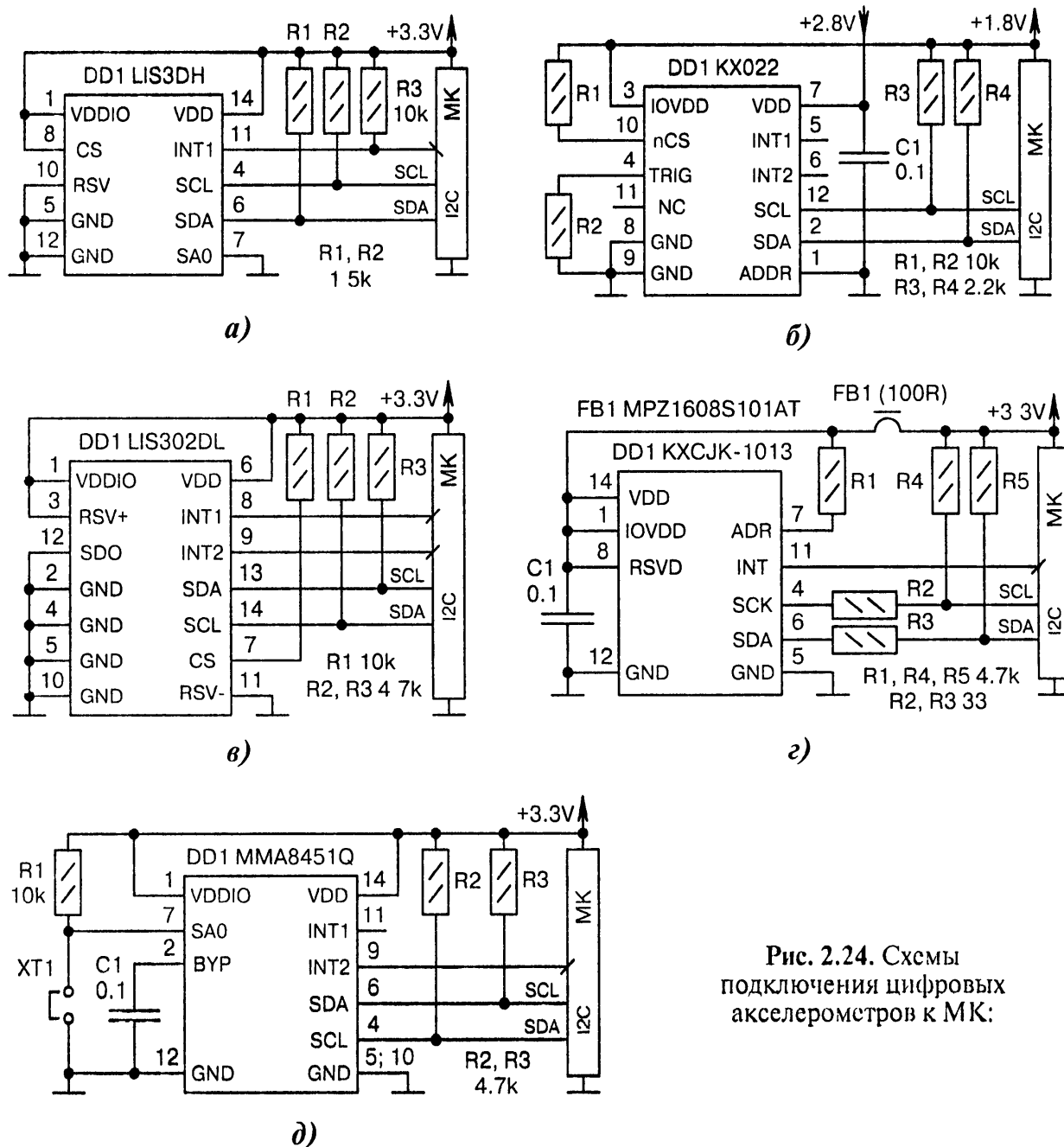


Рис. 2.24. Схемы подключения цифровых акселерометров к МК:

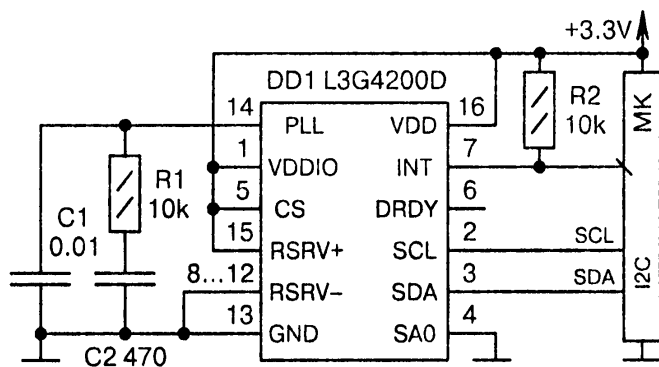
а) *DD1* — это цифровой трёхосевой акселерометр $\pm 2... \pm 16g$, точность 16 бит. Управление, настройка и получение информации производятся по шине I²C (*SCL*, *SDA*) через регистры. Поддерживаются режимы самотестирования, а также ориентации 4D/6D. Выход *INT1* можно настроить на генерацию НИЗКОГО уровня по определённым порогам. Варианты: *DD1* = LIS3MDL (другая цоколёвка выводов, $\pm 4... \pm 16g$); *DD1* = MMA7455L (другая цоколёвка выводов, $\pm 2... \pm 8g$),

б) аналогично Рис. 2.24, а, но с другим типом *DD1*. Ускорение $\pm 2... \pm 8g$, точность 16 бит. Особенность: двойное питание +1.8 и +2.8 В. Резистор *R1* задаёт режим I²C, но имеется ещё и SPI;

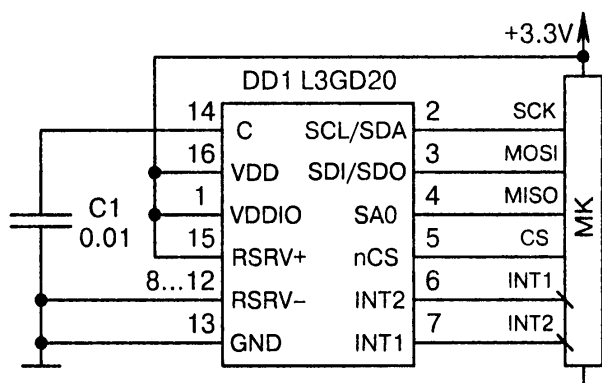
в) *DD1* — это цифровой трёхосевой акселерометр $\pm 2/\pm 8g$, обновление показаний 100..400 Гц, шаг 18 mg на отсчёт. Выходы *INT1*, *INT2* настраиваются как «push-pull» или «открытый сток»;

г) аналогично Рис. 2.24, а, но с другим типом *DD1* ($\pm 2... \pm 8g$) и с «антизвонными» резисторами *R2*, *R3*. Адрес устройства на шине I²C определяется НИЗКИМ или ВЫСОКИМ уровнем на входе *ADDR* микросхемы *DD1*, т. е. его можно изменить, закоротив выводы *DD1:7* и *DD1:5*;

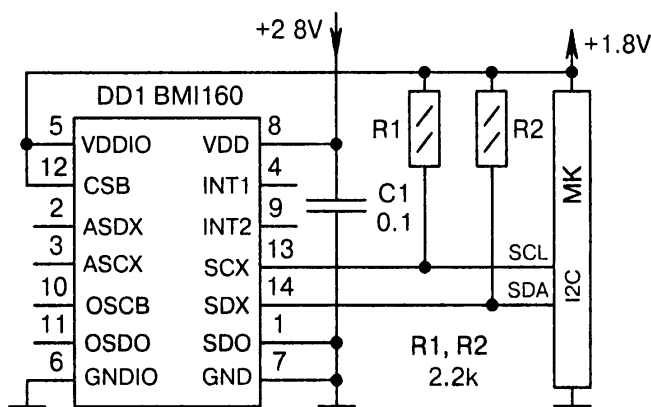
д) аналогично Рис. 2.24, а, разрядность 14/8 бит, скорость обновления данных 1.56..800 Гц. Джампер *XT1* определяет один из двух возможных адресов устройства на шине I²C



а)



б)



в)

Рис. 2.25. Схемы подключения цифровых гироскопов к МК:

а) *DD1* — это цифровой трехосевой гироскоп, управляемый по шине I²C. Информация снимается с внутренних регистров. Угловая скорость $\pm 250 \dots \pm 2000$ град/с, один отсчет соответствует 8.75. 70 мград/с. Полоса частот задается элементами цепи ФАПЧ *R1*, *C1*, *C2*. Вывод *INT* может быть запрограммирован на выдачу НИЗКОГО уровня при достижении определенных порогов. Выводы *RSRV-*, *RSRV+* являются резервными, но они должны обязательно подключаться, соответственно, к общему проводу и к питанию,

б) аналогично Рис. 2.25, а, но с другой микросхемой цифрового трёхосевого гироскопа *DD1*, подключаемой к МК через шину SPI. Угловая скорость $\pm 250 \dots \pm 2000$ dps, размеры 4x4x1 мм;

в) *DD1* — это совмещённый прибор, в котором содержится трёхосевой акселерометр и трёхосевой гироскоп. Управление ведётся по шине I²C, точность 16 бит, поддержка 6 или 9 осей, двойное питание +1.8 и +2.8 В, низкое потребление тока 950 мкА

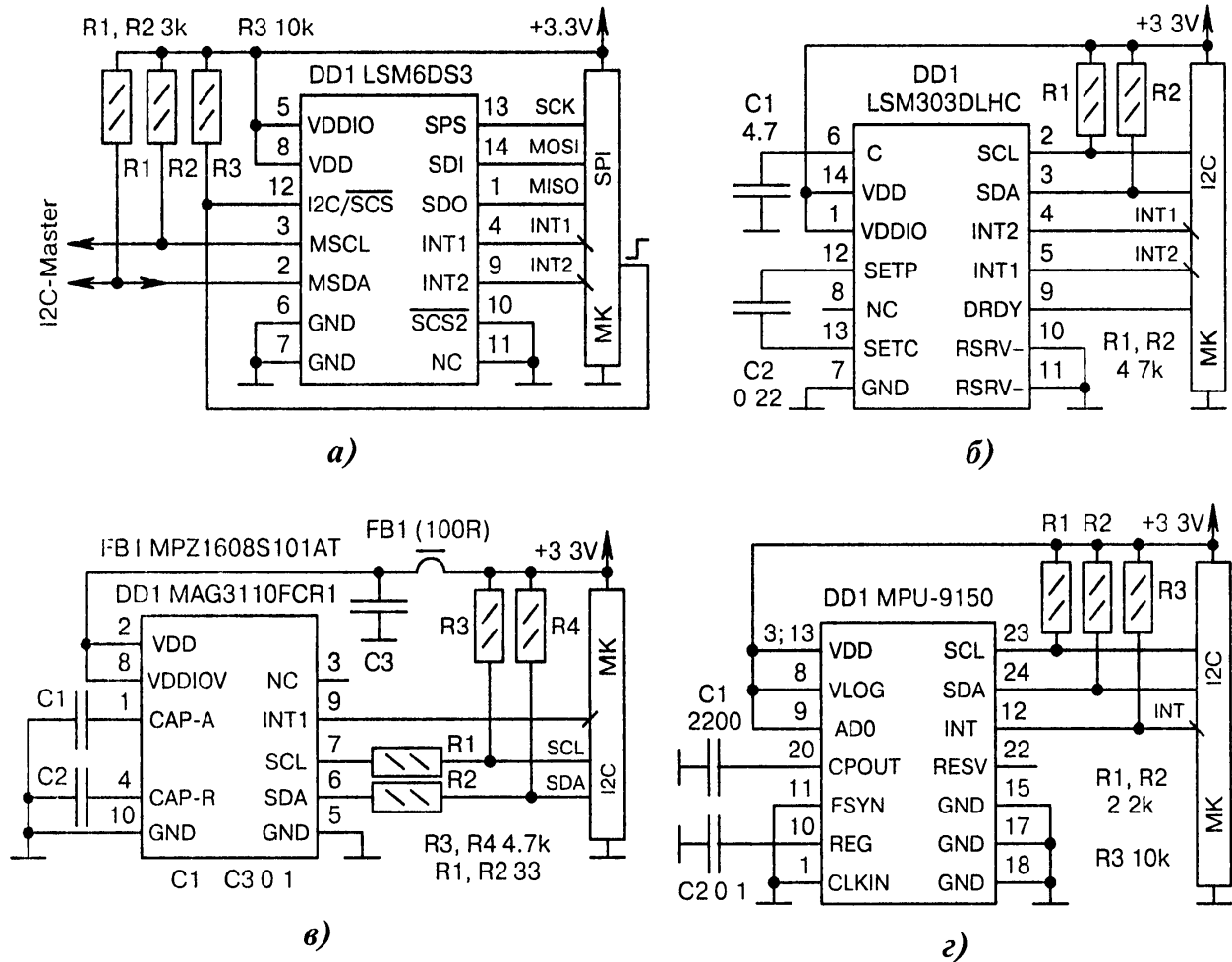


Рис. 2.26. Схемы подключения магнитометров и комбинированных приборов к МК:

а) *DD1* — это комбинированный прибор, в котором содержатся акселерометр ($\pm 2... \pm 16g$) и 3D-гироскоп ($\pm 125... \pm 2000$ dps). Ток потребления 0.9...1.25 мА. Реагирует на одиночные и двойные постукивания по корпусу, как принято в устройствах Android K и L. Имеет два интерфейса связи: SPI для сопряжения с МК и I²C-Master для управления внешней аппаратурой;

б) *DD1* — это комбинированный прибор, в котором содержатся трёхосевой акселерометр ($\pm 2g... \pm 16g$) и трёхосевой магнитометр ($\pm 1.3... \pm 8.1$ гаусс). Разрядность оцифровки 16 бит. Управление ведётся по шине I²C, ток потребления 110 мкА. Варианты: *DD1* = LSM303CTR;

в) *DD1* — это комбинированный прибор, в котором содержатся: трёхосевой акселерометр ($\pm 2g... \pm 16g$, 16 бит), трёхосевой гироскоп ($\pm 250... \pm 2000$ dps, 16 бит), трёхосевой магнитометр (± 1200 мкТ, 13 бит). Управление ведётся по шине I²C, габариты 4x4x1 мм;

г) *DD1* — это трёхосевой магнитометр с параметрами: диапазон ± 1000 мкТл, шаг 0.1 мкТл, уровень собственных шумов 0.25 мкТл, частота обновления данных 80 Гц, габаритные размеры 2x2x0.85 мм. Установка режимов магнитометра производится по шине I²C с тактовой частотой до 400 кГц

2.10. Прочие схемы узлов ввода

На Рис. 2.27, а...д показаны схемы узлов ввода, которые по тем или иным причинам не попали в общую классификацию.

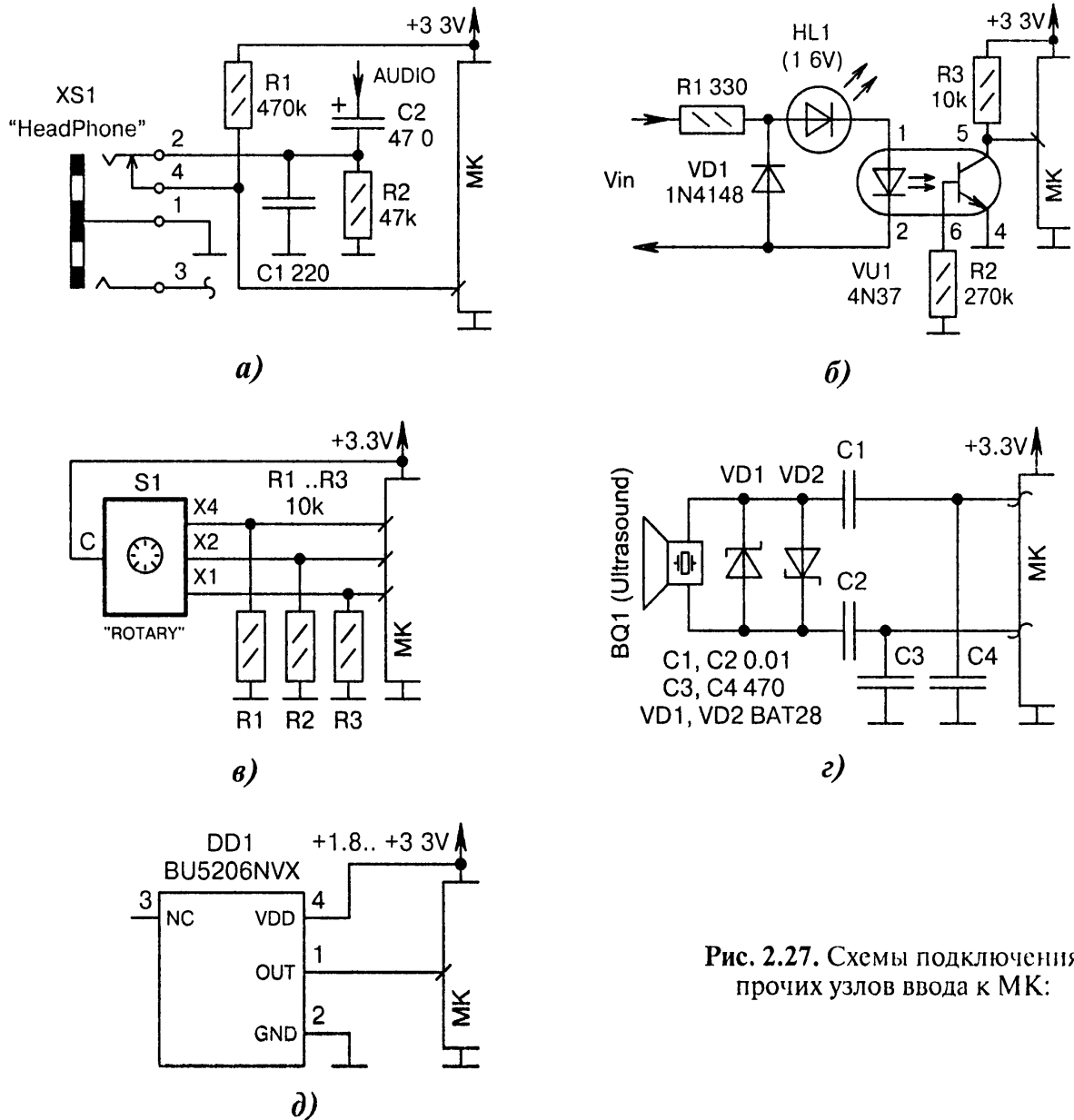


Рис. 2.27. Схемы подключения прочих узлов ввода к МК:

а) в гнездо *XS1* вставляются стереонаушники, при этом разрывается электрическая связь между контактами *XS1:2* и *XS1:4*. Соответственно, МК определяет факт подключения наушников по НИЗКОМУ (делитель *R1*, *R2*) или ВЫСОКОМУ (резистор *R1*) уровню на своём входе;

б) при подаче входного сигнала *Vin* включается светодиод *HL1* и открывается транзистор оптопары *VU1*. Быстродействие 7.5...10 мкс. Резистор *R2* повышает помехоустойчивость;

в) *S1* — это механический цифровой шифратор на 8 положений. Контакты «1», «2», «4» замыкаются на общую цепь «С» в двоичном коде от 000 (все цепи разомкнуты) до 111 (все цепи замкнуты). На входах МК каждому положению *S1* соответствуют свои уникальные логические уровни. Резисторы *R1...R3* могут отсутствовать, если в МК имеются «pull-down» резисторы;

г) *B1* — это ультразвуковой приёмник отражённого сигнала, работающий на частоте 40 кГц. Обработкой информации занимается МК линейки MAXQ7667 (Ultrasonic Distance-Measuring System [2-4]), в котором имеются дифференциальный усилитель и узел фильтрации;

д) *DD1* — это цифровой датчик Холла, реагирующий на смену положительного и отрицательного магнитных полюсов. Для экономии энергопотребления измерение магнитного поля ведётся импульсно, через каждые 50 мс. Дистанция от магнита 1...10 мм. Последнее измеренное значение запоминается в виде НИЗКОГО (юг) или ВЫСОКОГО (север) уровня на выходе *OUT*

Список использованных источников и литературы к главе 2

- 2-1. Реализация фильтров на операционных усилителях [Электронный ресурс] / сост. Г. И. Волович. — Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/funop_11_6.htm — 14.04.2017.
- 2-2. Сысоева, С. МЭМС-технологии. Простое и доступное решение сложных системных задач / S. Sisoeva // Электроника: НТБ. — 2009. — № 7. — С. 80–89.
- 2-3. Датчики температуры pt-100, pt-500. Таблица сопротивлений [Электронный ресурс] / ООО «ТеплоКомСервис». — Режим доступа: <http://teplokom.com.ua/kamstrup-daniya/datchiki-temperature-pt-100-pt-500-tablica-soprotivleniy.html>. — 14.04.2017.
- 2-4. MAXQ7667. 16-Bit, RISC, Microcontroller-Based, Ultrasonic Distance-Measuring System [Электронный ресурс] / Maxim Integrated Products, 2009. — Режим доступа: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAXQ7667.pdf> (англ.). — 14.04.2017.

СХЕМЫ УЗЛОВ УПРАВЛЕНИЯ И ТАКТИРОВАНИЯ

*Управлять — значит предвидеть.
(Екатерина II Великая)*

3.1. Формирователи сигналов начального сброса

3.1.1. Узлы внешнего сброса МК

На Рис. 3.1, а...з показаны схемы организации начального сброса МК с подачей управляющего сигнала от внешнего источника.

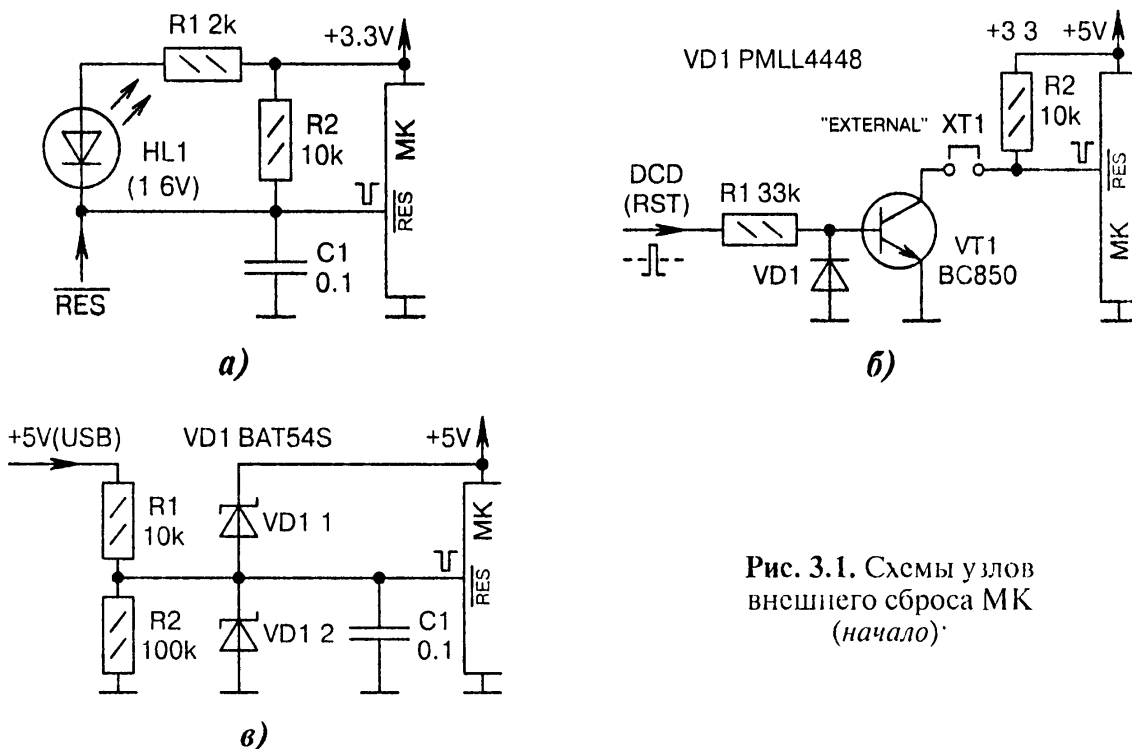


Рис. 3.1. Схемы узлов внешнего сброса МК (начало)

а) подача внешнего сигнала сброса \overline{RES} сопровождается включением красного светодиода *HL1*. Варианты: $R1 = 1k$;

б) внешний сброс положительным импульсом 10 В с линии *DCD* или *RST COM*-порта. Диод *VD1* защищает транзистор *VT1* от отрицательного входного напряжения. Варианты: $R1 = 2.2k$, $VT1 = DTC114YKA$ («цифровой» транзистор с внутренним базовым резистором 10k);

в) работа МК начинается только тогда, когда подключается кабель USB к компьютеру и появляется напряжение +5V(USB). До этого момента МК находится в постоянном сбросе; ☹

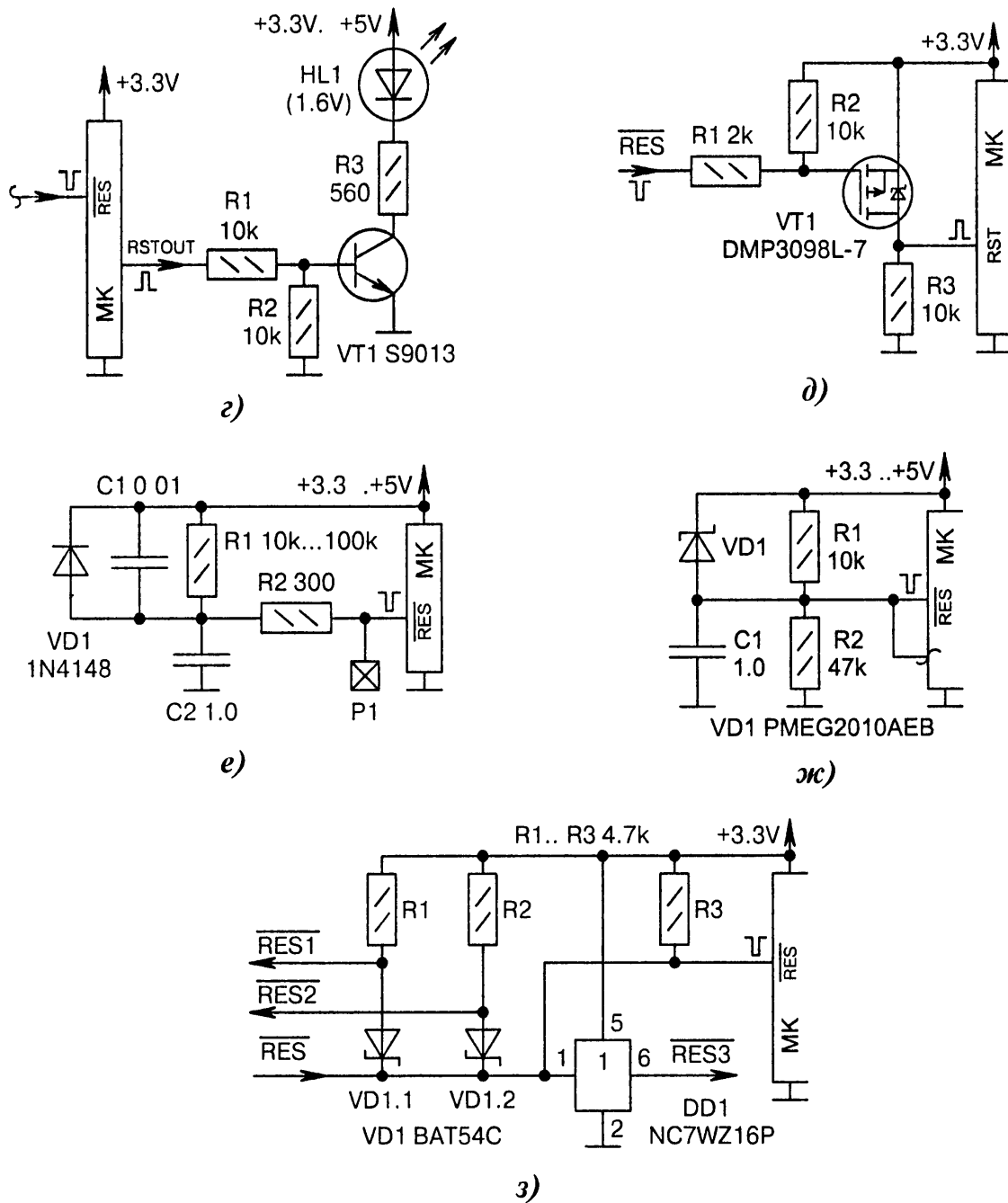


Рис. 3.1. Схемы узлов внешнего сброса МК (окончание):

г) некоторые МК имеют специальный выход $RSTOUT$, на котором дублируется инверсное состояние входа \overline{RES} . Светодиод $HL1$ служит индикатором срабатывания системы начального сброса. Сигнал $RSTOUT$ может также использоваться для синхронизации других устройств;

д) инверсия сигнала сброса \overline{RES} при помощи ключа на полевом транзисторе $VT1$;

е) универсальная схема внешнего сброса МК с возможностью использования вывода \overline{RES} в качестве линии порта входа/выхода. На контакт $P1$ может подаваться сигнал внешнего сброса, при этом резистор $R2$ служит своего рода изолятором. Варианты: $C1 = 0$; $C2 = 0.1 \dots 0.68$;

ж) резисторы $R1$, $R2$ образуют делитель, через который можно измерить напряжение питания МК (нижний вход канала АЦП), не теряя функции начального сброса (элементы $C1$, $VD1$);

з) с помощью диодов Шоттки $VD1.1$, $VD1.2$ и логического элемента $DD1$ (корпус SC70-6) формируются три развязанных между собой сигнала сброса $\overline{RES1}$, $\overline{RES2}$, $\overline{RES3}$. Активируются они при НИЗКОМ уровне внешнего сигнала \overline{RES}

3.1.2. Начальный сброс МК от тактовой кнопки

подавляющее большинство отладочных плат содержит так называемую тактовую кнопку [3-1], предназначенную для начального сброса МК (Рис. 3.2, а...и).

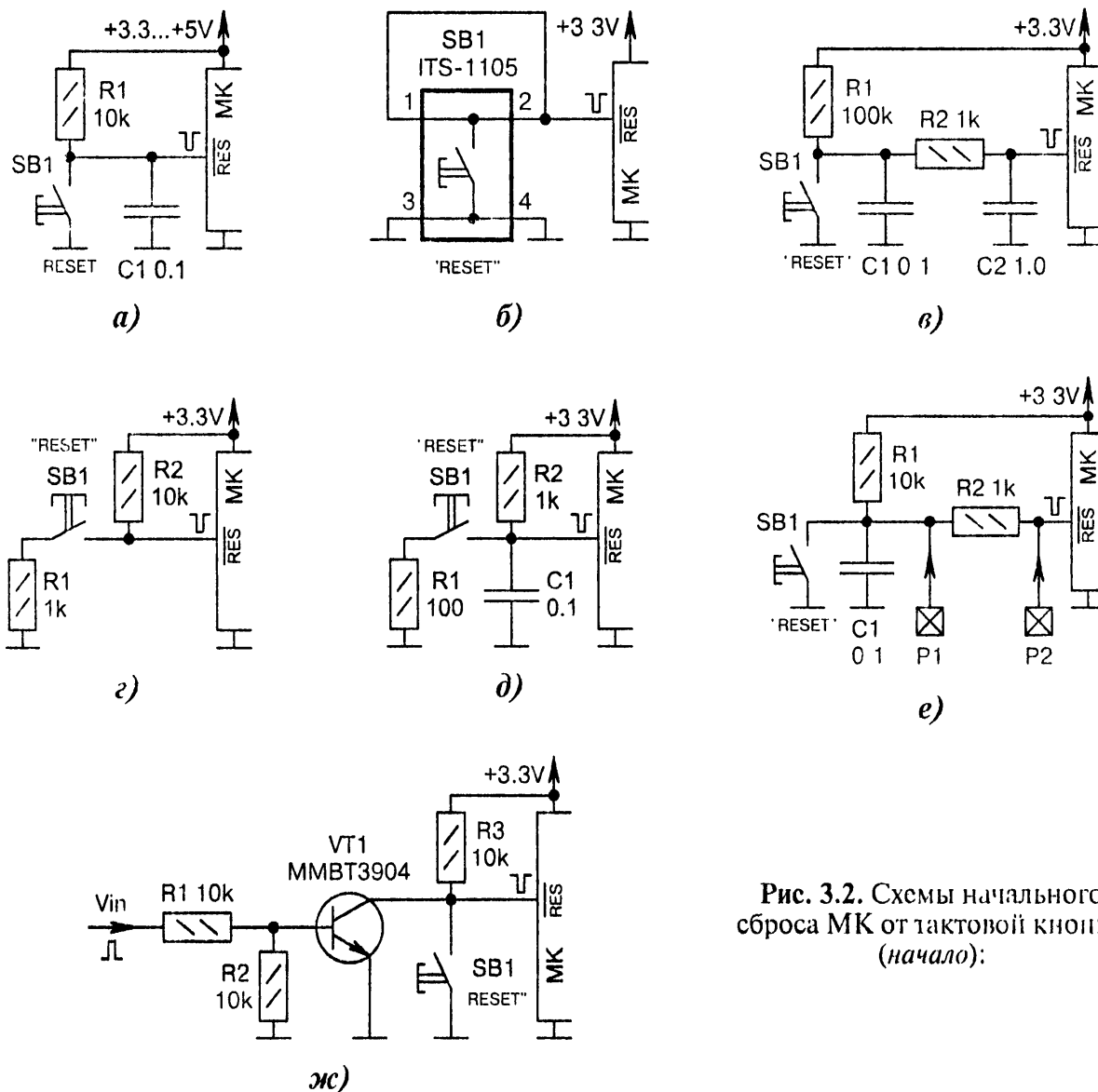


Рис. 3.2. Схемы начального сброса МК от тактовой кнопки (начало):

а) элементы $R1$, $C1$ обеспечивают автоматический сброс МК при включении питания. Кнопкой $SB1$ осуществляется ручной сброс, в том числе и для программирования через булдогер. Варианты $R1 = 2.2k$, $R1 = 100k$; $C1 = 1.0$, $R1$ отсутствует, $R1 = 4.7k$, $C1 = 0.01$, $C1 = 10.0$,

б) простейшая схема сброса, применяемая в AVR-контроллерах, когда внутри МК имеется «pull-up» резистор сопротивлением 30...80 кОм. Тактовая кнопка $SB1$, несмотря на 4 вывода, на самом деле имеет один замыкающий контакт;

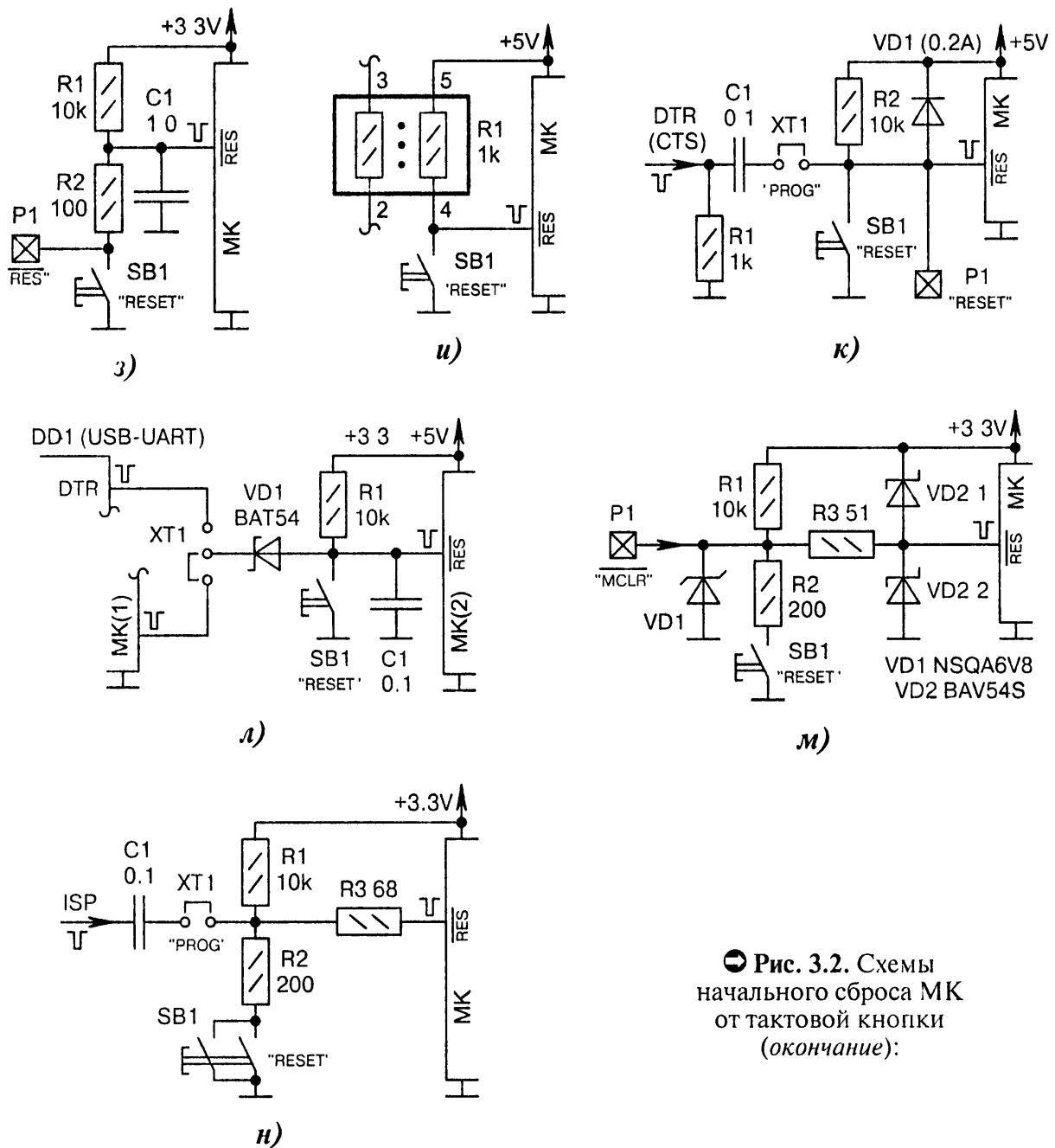
в) двойная фильтрация сигнала сброса цепочками $R1$, $C1$ и $R2$, $C2$ повышает надёжность,

г) кнопка $SB1$ не соединяется напрямую с общим проводом, что может быть связано с удобством разводки печатной платы. Резистор $R1$ служит демпфером;

д) аналогично Рис. 3.2, г, но с меньшими номиналами резисторов и дополнительным конденсатором фильтра $C1$. Отношение сопротивлений резисторов $R1$, $R2$ остаётся прежним 10:1;

е) резистор $R2$ «развязывает» контактные площадки $P1$, $P2$. Варианты: $R1 = 1k$, $C1 = 2.2$;

ж) внешний сброс МК от другой микросхемы или контроллера через транзистор $VT1$; ☉



● Рис. 3.2. Схемы начального сброса МК от тактовой кнопки (окончание):

з) при замыкании контактов кнопки *SB1* конденсатор *C1* разряжается через резистор *R2*, что снижает импульсные помехи при начальном сбросе. Варианты: $R1 = 330 \text{ Ом}$, $C1 = 0.1$;

и) резистор *R1* имеет сопротивление 1 кОм вместо стандартных 10 кОм. Увеличение тока через контакты кнопки *SB1* с 0.5 до 5 мА не сказывается на экономии энергии ввиду редких случаев нажатия. Такое решение оправдано, когда имеются лишние резисторы в сборке *R1*;

к) в МК прошит начальный загрузчик, поэтому подача сигнала сброса запускает процедуру программирования. Сигнал *DTR (CTS)* поступает от конвертера USB-UART. Диод *VD1* ускоряет разряд конденсатора *C1*;

л) джампером *XT1* выбирается один из двух источников начального сброса: от конвертера USB-UART или от другого МК (КМОП-микросхемы, транзисторного ключа);

м) дополнительная защита МК от внешних всплесков напряжения сапрессором *VD1*. Резистор *R2* позволяет заблокировать кнопку сброса *SB1* ВЫСОКИМ уровнем на контакте *P1*;

н) джампером *XT1* отключается возможность программирования МК через бутлоудер. Резисторы *R2*, *R3* ограничивают броски тока. Контакты кнопки *SB1* для надёжности запараллелены

3.1.3. Сброс МК от супервизоров

На Рис. 3.3, а...м показаны схемы организации сброса МК от микросхем, выполняющих функцию супервизора, т. е. реагирующих на просадки питания «Brown-Out» и обеспечивающих небольшую задержку времени после старта. Схемы с супервизорами часто дополняются кнопками сброса.

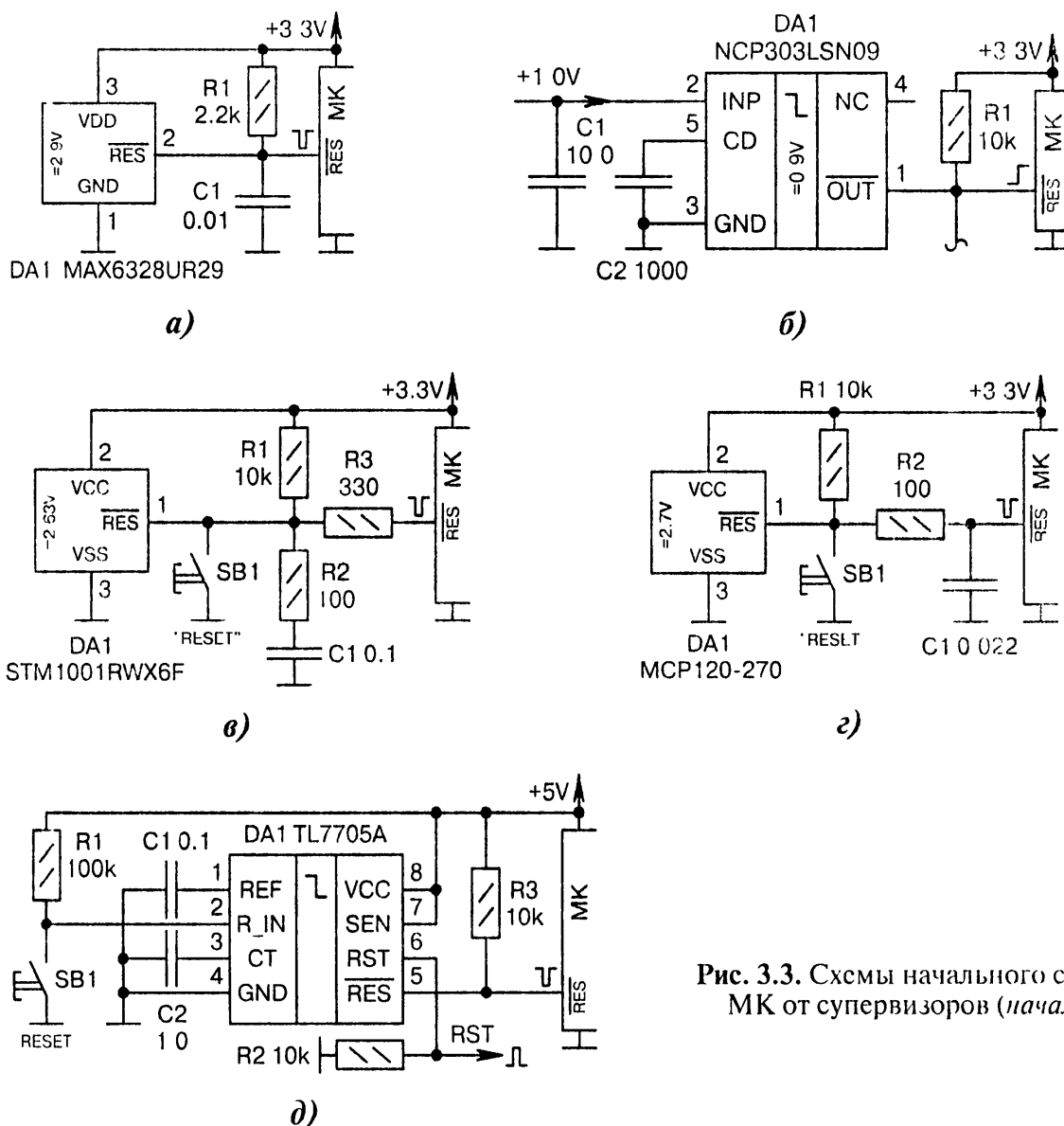


Рис. 3.3. Схемы начального сброса МК от супервизоров (начало).

а) *DA1* — это трехвыводной супервизор питания, который срабатывает при снижении питания МК до +2.9 В. При кратковременной просадке питания длительность импульса сброса определяется постоянной времени цепочки *R1*, *C1*. Варианты: *DA1* = R3130N29;

б) на вход *INP* порогового детектора *DA1* подаётся напряжение +1 В, которое используется для питания ядра МК или системы ФАПЧ. Следовательно, до тех пор, пока это напряжение не застabilизируется на уровне выше +0.9 В, на вход сброса МК будет поступать НИЗКИЙ уровень (открытый сток выхода \overline{OUT} микросхемы *DA1*), блокирующий работу системы;

в) аналогично Рис. 3.3, а, но с кнопкой сброса *SB1* и демпфирующим резистором *R2*;

г) элементы *R2*, *C1* образуют ФНЧ, подавляющий импульсные помехи ложного сброса,

д) порог срабатывания супервизора *DA1* составляет +4.55 В. С выхода *RST* можно снимать инвертированный сигнал сброса положительной полярности; ⊖

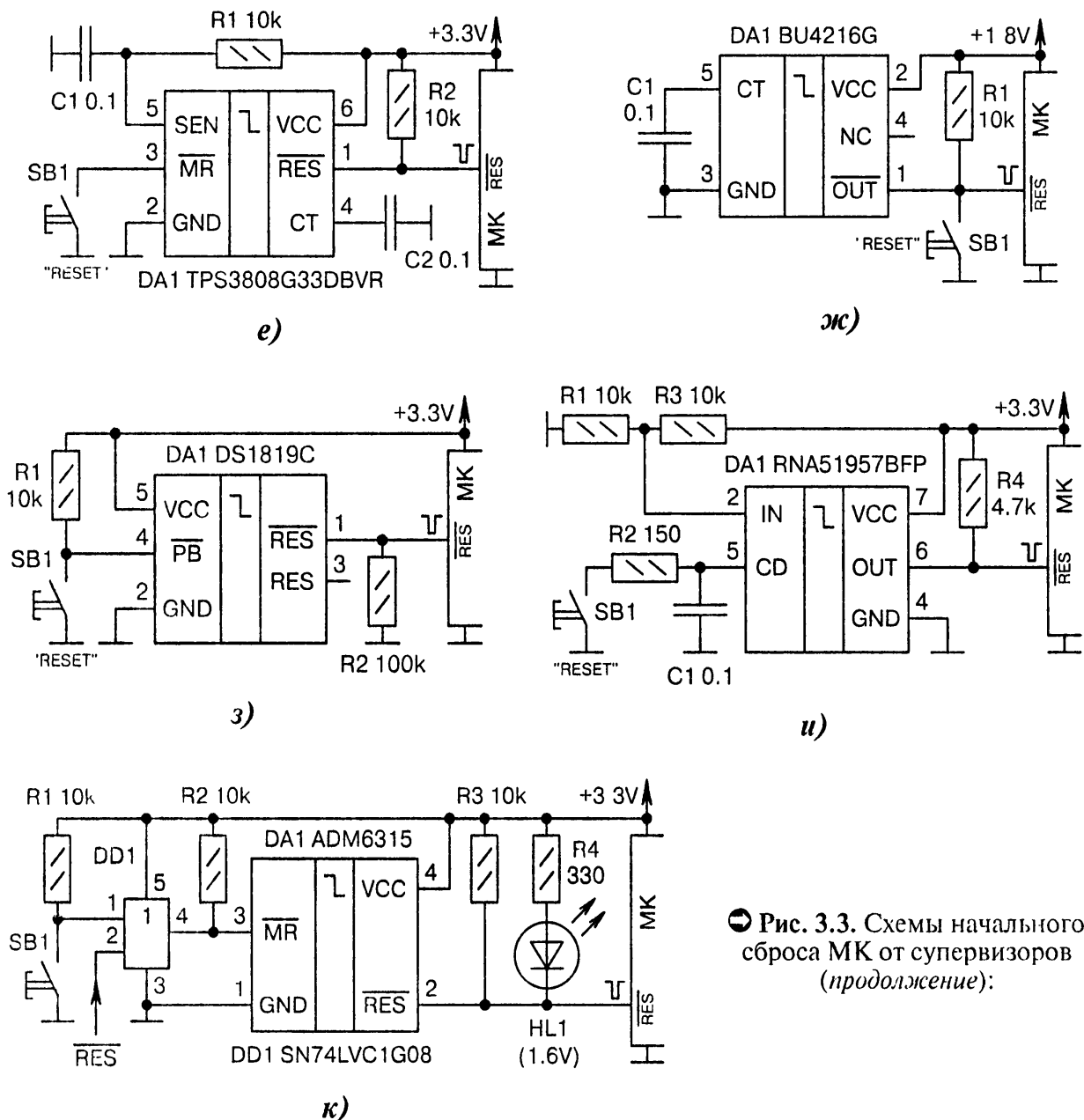


Рис. 3.3. Схемы начального сброса МК от супервизоров (продолжение):

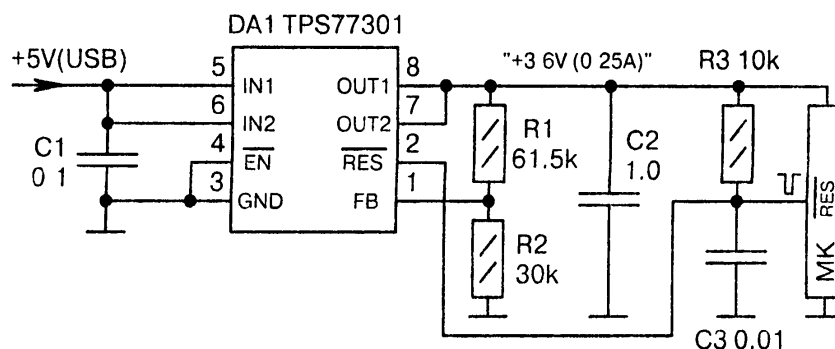
е) аналогично Рис. 3.3, д, но с более низким напряжением питания. Порог срабатывания составляет +3.07 В, при этом измерительная цепь фильтруется элементами $R1$, $C1$. Длительность импульса сброса определяется ёмкостью конденсатора $C2$ и составляет примерно 0.6 с;

ж) $DA1$ — это микросхема супервизора питания, вырабатывающая сигнал сброса при снижении напряжения питания МК до +1.6 В. Длительность сброса регулируется конденсатором $C1$ в пределах от 1 до 500 мс при ёмкости, соответственно, от 100 пФ до 0.1 мкФ;

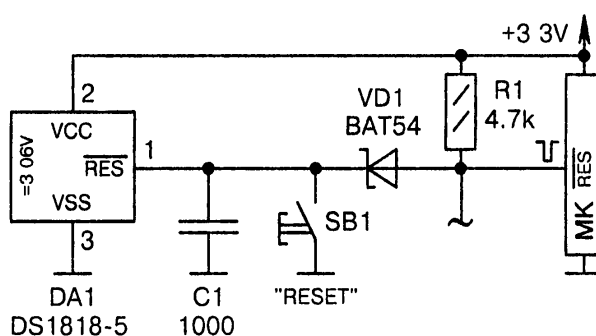
з) микросхема $DA1$ устраняет «дребезг» контактов кнопки $SB1$ и одновременно вырабатывает импульс сброса 140. 280 мс при просадках питания ниже +2.55...+2.7 В. Выход \overline{RES} имеет схему «push-pull». Резистор $R2$ рекомендован по даташиту при низком напряжении питания;

и) порог срабатывания супервизора $DA1$ задаётся делителем на резисторах $R1$, $R3$. Порог вычисляется по формуле $V_x[\text{В}] = 1.25 \cdot (1 + (R1[\text{кОм}] / R3[\text{кОм}])) = 2.5 \text{ В}$. Конденсатор $C1$ определяет длительность импульса сброса по формуле $T_x[\text{мс}] = 340 \cdot C1[\text{мкФ}]$. Варианты: $R2 = 0$;

к) на логическом элементе $DD1$ выполнен узел разделения внешнего сигнала сброса \overline{RES} и тактовой кнопки $SB1$. Индикация сброса осуществляется светодиодом $HL1$. Варианты: $DA1 = ADM6384YKS29DIZ$, $HL1$ отсутствует, $DD1 = NC7S08$, $R1 = R2 = 100\text{k}$; Ⓣ



л)



м)

Рис. 3.3. Схемы начального сброса МК от супервизоров (окончание).

л) микросхема *DA1* не только стабилизирует напряжение +3.6 В для МК, но и вырабатывает сигнал сброса 220 мс при каждом включении питания и при кратковременных просадках;

м) *DA1* — это супервизор, выдающий импульс НИЗКОГО уровня длительностью 150 мс при снижении питания до +3.06 В и при отпускании кнопки *SB1* (подавление «дребезга» контактов). Диод *VD1* развязывает *DA1* и МК, разрешая последнему самому генерировать импульсы сброса

3.2. Внешние источники опорного напряжения

Различают схемы прямой подачи опорного напряжения (Рис. 3.4, а...е) и схемы с использованием стабилизаторов напряжения (Рис. 3.5, а...н).

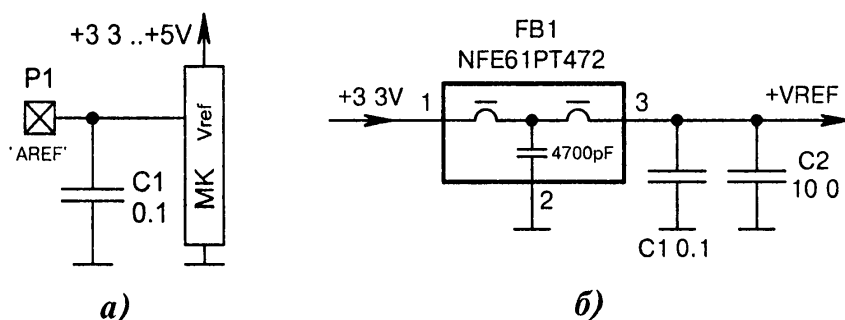
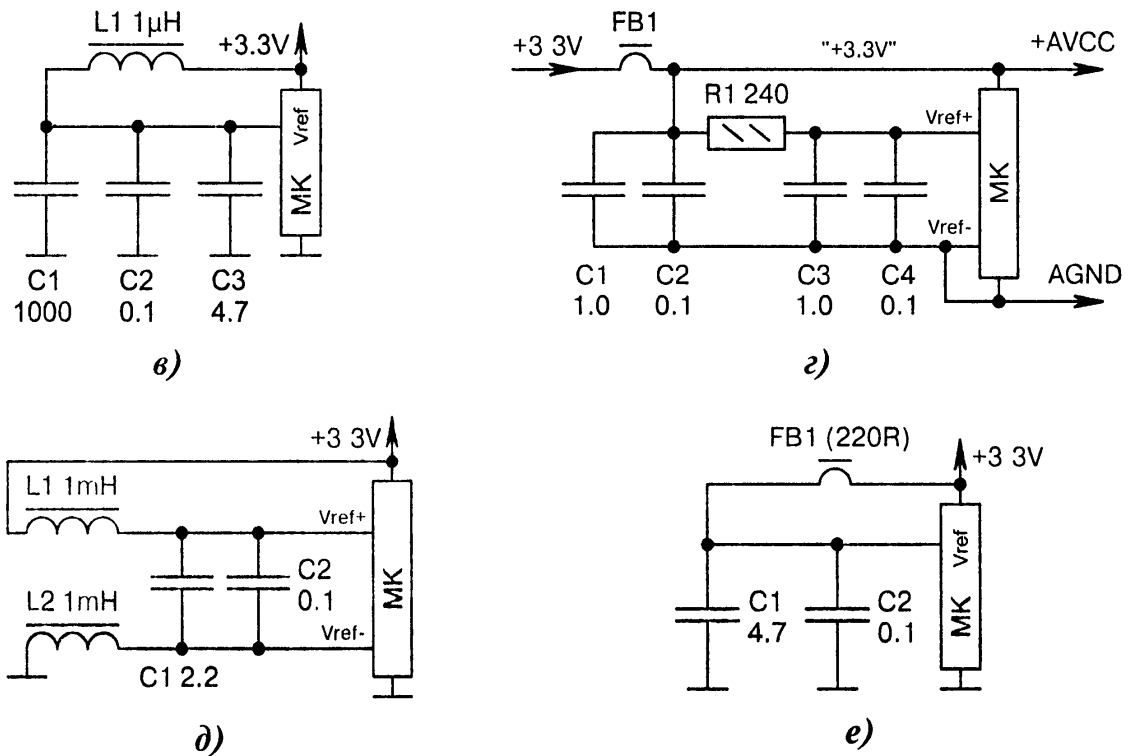


Рис. 3.4. Схемы непосредственной подачи опорного напряжения (начало):

а) в некоторых МК вывод *VREF* может функционировать как вход ИОН и как выход ИОН. Конденсатор фильтра *C1* в обоих случаях обеспечивает снижение помех и пульсаций;

б) ферритовый фильтр *FB1* эффективно подавляет помехи в полосе 1...1000 МГц. Допустимый ток 2 А. Фильтр полезен при импульсном источнике питания +3.3 В; ☹



⊕ Рис. 3.4. Схемы непосредственной подачи опорного напряжения (окончание):

в) ИОН МК по постоянному току напрямую соединяется с цепью питания. Такое допускается, если источник питания хорошо застabilизирован. «Разновеликие» керамические конденсаторы $C1...C3$ устанавливаются вблизи от вывода V_{ref} . Они снижают импульсные помехи, поступающие через цепь +3.3 В, в разных частотных диапазонах;

г) напряжение V_{ref} формируется совместно с аналоговым питанием $AVCC$ МК и фильтруется элементами $FB1, R1, C1...C4$. Варианты: $R1 = 47$; $FB1 = 0$;

д) если МК имеет два вывода подключения ИОН, то можно применить двойную дроссельную развязку $L1, L2$. Варианты: $C1 = 1.0, C2 = 0.01, L1 = L2 = BLM_{xxx}$ («провод в феррите»);

е) снижение ВЧ-помех с помощью ФНЧ на элементах $FB1, C1, C2$. Нижние выводы конденсаторов $C1, C2$ и общий провод МК должны подключаться к «аналоговой земле» $AGND$. Варианты: $FB1 = BLM18PG600$ (600R/100MHz), $C1 = 0$

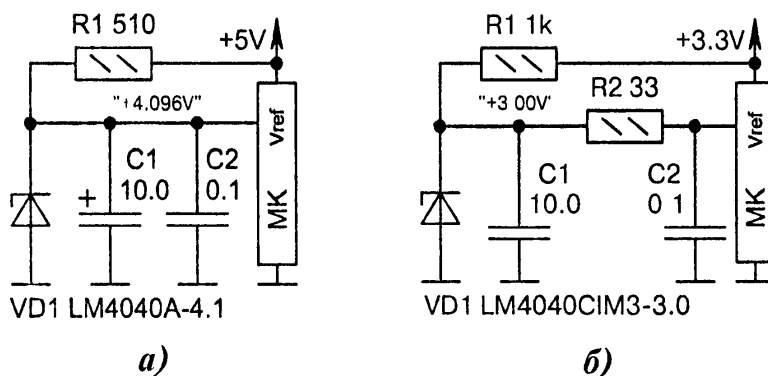


Рис. 3.5. Схемы формирования напряжения V_{ref} внешними стабилизаторами (начало)

а) стабилизатор $VD1$ поддерживает напряжение V_{ref} с точностью $\pm 0.1\%$. Номинал 4.096 В позволяет при 12-битном АЦП МК проводить измерения с приращением ровно 1 мВ на отсчёт;

б) аналогично Рис. 3.5, а, но с фильтром $R2, C2$ и питанием от +3.3 В. Конденсатор $C1$ керамический. Варианты: $R1 = 49.9, R2 = 0, C1 = 0.1, C2 = 0$; $R1 = 100; R2 = C2 = 0$; ⊕

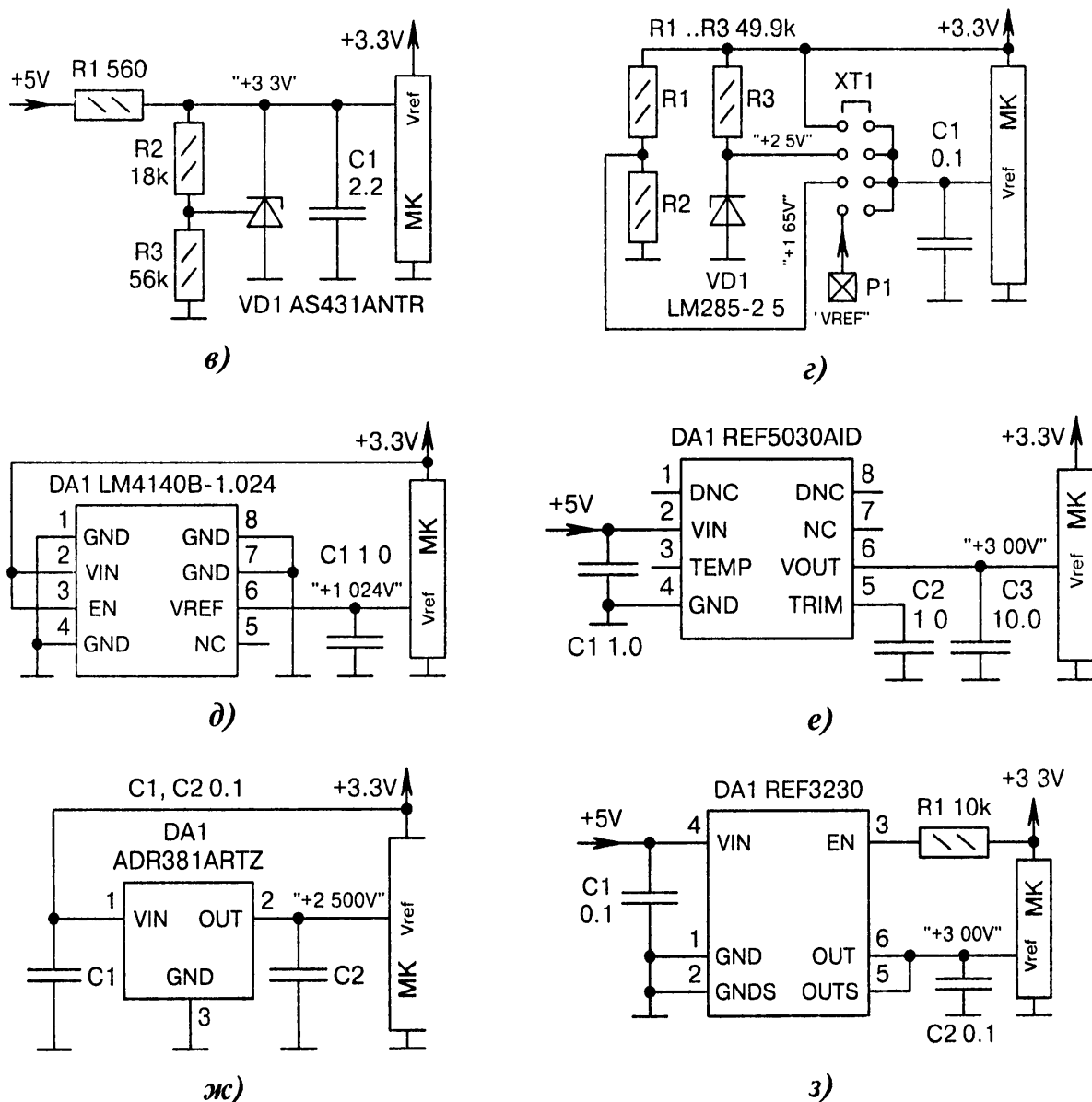


Рис. 3.5. Схемы формирования напряжения V_{ref} внешними стабилизаторами (продолжение):

в) напряжение питания МК по номиналу совпадает с напряжением V_{REF} , но источники у них разные. Точность установки напряжения трёхвыводного стабилизатора $VD1$ составляет $\pm 0.5\%$,

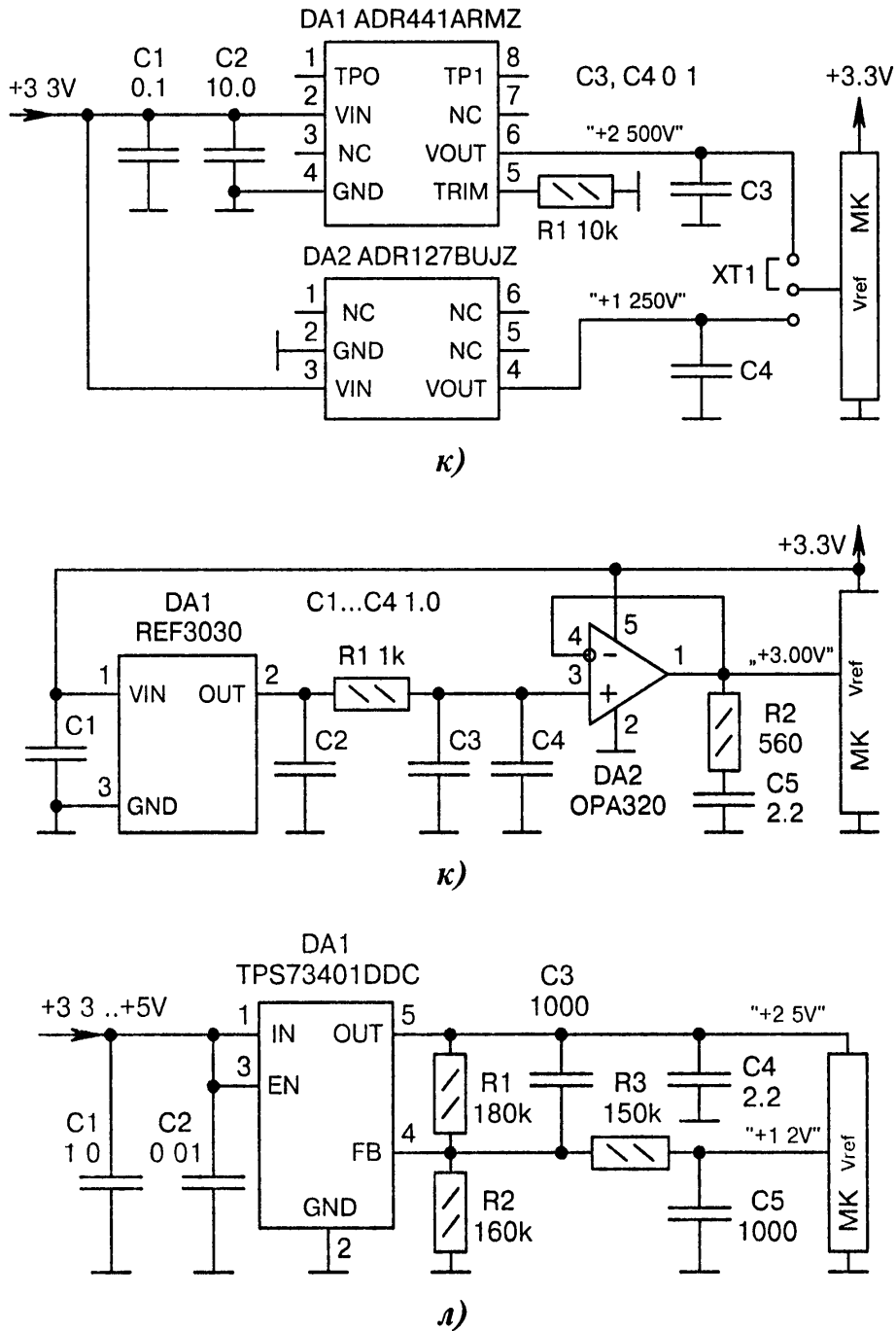
г) джампером $XT1$ выбирается один из пяти источников питания для V_{REF} . аналоговое напряжение МК $+3.3$ В, микромощный ИОН на стабилизаторе $VD1$ $+2.5$ В, высокоточный делитель напряжения на резисторах $R1, R2$ $+1.65$ В, внешний ИОН от контакта $P1$ и внутренний ИОН, когда джампер вообще отсутствует. Конденсатор $C1$ снижает ВЧ-помехи;

д) стандартное подключение к МК прецизионного ИОН на микросхеме $DA1$. Точность $\pm 0.1\%$, температурная стабильность ± 3 ppm/ $^{\circ}C$, ультранизкий уровень шума;

е) $DA1$ — это малошумящий ИОН с высокой точностью поддержания выходного напряжения $\pm 0.05.. \pm 0.1\%$, температурный дрейф $3..8$ ppm/ $^{\circ}C$;

ж) простой ИОН на микросхеме $DA1$. Точность $\pm 0.24\%$, входное напряжение $2.4..18$ В, температурная стабильность 25 ppm/ $^{\circ}C$;

з) параметры ИОН $DA1$: точность $\pm 0.01\%$, собственный ток потребления 0.1 мА, корпус SOT-23/6, ток нагрузки до 10 мА. Выводы $GNDS$ и $OUTS$ $DA1$ должны соединяться отдельными короткими проводниками с нагрузкой. В данном случае это с выводами GND и V_{REF} МК; ☹



⊖ Рис. 3.5. Схемы формирования напряжения V_{ref} внешними стабилизаторами (продолжение):

и) джампером $XT1$ можно ровно в 2 раза уменьшить или увеличить опорное напряжение V_{REF} для МК. В микросхеме $DA1$ имеется возможность точной подстройки напряжения через цепь $TRIM$, но в данной схеме эта функция не реализована, нужен дополнительный переменный резистор 100 кОм между выводами $DA1:5$ и $DA1:6$. Варианты: $DA2 = LT6656-BIS6-1.25$, $C4 = 1.0$;

к) формирователь опорного напряжения с повышенными требованиями к фильтрации помех и шумов, а также с низким выходным сопротивлением, что обеспечивается ОУ $DA2$;

л) микросхема $DA1$ одновременно является стабилизатором питания МК и опорным источником для V_{ref} . Такой нестандартный приём можно использовать и с другими типами $DA1$, учитывая, что их внутреннее опорное напряжение составляет +1.2 или +2.5 В. Номиналы резисторов $R1$, $R2$ могут изменяться в широких пределах, важно лишь отношение их сопротивлений; ⊖

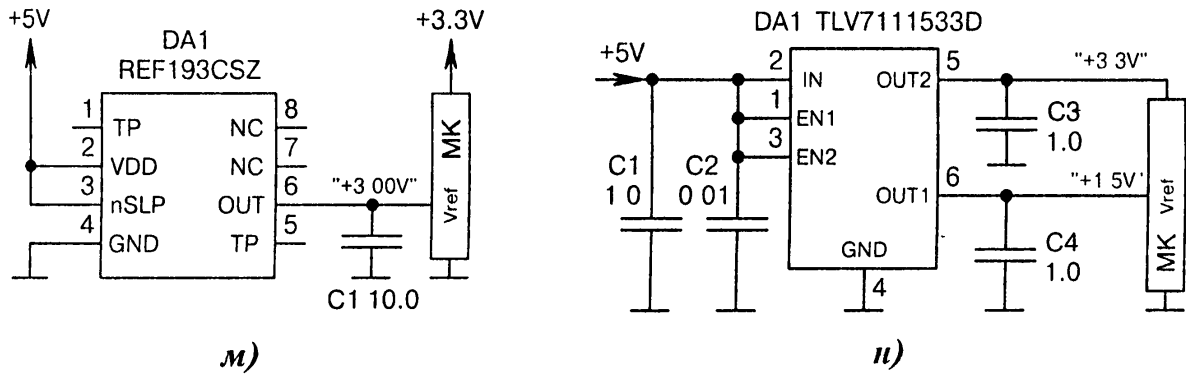


Рис. 3.5. Схемы формирования напряжения V_{ref} внешними стабилизаторами (окончание):

м) особенность — разные напряжения питания ИОН $DA1$ и МК;

н) $DA1$ — это двухканальный стабилизатор напряжения с током нагрузки до 200 мА, один из каналов которого используется как ИОН для цепи V_{ref}

3.3. Тактирование от внешних генераторов

На Рис. 3.6, а...и показаны схемы тактирования и синхронизации МК с помощью внешних генераторов.

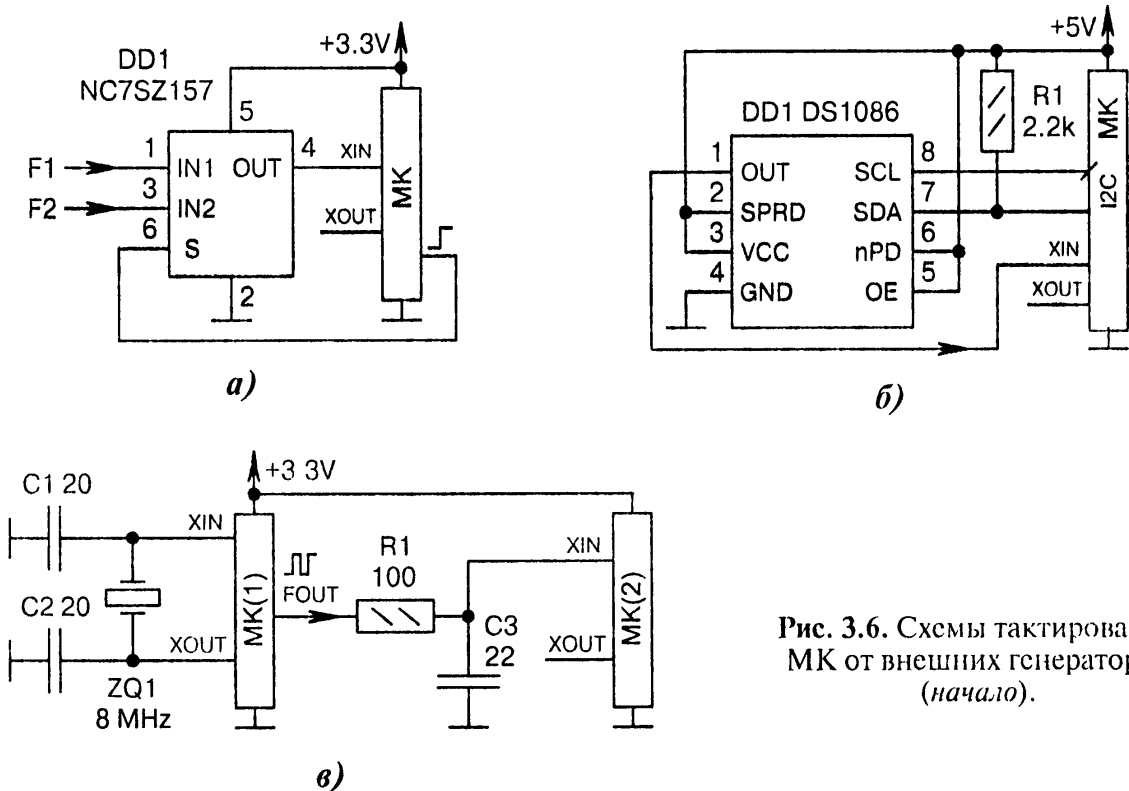


Рис. 3.6. Схемы тактирования МК от внешних генераторов (начало).

а) $DD1$ — это цифровой переключатель сигналов. Коммутация производится с выхода МК ВЫСОКИМ/НИЗКИМ уровнем, при этом на вход XIN подаётся тактовая частота $F1$ или $F2$;

б) $DD1$ — это управляемый по двухпроводной шине генератор тактовых сигналов с пере-
страиваемой частотой от 256 кГц до 133 МГц. На линии SCL не требуется нагрузочный резистор;

в) МК(1) служит генератором тактовых сигналов для МК(2). Сигнал $FOUT$ аппаратный. Его частота регулируется системой ФАПЧ. Цепочка $R1, C3$ сглаживающая. Варианты. $C3 = 0$; ◉

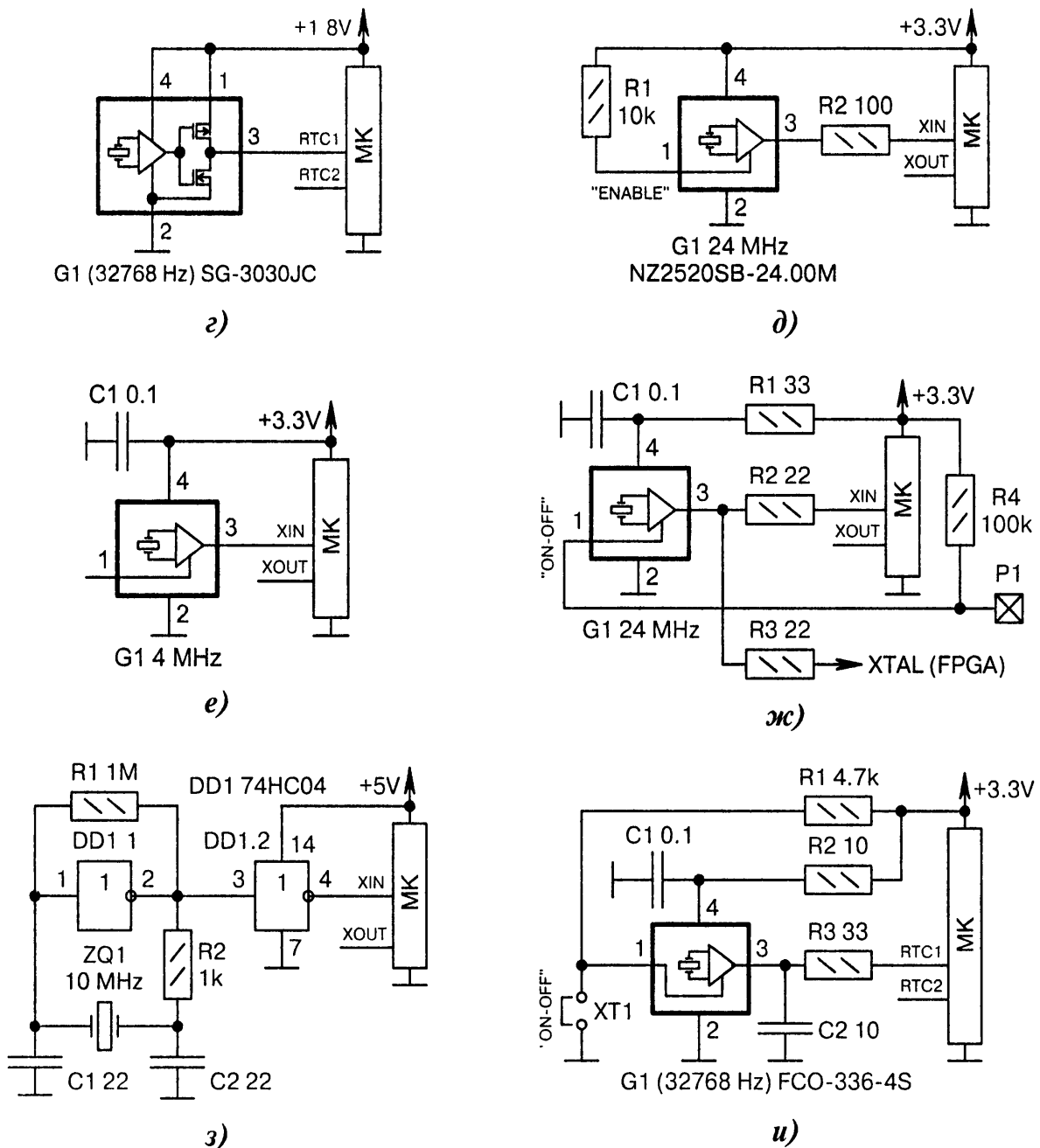


Рис. 3.6. Схемы тактирования МК от внешних генераторов (окончание):

г) сверхэкономичный «часовой» генератор $G1$ потребляет ток не более 2 мкА. Сквозность выходных импульсов 45...55%, рабочее напряжение +1.5...+5.5 В;

д) типовая схема подключения ВЧ-генератора $G1$ к МК. Варианты: $G1 = SG-8002JF-18MHz$, $R1$ отсутствует, $R2 = 18$; $G1 = NZ2520SB-25.00M$; $G1 = FXO-HC735-16.0$, $R1 = 0$, $R2 = 33$;

е) прямое подключение кварцевого генератора $G1$ к МК, что допускается при низкой тактовой частоте 4 МГц. Конденсатор $C1$ должен располагаться максимально близко от выводов $G1.2$ и $G1.4$. Если вход $G1.1$ соединить с общим проводом, то генератор отключается;

ж) подключение SMD-кварцевого генератора $G1$ через резистор $R2$ к МК и через резистор $R3$ к ПЛИС (FPGA). Если замкнуть контакт $P1$ на общий провод, то генератор отключается;

з) внешний кварцевый генератор нужен для работы МК семейства MCS-51, а также для программирования AVR-контроллеров при неверно установленных фьюзах [3-2];

и) джампер $XT1$ включает/выключает генератор $G1$. Элементы $C1$, $R2$ образуют ФНЧ по питанию. Цепочка $C2$, $R3$ является «антизвонной» (сглаживаются колебания на фронтах импульсов)

3.4. Кварцевая стабилизация тактовой частоты

Каждый современный МК имеет не только встроенный задающий генератор, но и цепи для подключения внешнего кварцевого/керамического резонатора. Схемы подключения резонаторов к МК имеют свои особенности в килогерцовом (Рис. 3.7, а...д) и мегагерцовом (Рис. 3.8, а...м) диапазонах.

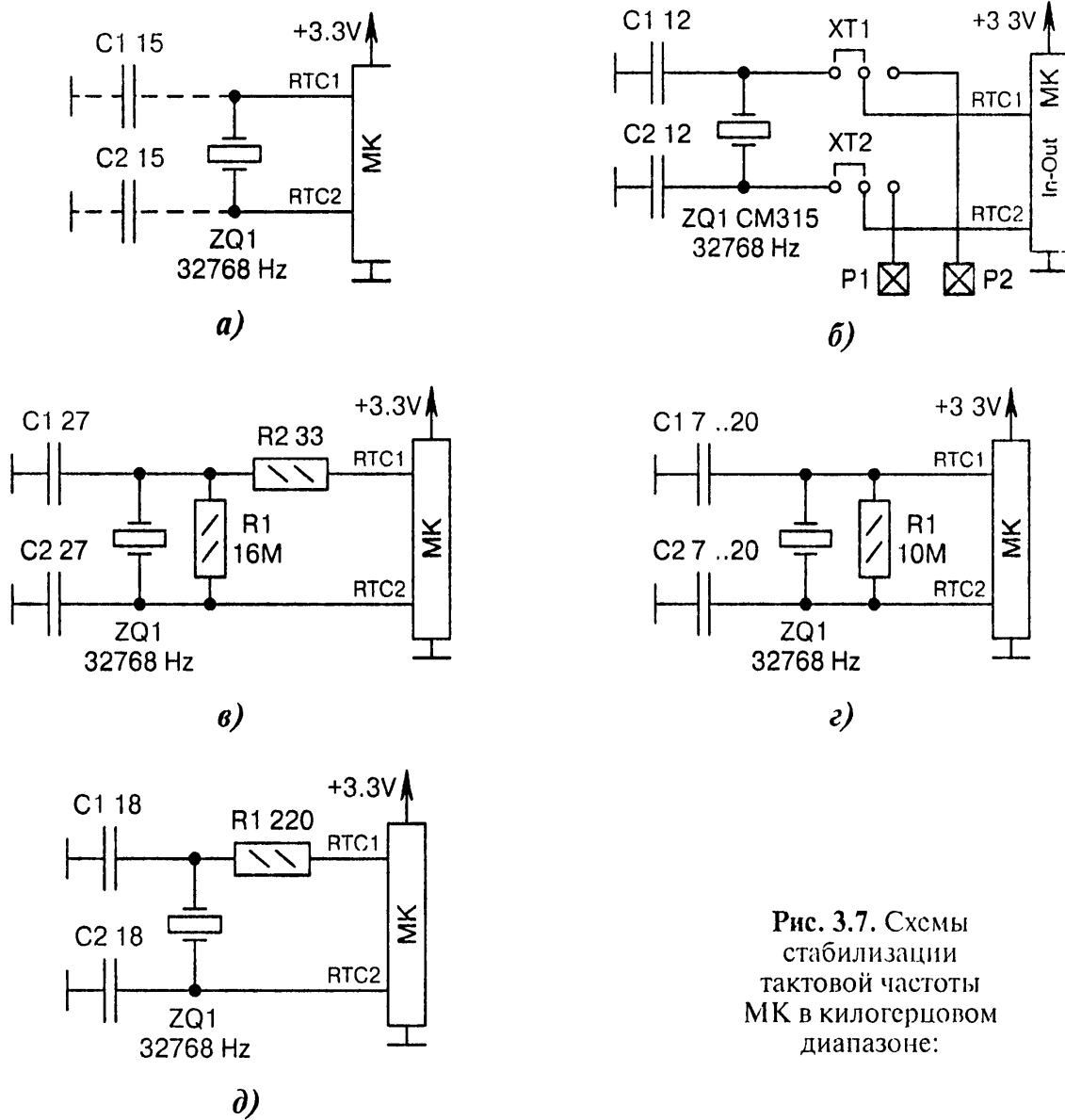


Рис. 3.7. Схемы стабилизации тактовой частоты МК в килогерцовом диапазоне:

а) «часовой» кварцевый резонатор $ZQ1$ обычно не требует дополнительных конденсаторов $C1, C2$, но для них часто оставляется место на печатной плате. Варианты: $C1 = C2 = 6.8\text{pF}$; $ZQ1 = \text{MC306-G-06Q-32.768}$; $C1 = C2 = 3...22$ в зависимости от типа кварцевого резонатора, например для NX3215SA ставятся конденсаторы NPO типоразмера 0402 ёмкостью 3.0 или 4.7 пФ,

б) в левом положении джамперов $XT1, XT2$ к линиям МК подключается кварцевый резонатор $ZQ1$, в правом — линии МК используются как обычные двунаправленные порты. Резонатор $ZQ1$ имеет корпус SMD03215C2 (3.2x1.5 мм), точность настройки частоты $\pm 3\text{ppm}$;

в) резисторы $R1, R2$ облегчают условия самозапуска тактового генератора;

г) аналогично Рис. 3.7, в, но с одним параллельным резистором. Варианты. $R1 = 1\text{M}, 16\text{M}$;

д) аналогично Рис. 3.7, в, но с одним последовательным резистором. Варианты. $R1 = 100$

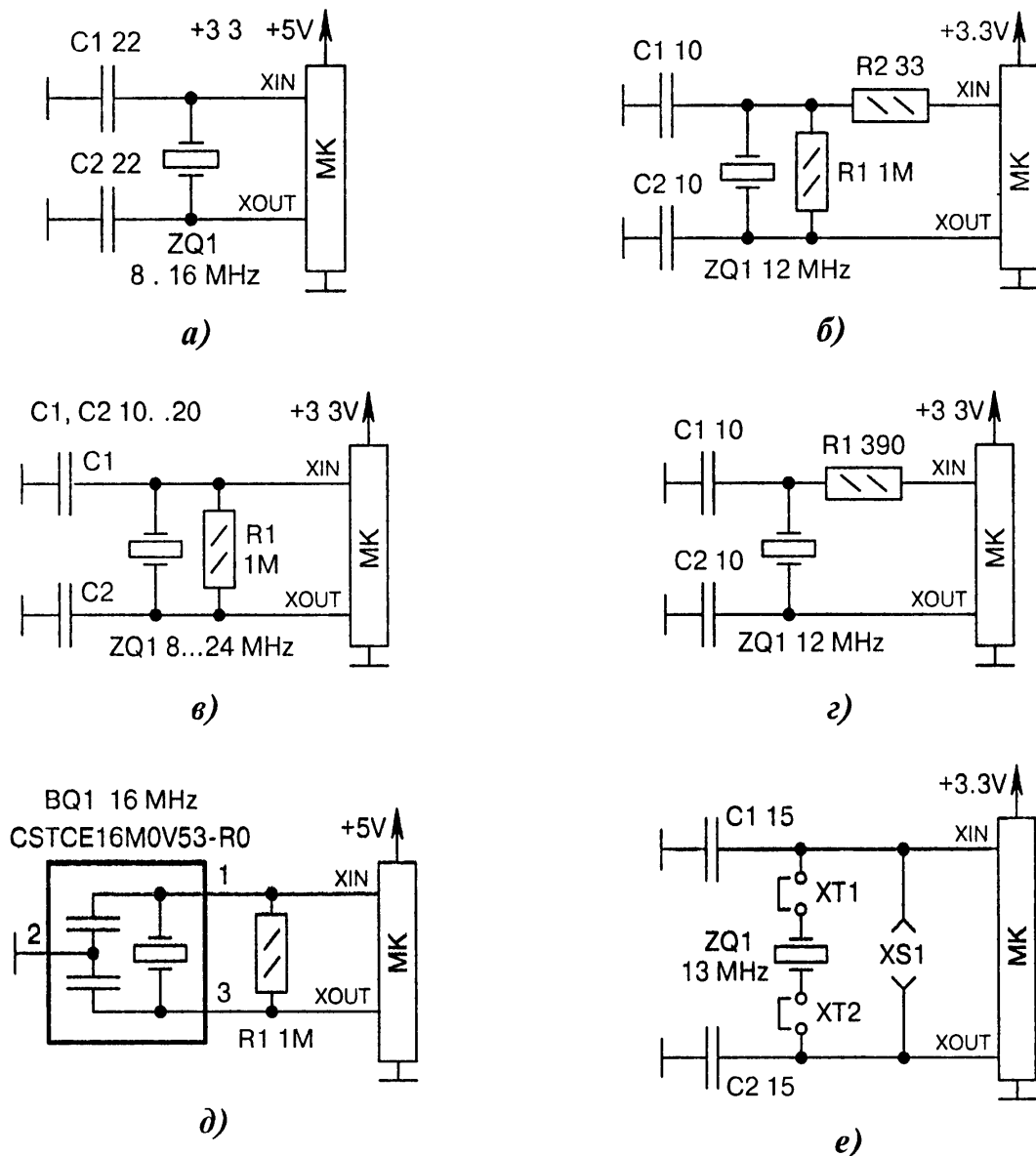


Рис. 3.8. Схемы стабилизации тактовой частоты МК в мегагерцовом диапазоне (начало):

а) стандартное подключение кварцевого резонатора ZQ1 к МК. Ёмкости конденсаторов C1, C2 регламентируются в даташитах, но в большинстве случаев можно ставить 18...27 пФ. Варианты: ZQ1 = 32 МГц, C1 = C2 = 12; ZQ1 = 48 МГц, C1 = C2 = 7.5 пФ; ZQ1 = NX3225GD-8.00M;

б) резисторы R1, R2 ставят, когда требуется улучшить условия самозапуска генератора из-за особенностей входной части МК. Варианты: R1 = 100k, R2 = 220; C1 = C2 = 20;

в) аналогично Рис. 3.8, б, но с одним параллельным резистором. Варианты: R1 = 10M при ZQ1 = 8...18 МГц; R1 = 2.2M при ZQ1 = 20 МГц;

г) аналогично Рис. 3.8, б, но с одним последовательным резистором. Варианты: R1 = 510, C1 = C2 = 15; ZQ1 = 8 МГц, C1 = C2 = 20...22, R1 = 47 или R1 = 220...390; ZQ1 = 16 МГц, R1 = 2k;

д) пьезокерамический резонатор BQ1 (фирменное название CERALOCK [3-3]) имеет встроенные конденсаторы, согласованные с ёмкостью нагрузки. Резистор R1 обеспечивает устойчивость самозапуска. Варианты: R1 отсутствует, BQ1 = CSTCR4M00G15L99 (частота 4 МГц);

е) на отладочной плате распаян основной резонатор ZQ1. Если удалить джамперы XT1, XT2, то появляется возможность установить внешний кварцевый резонатор на другую частоту в контакты ZIF-панели XS1. Дополнительные резонаторы могут поставляться в комплекте; Ⓞ

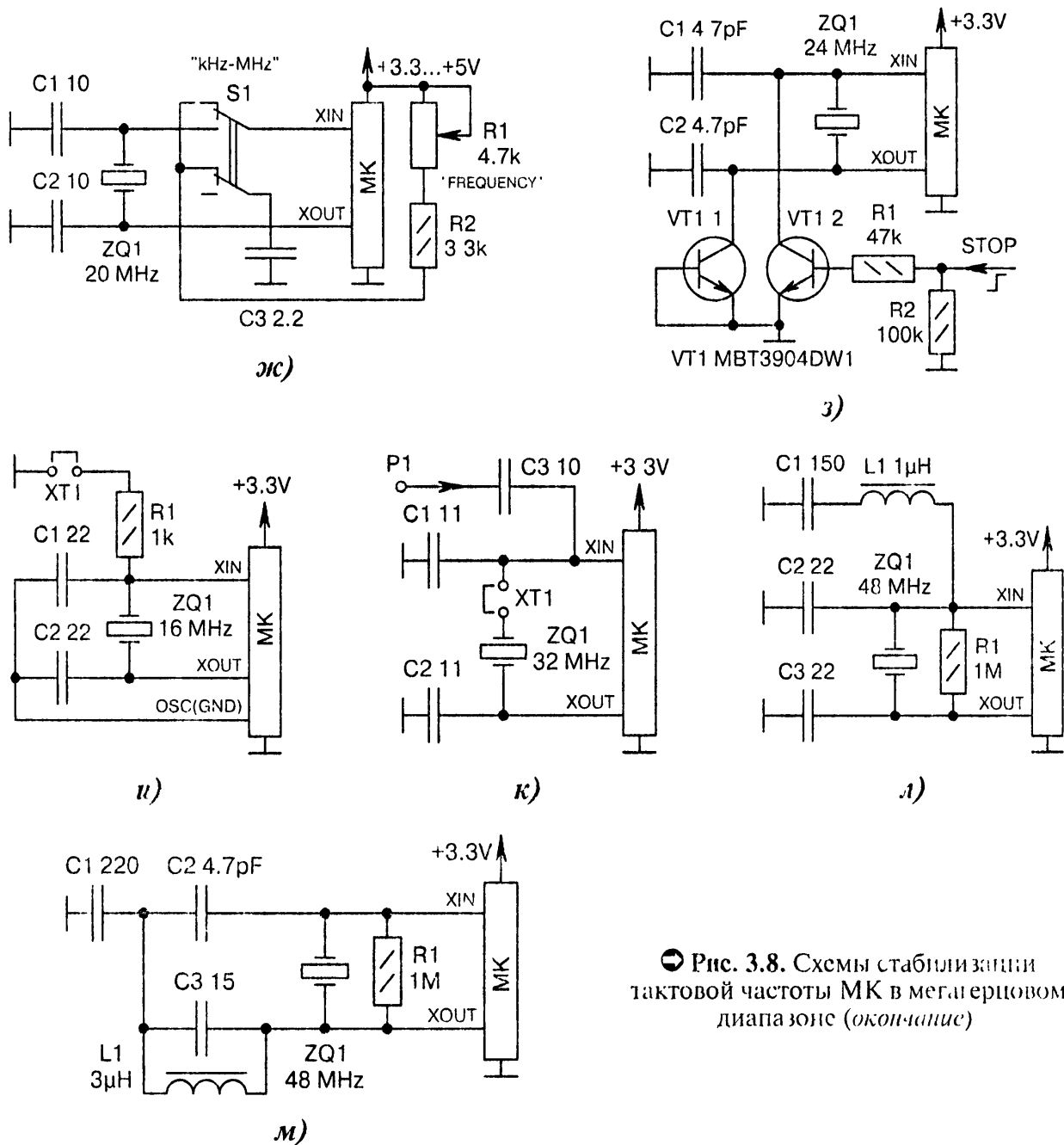


Рис. 3.8. Схемы стабилизации тактовой частоты МК в мегагерцовом диапазоне (окончание)

ж) в PIC-контроллерах можно переключать частоту генерации с НЧ (элементы $R1$, $R2$, $C3$) на ВЧ (элементы $C1$, $C2$, $ZQ1$). Переключатель $S1$ двойной, чтобы в положении «МГц» уменьшить емкость, вносимую конденсатором $C3$ через две (а не одну) группы разомкнутых контактов,

з) внешняя остановка работы генератора сигналом ВЫСОКОГО уровня $STOP$. Транзисторы в сборке $VT1$ имеют идентичные параметры, поэтому они симметрично нагружают своими емкостями выводы XIN , $XOUT$. Как следствие ёмкости конденсаторов $C1$, $C2$ ниже обычного;

и) замкнутый джампер $XT1$ блокирует работу автогенератора МК. Это позволяет симитировать неисправность $ZQ1$. Особенность МК линейки TMS570LS — это отдельный вывод OSC_GND для подключения «земли» генератора. Варианты: $R1 = 0$, кнопка вместо джампера $XT1$,

к) внешний тактовый сигнал подается на площадку $P1$ при снятом джампере $XT1$;

л) для улучшения условий запуска генератора на третьей гармонике кварцевого резонатора в схему вводится контур $L1$, $C1$. Он вместе с сопутствующими ёмкостями имеет резонанс в диапазоне 16 МГц, что не даёт запуститься на этой частоте кварцевому резонатору $ZQ1$,

м) аналогично Рис. 3.8, л, но с параллельным контуром $L1$, $C3$

3.5. Узлы подсистемы программирования

Качественно сконструированная отладочная плата должна иметь удобный интерфейс программирования. В идеале — без каких-либо аппаратных перестыковок кабелей или джамперов. Процесс программирования должен осуществляться поверх применяемых интерфейсов. Например, если связь с компьютером идёт через USB, то и программирование желательно производить по тому же каналу. Главным действующим лицом здесь будет выступать бутлоудер в МК, который запускается в работу программным способом.

Иное дело — усечённые версии отладочных плат или платы с устаревшими типами МК, не поддерживающими программирование через бутлоудер. Для них могут оказаться полезными схемы, приведенные на Рис. 3.9, а...к.

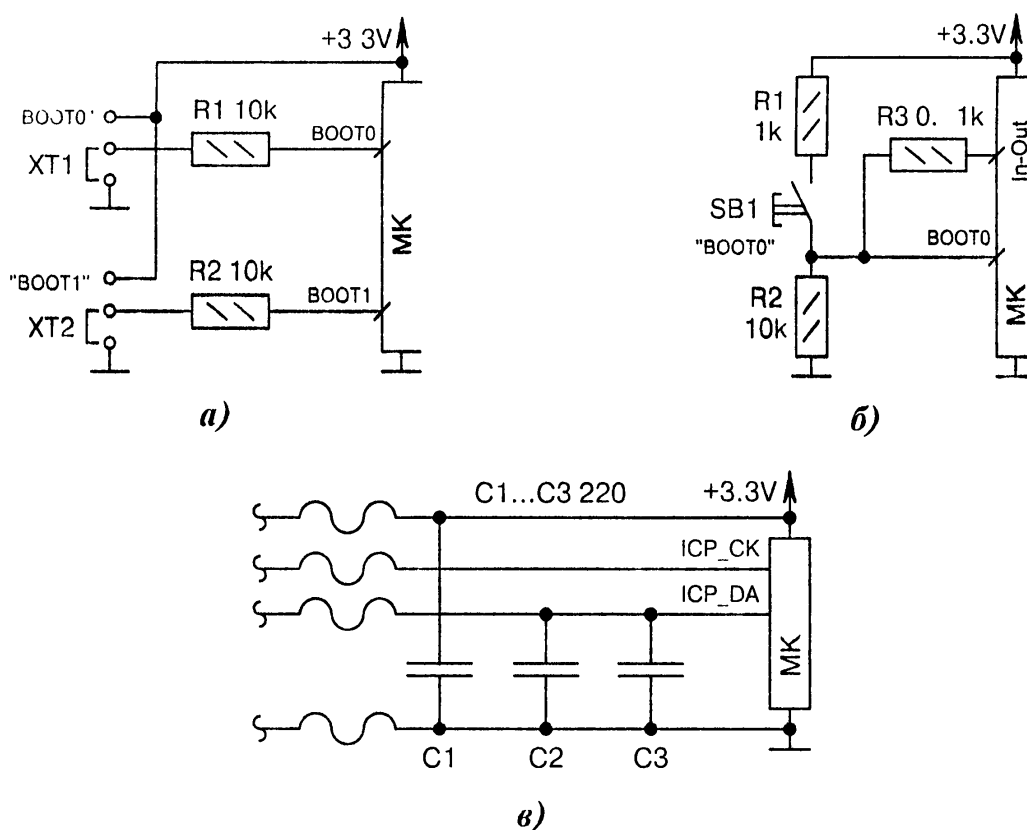


Рис. 3.9. Схемы узлов программирования МК (начало):

а) в МК семейства STM32 для перехода в режим программирования требуется установить при начальном сбросе определённую комбинацию логических уровней на выводах *BOOT0*, *BOOT1*. Для этого в схему вводятся джамперы *XT1*, *XT2*. Резисторы *R1*, *R2* защищают от статического электричества в случае прикосновения рукой к джамперам. Варианты: $R1 = R2 = 100k$;

б) аналогично Рис. 3.9, а, но с совмещением функций программирования и работы. Кнопка *SB1* формирует НИЗКИЙ/ВЫСОКИЙ уровень на верхнем входе МК, который выступит в качестве обычной линии порта *S* другой стороны, при одновременном нажатии кнопки *SB1* и кнопки сброса *RESET* активируется бутлоудер для программирования МК. Аналогичную схему можно использовать и для линии *BOOT1*,

в) конденсаторы *C1...C3* нужны при длинном кабеле к программатору. Они подавляют «звон» на фронтах импульсов и снижают радиопомехи, наводимые на провода кабеля, ☹

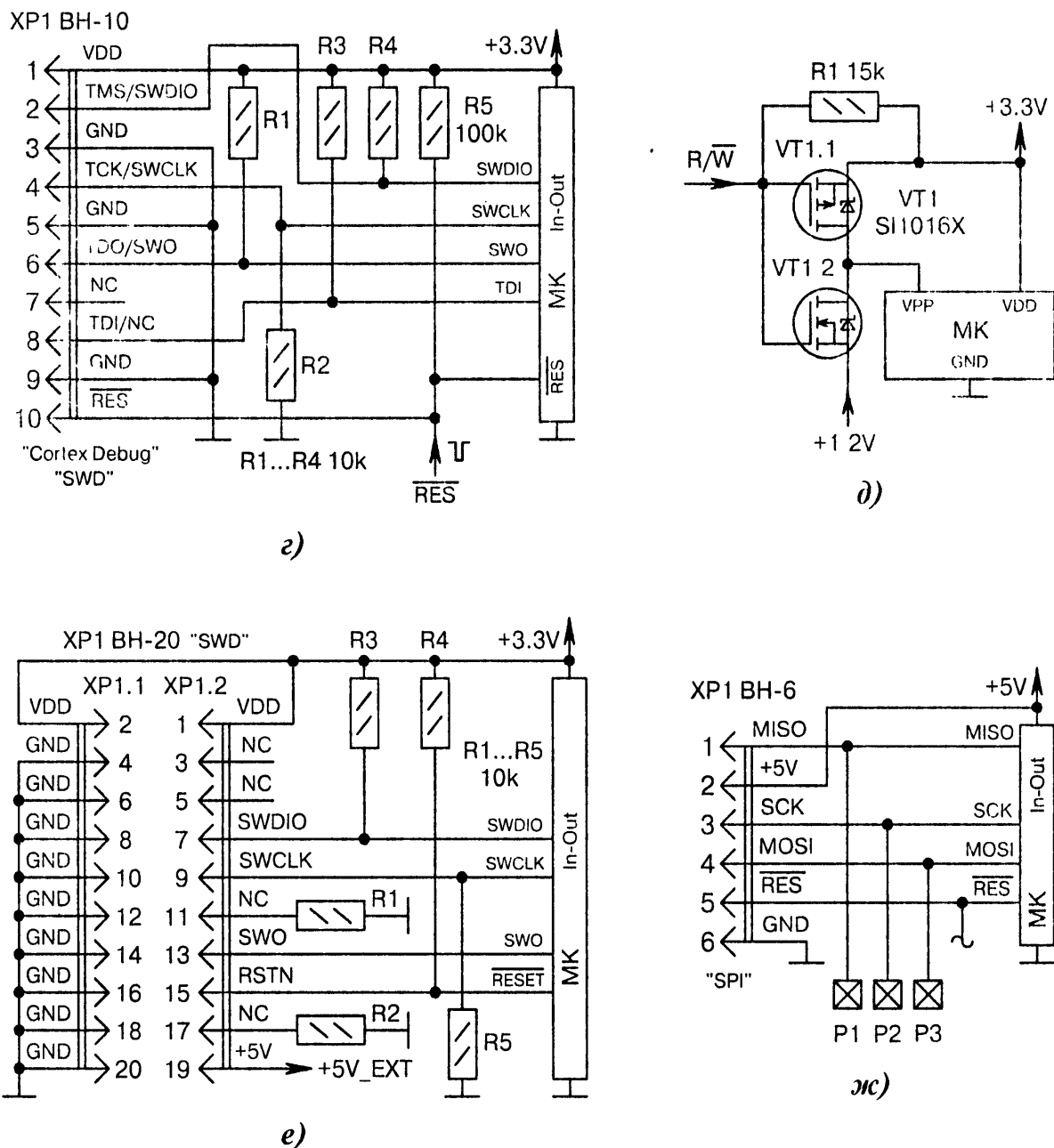


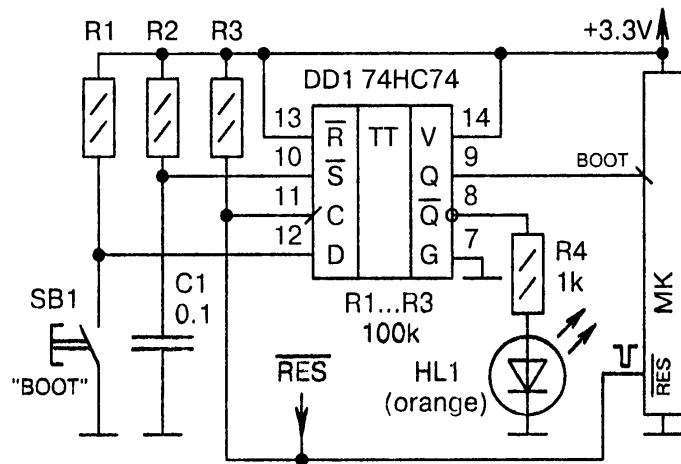
Рис. 3.9. Схемы узлов программирования МК (продолжение)

г) совмещённый разъём JTAG/SWD для отладки МК с ядром Cortex. Интерфейс SWD задумывался как упрощённая альтернатива JTAG. Через него производится отладка программы и программирование МК. Варианты: контакт разъёма $X1.8$ свободный (NC), $R3$ отсутствует;

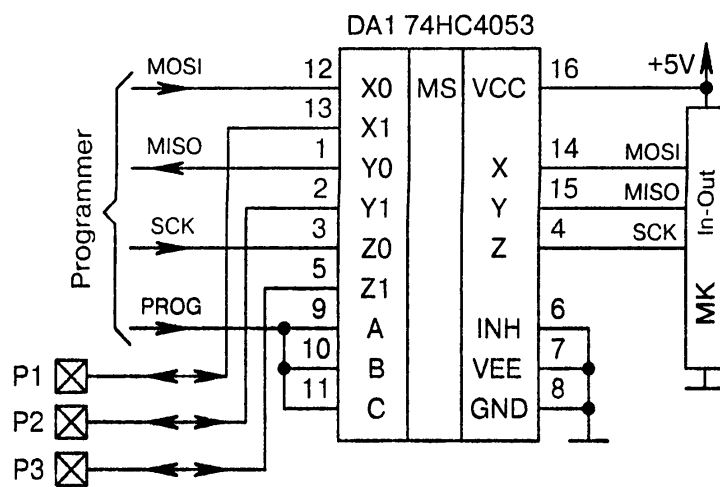
д) некоторые МК, например LPC3154, имеют возможность прошивки в свою память однократного OTP-ключа. Для этого используется вывод питания V_{PP} , на который при записи должно подаваться напряжение +3.3 В, а при чтении — +1.2 В. Переключение осуществляется логическим уровнем сигнала R/W ;

е) аналогично Рис. 3.9, г, но без интерфейса JTAG и с 20-контактным разъёмом $XP1$, на который выводятся сигналы интерфейса SWD. Сигнал сброса $RSTN$ запускает в работу бутлоудер;

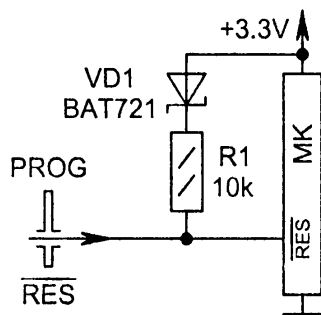
ж) стандартная раскладка контактов разъёма XSI , к которому подключается программатор с интерфейсом SPI. После отключения программатора от разъёма XSI линии МК могут использоваться как двунаправленные порты ввода/вывода $P1...P3$;



а)



б)



в)

Рис. 3.9. Схемы узлов программирования МК (окончание):

з) рабочий режим — кнопка *SB1* не нажата, режим программирования — кнопка *SB1* нажата. В последнем случае процесс активируется только при поступлении импульса сброса \overline{RES} , что подтверждается включением светодиода *HL1*;

и) через двунаправленный аналоговый мультиплексор *DA1* к трём линиям МК подключаются или сигналы от программатора (Programmer), или сигналы с контактных площадок *P1...P3*. НИЗКИМ уровнем на линии *PROG* выбирается программатор, ВЫСОКИМ уровнем — контактные площадки,

к) в PIC-контроллерах на вход сброса МК при программировании может подаваться импульс повышенного до +12 В напряжения. Диод *VD1* «отсекает» резистор *R1* от цепи питания +3.3 В, чтобы не снижалась амплитуда импульса программирования лишней нагрузкой 10 кОм

Список использованных источников и литературы к главе 3

- 3-1. Что такое «тактовая кнопка»? [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://otvet.mail.ru/question/17568959>. — 14.04.2017.
- 3-2. Простейший тактовый генератор для разлочки AVR от неверных фьюзов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://wc.easyelectronics.ru/enq/prosteyshiy-taktovyy-generator-dlya-razlochki-avr-ot-nevernyh-fyuzov.html> — 14.04.2017.
- 3-3. Ceramic Resonators (CERALOCK®). Application Manual [Электронный ресурс] / Murata, 2015. — Режим доступа: <http://www.murata.com/~media/webrenewal/support/library/catalog/products/timingdevice/ceralock/p17e.ashx> (англ.). — 14.04.2017.

СХЕМЫ ПОДАЧИ ПИТАНИЯ

*Труд подливает масла в лампу жизни,
а мысль зажигает её.
(Д. Беллерс)*

4.1. Стабилизаторы напряжения 1.2 В

Стабилизированное питание 1.2 В обычно требуется для процессорного ядра МК или используется в качестве ИОН (Рис. 4.1, а...в). Ещё одна сфера применения — в комбинированных приборах, допускающих сетевое и батарейное питание от пальчикового аккумулятора NiMH с напряжением 1.2 В.

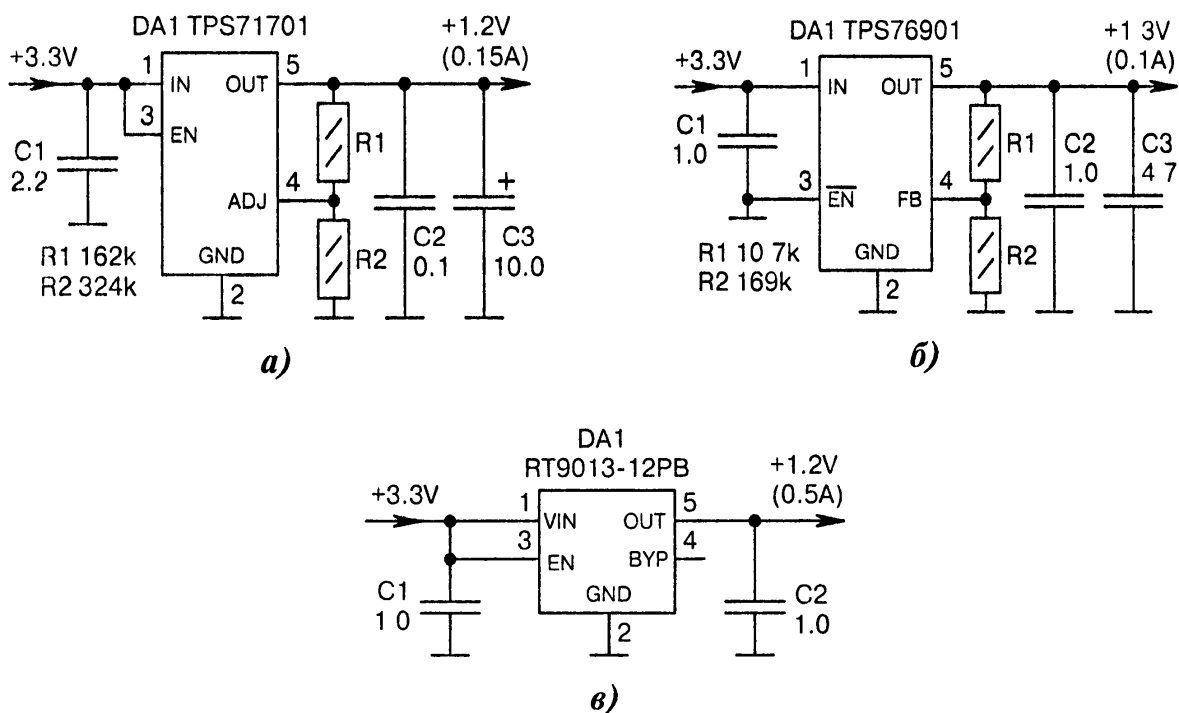


Рис. 4.1. Схемы стабилизаторов напряжения 1.2 В:

а) DA1 — это микромощный стабилизатор напряжения с высокоомными задающими резисторами R1, R2. Варианты: DA1 = ADP123AUJZ (0.3A), R1 = 10.0k, R2 = 7.15k, C1 = C3 = 1.0;

б) аналогично Рис. 4.1, а, но с другой полярностью сигнала \overline{EN} . Напряжение 1.3 В используется для питания канала RTC МК в целях повышения стабильности хода часов реального времени. Формула для расчёта выходного напряжения $V_{out}[V] = 1.224 \cdot (1 + (R1[k\Omega] / R2[k\Omega]))$;

в) DA1 — это малогабаритный стабилизатор в корпусе SOT-23/5 с фиксированным выходным напряжением. Варианты: DA1 = ADP170AUJZ-1.2 (0.3A); DA1 = TPS71712DCK (0.15A); DA1 = BD12KA5WF-E2 (0.5A, вывод BYP отсутствует)

4.2. Стабилизаторы напряжения 1.8 В

Напряжение 1.8 В относится к нижнему пределу работы МК общего применения, хотя со временем оно, возможно, станет типовым. В отладочных платах напряжение 1.8 В используется для двухканального питания, когда на ядро МК подаётся пониженное, по сравнению с периферией, напряжение (Рис. 4.2, а...ж).

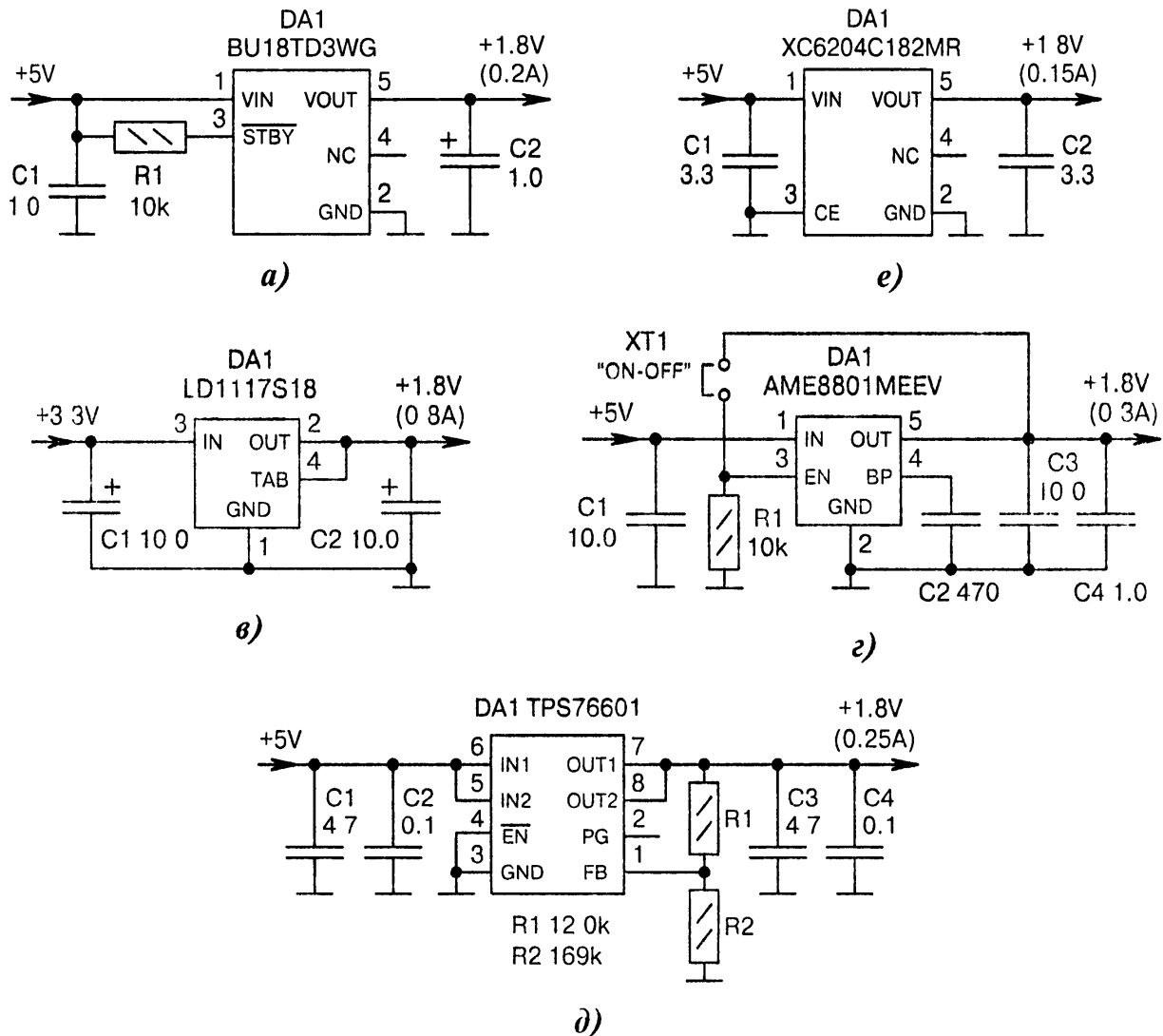


Рис. 4.2. Схемы стабилизаторов напряжения 1.8 В (начало).

а) *DA1* — это стабилизатор фиксированного напряжения в малогабаритном корпусе SOT-23/5. Конденсаторы на входе и выходе должны быть керамические, ёмкостью больше, чем 0.47 мкФ. Варианты: *DA1* = NCP699SN18 (0.15A); *DA1* = XC6219B182MR (0.25A);

б) при замене микросхемы *DA1* аналогичной из серий XC6204, XC6205 надо учитывать полярность сигнала *CE*, который может иметь ВЫСОКИЙ (а не НИЗКИЙ) активный уровень;

в) *DA1* — стабилизатор фиксированного напряжения с отводом от корпуса *TAB*;

г) джампером *XT1* можно включить/отключить выходное напряжение +1.8 В,

д) незадействованный по схеме выход *PG* стабилизатора *DA1* (транзистор с открытым стоком) можно использовать для системного уведомления «Питание в норме». Выходное напряжение рассчитывается по формуле $V_{out}[V] = 1.25 \cdot (1 + (R1[k\Omega] / R2[k\Omega]))$ Варианты *DA1* = TPS76618 (фиксированное напряжение, резисторы *R1*, *R2* не требуются); ☹

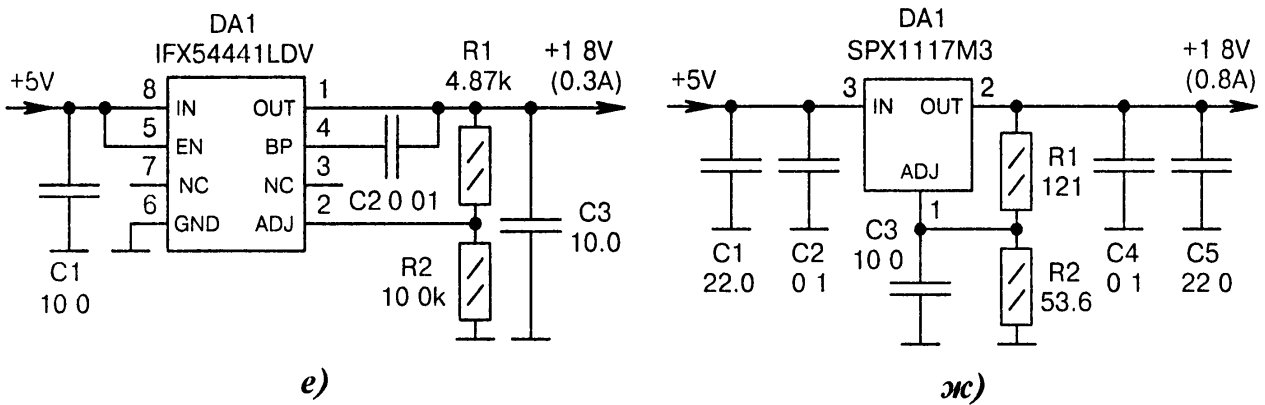


Рис. 4.2. Схемы стабилизаторов напряжения 1.8 В (окончание):

е) особенность — конденсатор $C2$, который снижает шумы выходного напряжения стабилизатора $DA1$ в диапазоне от 10 Гц до 100 кГц;

ж) особенность — конденсатор $C3$, который обеспечивает пологое нарастание напряжения на выходе OUT при начальной подаче питания. Экономичность стабилизатора не очень высокая ввиду низких сопротивлений резисторов $R1$, $R2$. Варианты: $C3 = 0$; $DA1 = FR1117-R3G$ (1A), $R1 = 1k$, $R2 = 442$, $C1 = C5 = 10.0$

4.3. Стабилизаторы напряжения 2.5 В

Напряжение 2.5 В используется в отладочных платах в качестве опорного (образцового, тестового), а также для питания аналоговых микросхем (Рис. 4.3, а, б).

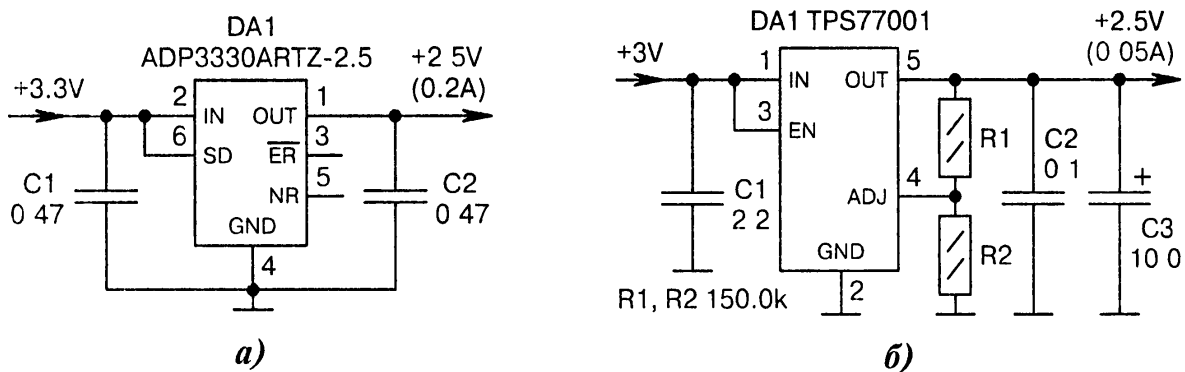


Рис. 4.3. Схемы стабилизаторов напряжения 2.5 В:

а) прецизионный SMD-стабилизатор напряжения $DA1$ обеспечивает точность $\pm 0.7\%$, низкий собственный ток потребления 34 мкА. Для его устойчивой работы достаточно поставить на входе и выходе по одному керамическому конденсатору $C1$, $C2$ относительно небольшой емкости. Варианты: $DA1 = TPS71725DCKR$ (0.15 A); $DA1 = LD3985M25R$ (0.15A); $DA1 = LD1117S25TR$ (1A), $C1 = C2 = 10.0 \dots 47.0$;

б) $DA1$ — микромощный (17 мкА) стабилизатор напряжения с высокоомными резисторами $R1$, $R2$. Падение напряжения между входом и выходом $DA1$ составляет 35 мВ. Изменяя отношение резисторов $R1$, $R2$, можно регулировать напряжение OUT в широких пределах. Варианты: $DA1 = LT1963AES8$ (1.5A), $R1 = 4.3k$, $R2 = 3.3k$; $DA1 = LD1117S$ (1A), $R1 = 120$, $R2 = 150$

4.4. Стабилизаторы напряжения 3.3 В

Напряжение 3.3 В является базовым для питания современных МК. Спрос рождает предложение, поэтому не надо удивляться большому разнообразию микросхем стабилизаторов напряжения в этом диапазоне. Стабилизаторов много, но они чуть-чуть, да отличаются друг от друга, в частности количеством и назначением выводов, типом корпуса, ёмкостью блокировочных конденсаторов.

Все схемы стабилизаторов 3.3 В с целью упорядочения материала будут разбиты на три подгруппы: маломощные с током нагрузки до 0.4 А (Рис. 4.4, а...с), средней мощности с током нагрузки 0.5...0.8 А (Рис. 4.5, а...ж) и мощные с током нагрузки более 0.9 А (Рис. 4.6, а...в).

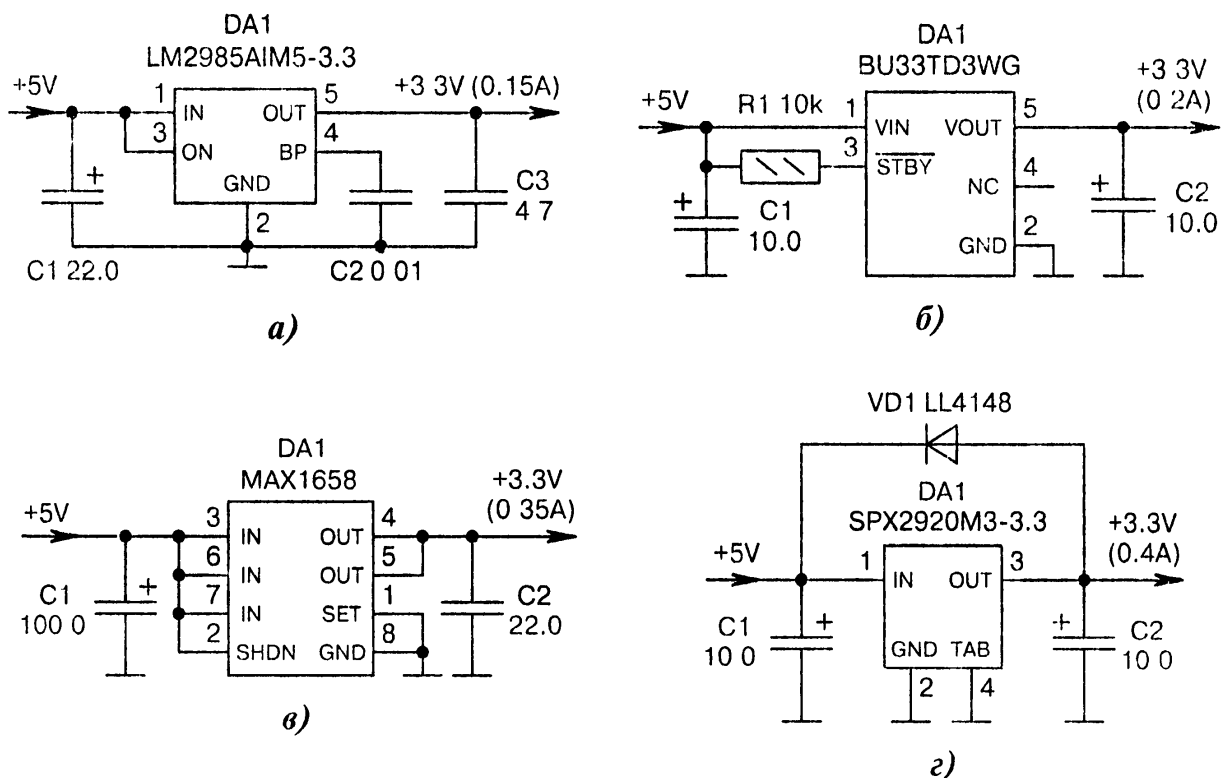


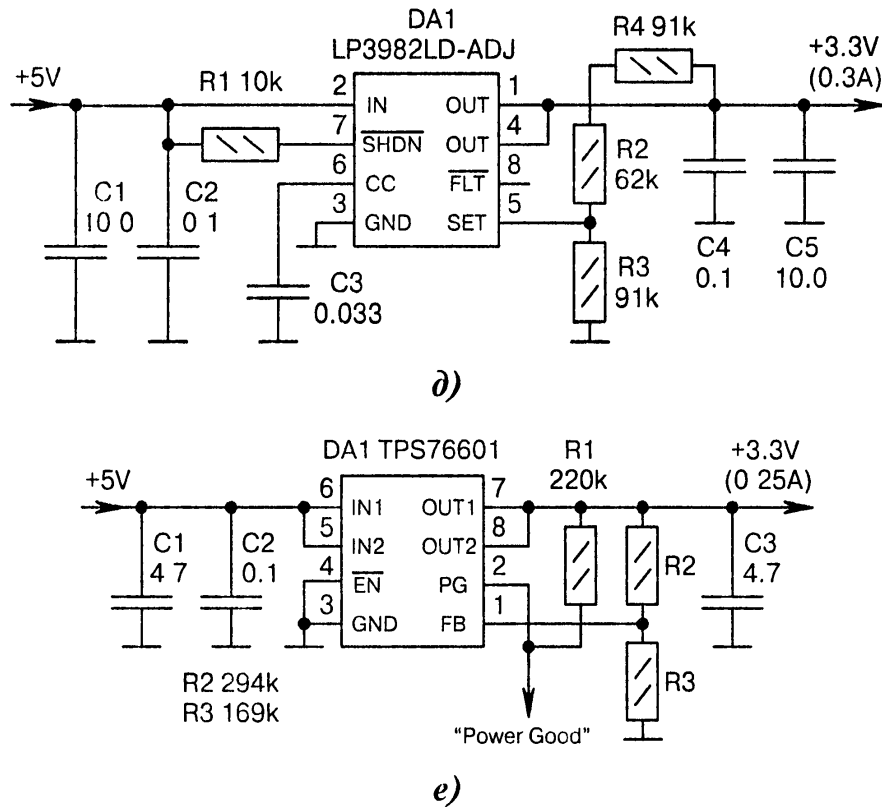
Рис. 4.4. Схемы стабилизаторов напряжения 3.3 В малой мощности (начало).

а) *DA1* — это стабилизатор напряжения малой мощности. Конденсатор *C2* может отсутствовать. Он снижает шумы выходного напряжения *OUT* в звуковом диапазоне 0.5...20 кГц, что полезно при питании аудиоканала. Варианты: *DA1* = IFX54211MBV33; *DA1* = REG113NA-3.3/3K; *DA1* = MAX8887EZK33+; *DA1* = LD3985M33R, *C1* = *C3* = 1.0; *DA1* = CAT6219-330TDGT3 (0.5A);

б) *DA1* — это стабилизатор напряжения в SMD-корпусе SOT-23/5. Точность $\pm 1\%$, собственное потребление тока 35...60 мкА. Отключить выходное напряжение можно закорачиванием выводов *DA1.2* и *DA1.3*. Варианты. *R1* = 0; *DA1* = TLV70033DDC (0.2 A); *DA1* = TPS71733DCR (0.15 A), *DA1* = ADP121 (0.15A); *DA1* = NCP699SN33 (0.15A); *DA1* = ADP3333ARM-3.3 (0.3A);

в) *DA1* — это микросхема в планарном корпусе SO-8, что позволяет ей рассеивать до 1.2 Вт мощности. Особенность — запараллеливание входных (*IN*) и выходных (*OUT*) выводов. Варианты *C1* = 10.0, *C2* = 1.0, *DA1* = ADP124ARHZ-3.3-R7 (0.5A, другая цоколёвка выводов);

г) диод *VD1* защищает стабилизатор *DA1* от перегрузок в момент выключения питания. Это актуально тогда, когда напряжение на входе снижается быстрее, чем на выходе, ☹



⊖ Рис. 4.4. Схемы стабилизаторов напряжения 3.3 В малой мощности (окончание):

д) последовательное соединение резисторов R_2 , R_4 позволяет использовать одинаковые номиналы сопротивлений R_3 , R_4 . Формула для расчёта выходного напряжения стабилизатора $DA1$ $V_{out}[В] = 1.25 \cdot (((R_2[\text{кОм}] + R_4[\text{кОм}]) / R_3[\text{кОм}]) + 1)$. Варианты: $DA1 = \text{TPS76601}$, $C1 = C5 = 4.7$; $R_2 = 294\text{k}$, $R_3 = 169\text{k}$, $R_4 = 0$; $DA1 = \text{TPS77001}$, $R_2 = 180\text{k}$, $R_3 = 110\text{k}$, $R_4 = 0$;

е) ВЫСОКИЙ уровень сигнала PG на выходе $DA1:2$ свидетельствует о том, что напряжение питания +3.3 В находится в норме, и наоборот. Варианты: $DA1 = \text{ADP3334ACPZ}$ (0.5A, другая посылка выводов, технология «ануСАР» [4-1], допускающая установку любых типов конденсаторов фольгра) $R_2 = 140.0\text{k}$, $R_3 = 78.7\text{k}$, параллельно R_2 установить конденсатор 1000 пФ

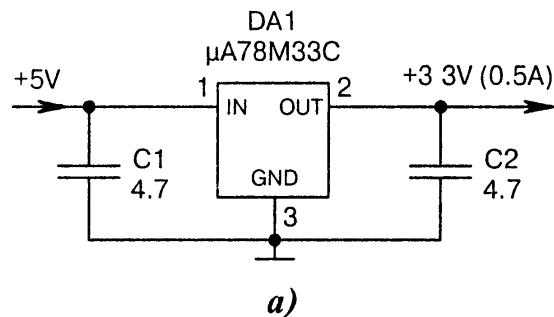
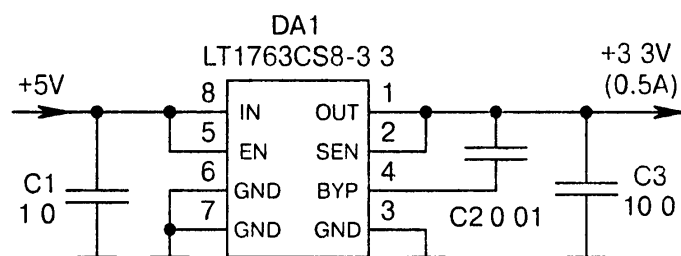
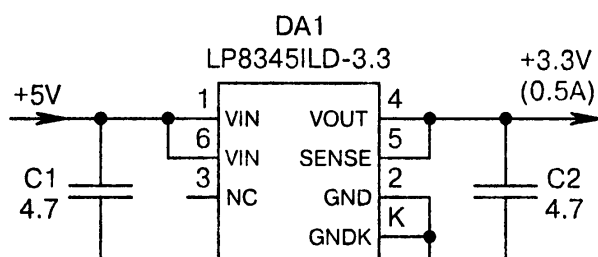


Рис. 4.5. Схемы стабилизаторов напряжения 3.3 В средней мощности (начало):

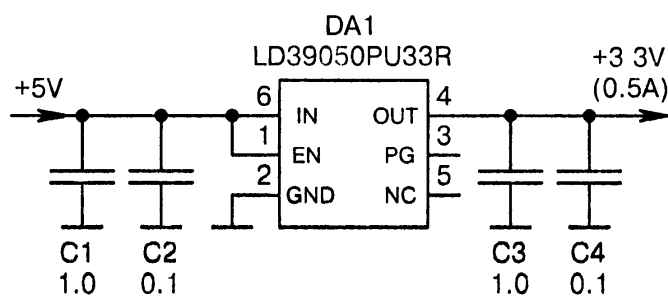
а) $DA1$ — это стабилизатор напряжения средней мощности. Варианты: $DA1 = \text{LM2937IMP-3}$ 3, $C1 = 0.1$, $C2 = 10.0$ (танталовый); $DA1 = \text{LF33CDT}$, $C1 = 220.0$, $C2 = 2.2 \parallel 0.1$ (параллельное соединение); $DA1 = \text{SPX3819-3}$ 3, $C1 = 10.0$, $C2 = 1.0 \dots 10.0$; $DA1 = \text{MCP1702T-3302}$; $DA1 = \text{KF33BDT}$, $DA1 = \text{IFX25001MEV33}$ (0.4A), $C1 = 22.0$, $C2 = 10.0$; $DA1 = \text{AIC1747A-33GU3}$ (0.3A), параллельно $C1$, $C2$ добавить керамические конденсаторы емкостью 0.1 мкФ; ⊖



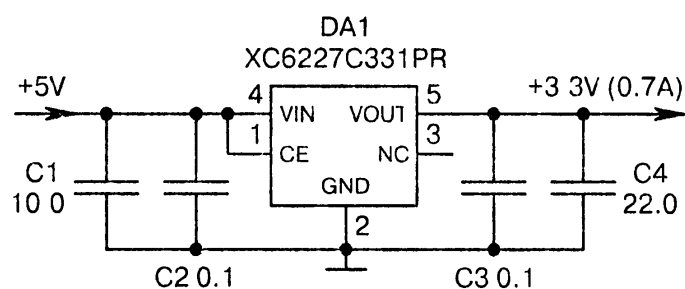
б)



в)



г)



д)

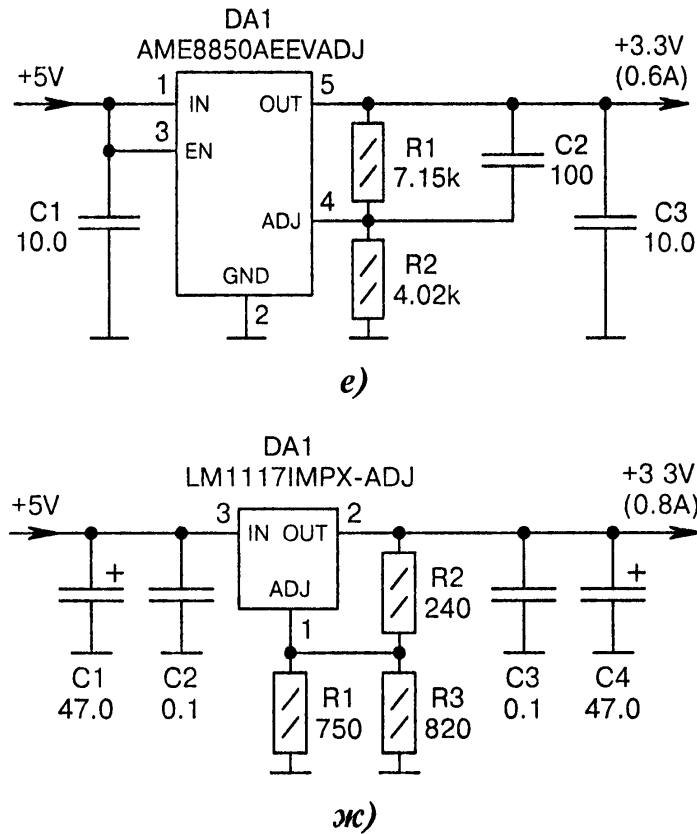
⊙ Рис. 4.5. Схемы стабилизаторов напряжения 3.3 В средней мощности (продолжение):

б) особенность — «антишумовой» конденсатор $C2$ подключается не к общему проводу, а к питанию. Его назначение заключается в снижении шумов на выходе стабилизатора $DA1$;

в) ёмкости керамических конденсаторов $C1$, $C2$ могут быть 1...10 мкФ;

г) стабилизатор напряжения $DA1$ имеет сверхминиатюрный корпус DFN-6 с габаритными размерами 3x3x0.8 мм. Собственный ток потребления составляет 1...100 мкА в зависимости от тока нагрузки и режима работы. Варианты: $DA1 = TPS73633DRB$ (0.4 А);

д) стабилизатор $DA1$ имеет встроенную защиту Reverse Current Protection [4-2], при которой не требуется защитный диод между входом и выходом в том случае, когда входное напряжение становится меньше, чем выходное; ⊙



⊖ Рис. 4.5. Схемы стабилизаторов напряжения 3.3 В средней мощности (окончание):

е) *DA1* — это стабилизатор напряжения в корпусе SOT-25. Конденсатор *C2* повышает устойчивость работы в момент подачи питания или при резкой смене тока нагрузки;

ж) для нормальной работы стабилизатора *DA1* требуются низкоомные резисторы *R1*, *R3*. Это означает дополнительный расход тока, правда, составляет он всего лишь 5 мА, что на два порядка меньше тока нагрузки 0.8 А. Резисторы *R1*, *R3* пятипроцентные. Они специально включаются параллельно, чтобы обеспечить повышенную точность расчётного номинала. Варианты: *DA1* = TS1117CW-ADJ, *R1* = 390, *R3* отсутствует; *DA1* = RC1587NO (3A), *R1* = *R3* = 330, *R2* = 100

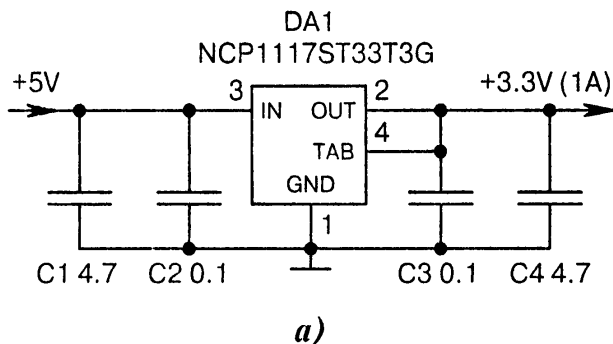


Рис. 4.6. Схемы стабилизаторов напряжения 3.3 В большой мощности (начало):

а) *DA1* — стабилизатор большой мощности. Вывод *TAB* конструктивный. Это теплоотвод для корпусов SOT-223 и DPAK. Рекомендуемая площадь металлизации на плате 2000 мм². Варианты: *DA1* = TS1117CW-3.3; *DA1* = HT1117-33; *DA1* = AMS1117-3.3, *DA1* = LD1117S33TR; *DA1* = NX1117C33Z; *DA1* = MIC29150-3.3; *DA1* = SPX29150T-3.3; *C1* = 22.0...47.0, *C4* = 10.0...22.0; *DA1* = LD1086D2M33 (1.5A) или *DA1* = SPX2815AU-3.3 (1.5A), *C1* = *C4* = 10.0; *DA1* = LT1086-3.3; *DA1* = RT9164A-33PG (корпус SOT-223), *DA1* = AP1117E33G-13; *DA1* = LM1117-3.3V; ⊖

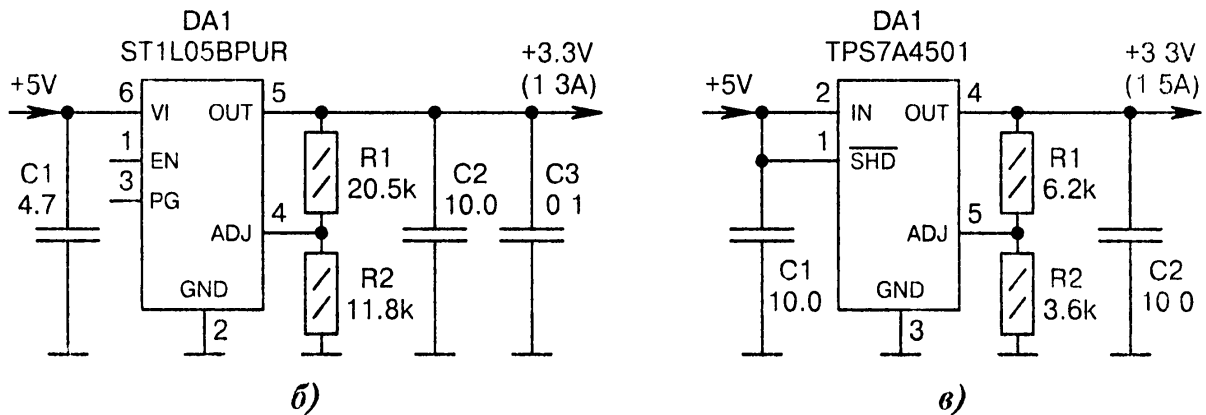


Рис. 4.6. Схемы стабилизаторов напряжения 3.3 В большой мощности (окончание):

б) *DA1* — это микроминиатюрный стабилизатор напряжения с низким собственным потреблением тока 0.65 мА и габаритами 4x4x0.8 мм. Его выходное напряжение рассчитывается по формуле $V_{out}[В] = 1.22 \cdot (1 + (R1[кОм] / (R2[кОм])))$;

в) *DA1* — это стабилизатор напряжения в малогабаритном корпусе SO1-23/6. Выходное напряжение рассчитывается по формуле $V_{out}[В] = 1.21 \cdot (1 + R1[кОм] / R2[кОм])$. Варианты: *DA1* = АМЕ8816ВЕНААДЖ (корпус SO-8), $R1 = 10.0k$, $R2 = 6.04k$; *DA1* = NCT3705U (корпус SOT-25), $R1 = 200k$; $R2 = 120k$; *DA1* = MIC37302 (3A), $R1 = 100k + 56k + 10k$ (последовательное соединениис трёх резисторов), $R2 = 100k$

4.5. Стабилизаторы напряжения 3.6 В

Диапазон напряжений 3.6...3.7 В относится к литий-ионным (Li-Ion) аккумуляторным батареям. В некоторых отладочных платах предусматривается автономная работа от таких батарей. Но для универсальности разработчики делают двойное питание, применяя стабилизаторы напряжения (Рис. 4.7, а, б).

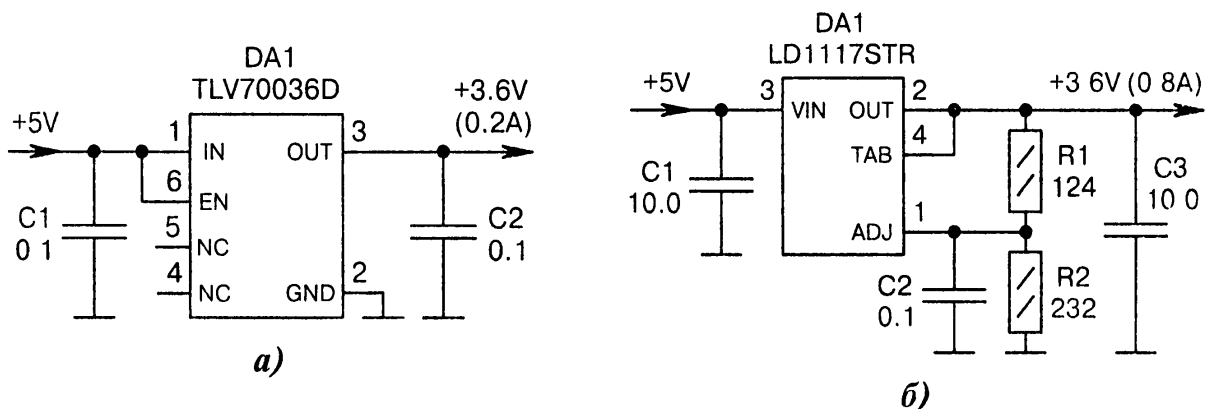


Рис. 4.7. Схемы стабилизаторов напряжения 3.6 В:

а) для работы стабилизатора напряжения *DA1* (корпус SOT-23/5) достаточно установки на входе и выходе керамических конденсаторов небольшой ёмкости;

б) *DA1* — это стабилизатор напряжения средней мощности с «корпусным» выводом *TAB*. Его выходное напряжение рассчитывается по формуле $V_{out}[В] = 1.25 \cdot (1 + (R1[кОм] + R2[кОм]))$

4.6. Стабилизаторы напряжения 4.3 В

На Рис. 4.8, а...в показаны схемы источников питания с напряжением 4.3 В.

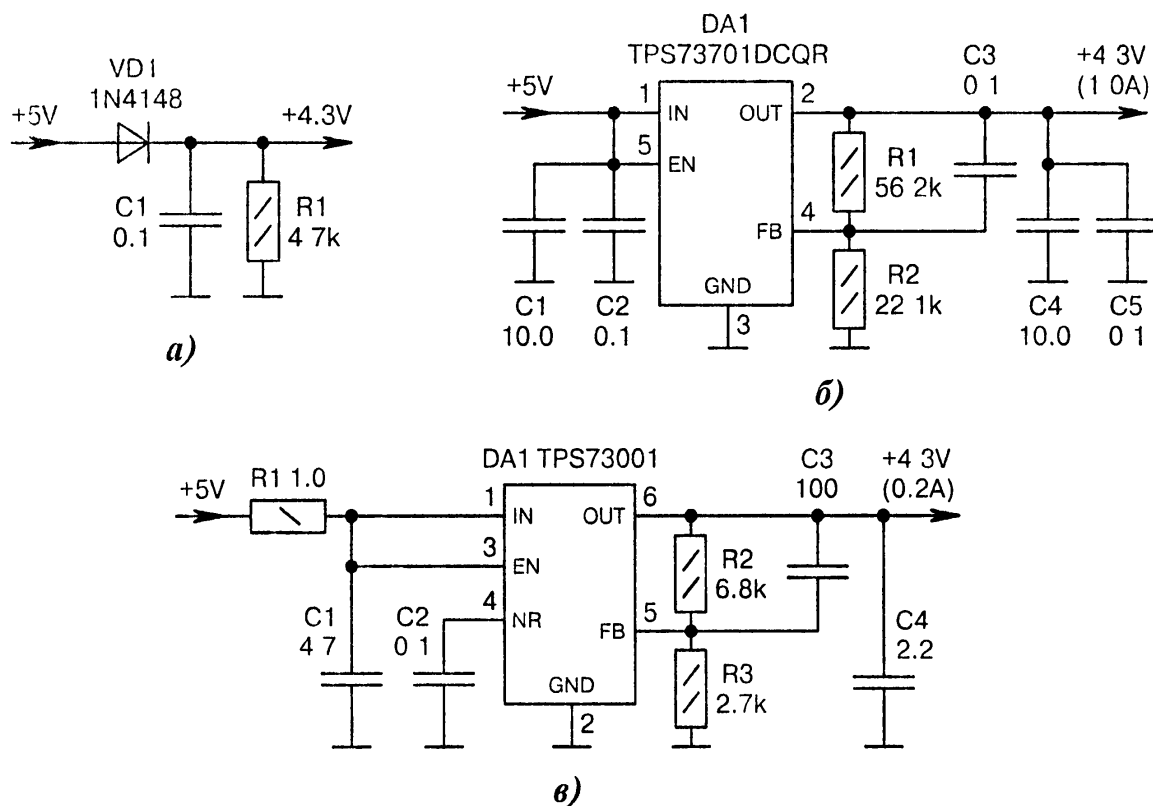


Рис. 4.8. Схемы стабилизаторов напряжения 4.3 В:

а) падение напряжения на кремниевом диоде *VD1* обеспечивает выходное напряжение, примерно на 0.7 В меньше, чем входное. В зависимости от тока нагрузки 0...200 мА падение напряжения может составлять 0.65...1.0 В. Следовательно, стабилизация питания +4.3 В осуществляется лишь при постоянной нагрузке по выходу и в узком температурном диапазоне;

б) *DA1* — это стабилизатор напряжения в малогабаритном корпусе SOT-223. Конденсатор *C3* повышает устойчивость работы при резкой смене тока нагрузки;

в) аналогично Рис. 4.8, б, но с другой микросхемой стабилизатора *DA1* и с другими номиналами ЭРИ. Резистор *R1* ограничивает пусковой ток. Выходное напряжение рассчитывается по формуле $V_{out}[V] = 1.225 \cdot (1 + R2[k\Omega] / R3[k\Omega])$. При указанных на схеме элементах расчётное значение выходного напряжения составляет 4.31 В.

4.7. Стабилизаторы напряжения 5 В

Ещё недавно пятивольтовые МК были самыми распространёнными и востребованными среди радиолюбителей. Однако технический прогресс практически оставил эти МК за бортом широкого применения. Тем не менее напряжение 5 В по-прежнему используется в отладочных платах. Для чего? Для питания шилдов, УНЧ, трактов USB. Кроме того, стабилизаторы напряжения 5 В служат промежуточным звеном для питания вторичных стабилизаторов 1.2...4.3 В.

На Рис. 4.9, а...д показаны схемы пятивольтовых стабилизаторов напряжения малых, средних и больших мощностей.

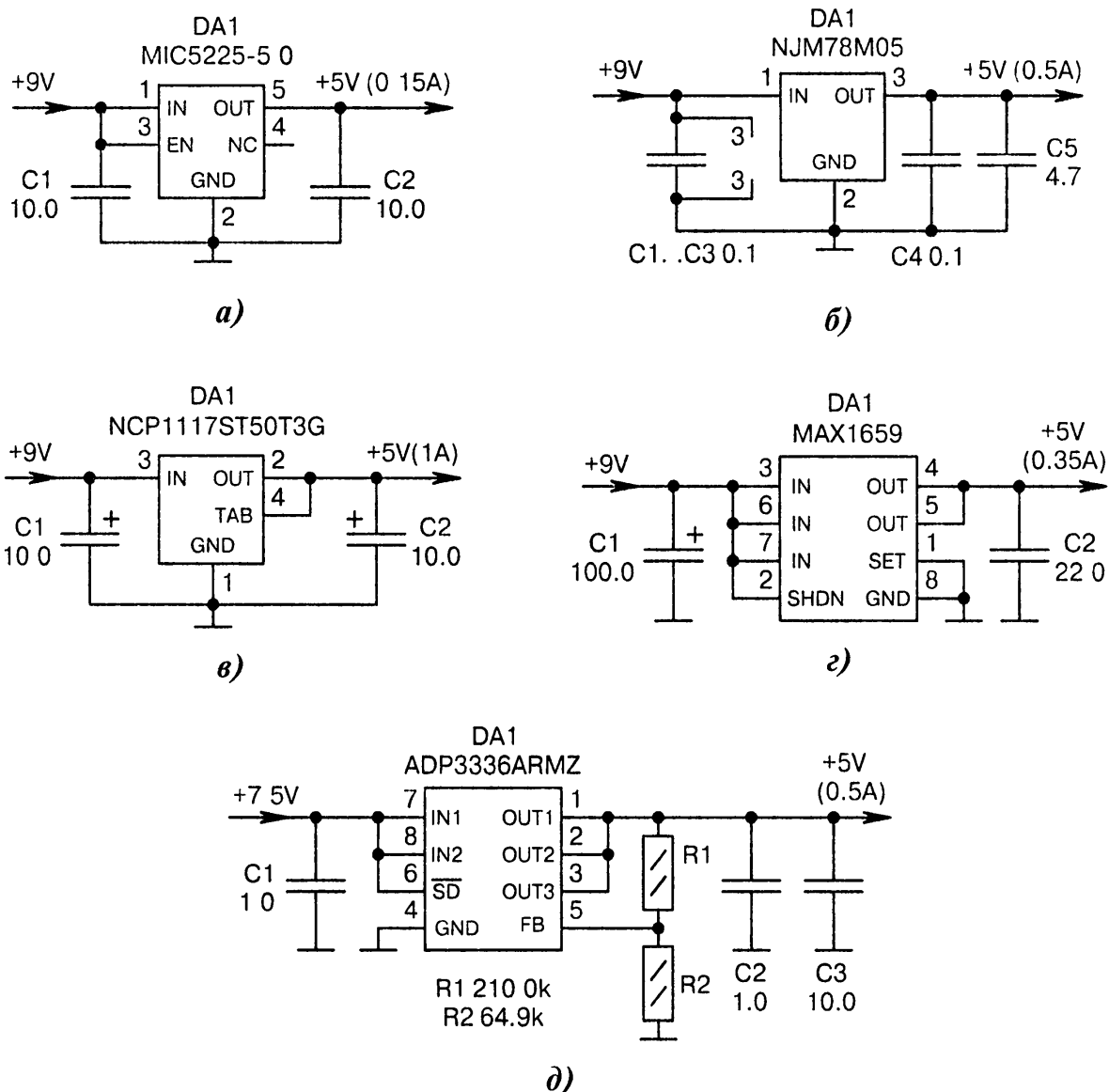


Рис. 4.9. Схемы стабилизаторов напряжения 5 В:

а) DA1 — это стабилизатор малой мощности с фиксированным напряжением +5 В. Варианты: DA1 = TLE4264 (другая цоколёвка выводов);

б) DA1 — это стабилизатор средней мощности с фиксированным напряжением +5 В. Варианты: DA1 = IFX25001TFV50 (0.4A); DA1 = L7805CV (1A), C1 = 100.0, C5 = 47.0;

в) DA1 — это стабилизатор большой мощности с фиксированным напряжением +5 В. Варианты: DA1 = LD1117S50; DA1 = AP1117D50L;

1) микросхема DA1 работает в широком диапазоне входных напряжений, вплоть до 16.5 В. Если вывод SET отсоединить от общего провода и подключить к нему подстроечный резистор, то стабилизатор фиксированного напряжения превращается в регулируемый стабилизатор,

д) микросхема DA1 обладает повышенной стабильностью параметров в широком диапазоне температур. Это достигается оптимальным подбором номиналов резисторов R1, R2, параллельное сопротивление которых должно быть максимально близким к 50 кОм. Выходное напряжение рассчитывается по формуле $V_{out}[В] = 1.178 (1 + (R1[кОм] / R2[кОм]))$

4.8. Регулируемое питание

Для качественной и всесторонней оценки возможностей конкретного МК необходимо проверить его параметры не только при одном питании, но и во всём диапазоне допустимых напряжений. Для этого в отладочные платы вводят узел регулирования питания. Регулирующими элементами могут быть: переменный (подстроечный) резистор, переключатель, джампер и даже... компьютер, если осуществляется программная перестройка напряжения (Рис. 4.10, а...л).

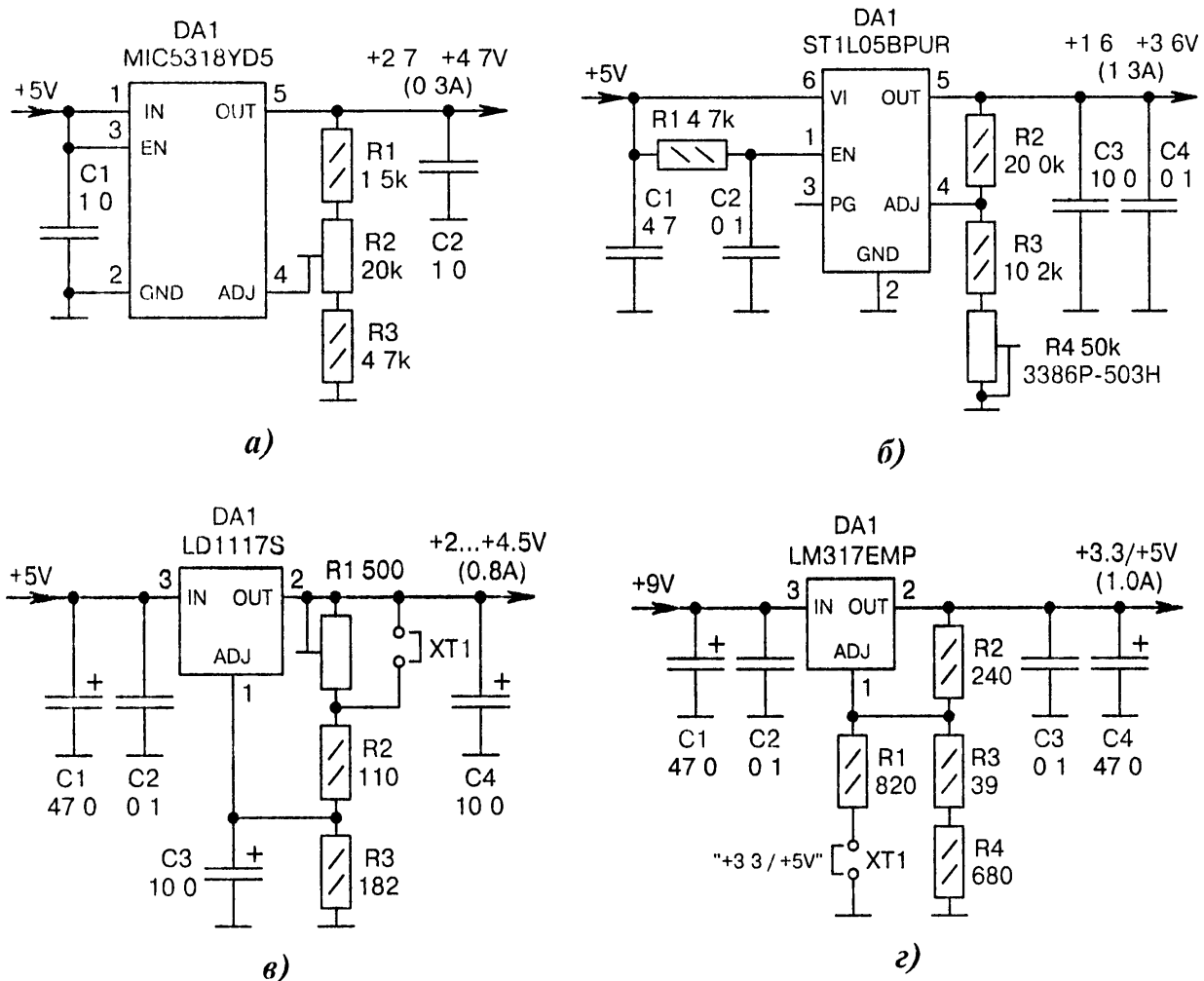


Рис. 4.10. Схемы узлов регулируемого питания (начало):

а) выходное напряжение регулируется подстроечным резистором $R2$ в широких пределах. Если это питание подаётся на МК, то можно заранее оценить стабильность его функционирования при работе от «просаживающихся» аккумуляторов и батарей;

б) резистором $R4$ выходное напряжение V_{out} подстраивается в пределах 1.6...3.6 В согласно формуле $V_{out}[V] = 1.22 \cdot (1 + (R2[\text{k}\Omega] / (R3[\text{k}\Omega] + R4[\text{k}\Omega])))$. Варианты: $R2 = 59.0\text{k}$, $R3 = 31.6\text{k}$, $C2 = 0$, при этом диапазон регулирования сужается до 2.1...3.5 В;

в) если джампер $XT1$ замыкает контакты, то на выходе формируется фиксированное напряжение +2 В. Если джампер снят, то V_{out} регулируется резистором $R1$ примерно от +2 до +4.5 В, то есть до полного открывания регулирующего транзистора внутри $DA1$;

г) установка джампера $XT1$ увеличивает выходное напряжение с +3.3 до +5 В, и наоборот. Особенность — обычные (а не прецизионные) резисторы $R1$ $R4$. Вариант $R3 + R4 = 719$, ☹

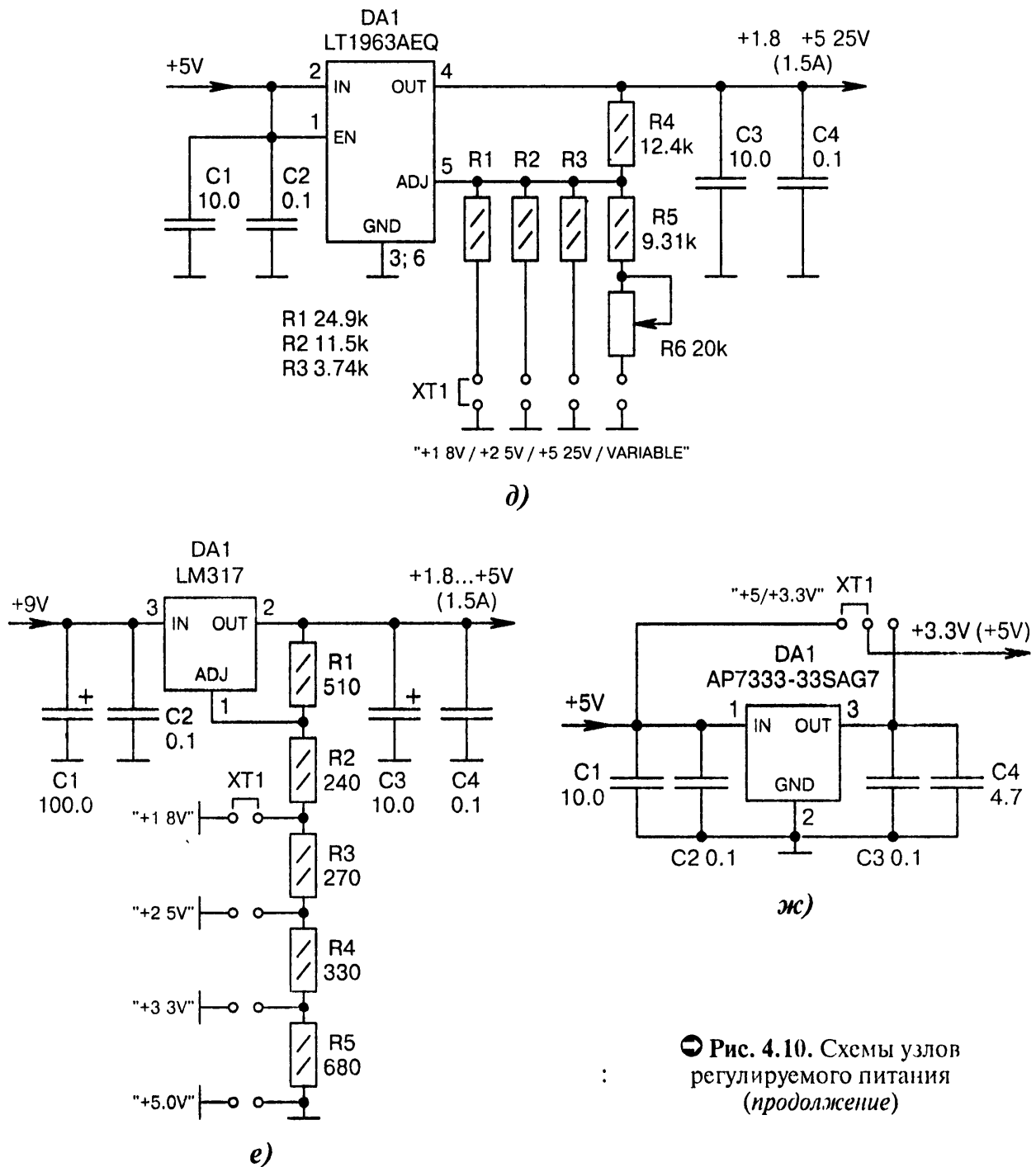


Рис. 4.10. Схемы узлов регулируемого питания (продолжение)

д) переставляя джампер *XT1* на разные посадочные места, можно изменять выходное напряжение. Если джампер совсем удалить, то на выходе будет +1.2 В;

е) аналогично Рис. 4.10, д, но перестановка положения джампера *XT1* приводит к изменению суммарного сопротивления цепочки резисторов *R2...R5* и, как следствие, к изменению выходного напряжения стабилизатора *DA1*. Диапазон регулирования выбран так, чтобы можно было проверять работу МК в пределах от +1.8 до +5 В. Переключатель с маркировкой «+5.0V» фиктивный. Она ничего не замыкает, но применяется для единообразия;

ж) малогабаритный стабилизатор напряжения *DA1* в корпусе SOT-23 обеспечивает достаточно большой ток нагрузки (0.25 А), малое падение напряжения (0.05...0.25 В) и низкий собственный ток потребления (55...85 мкА). Джампером *XT1* выбирается одно из двух напряжений для полноценной проверки работоспособности МК. Варианты: *DA1* = MCP1702T-3302E (0.25А); *DA1* = AP130-33YRL (0.3А); *DA1* = APL5320-33AI (0.3А), ☉

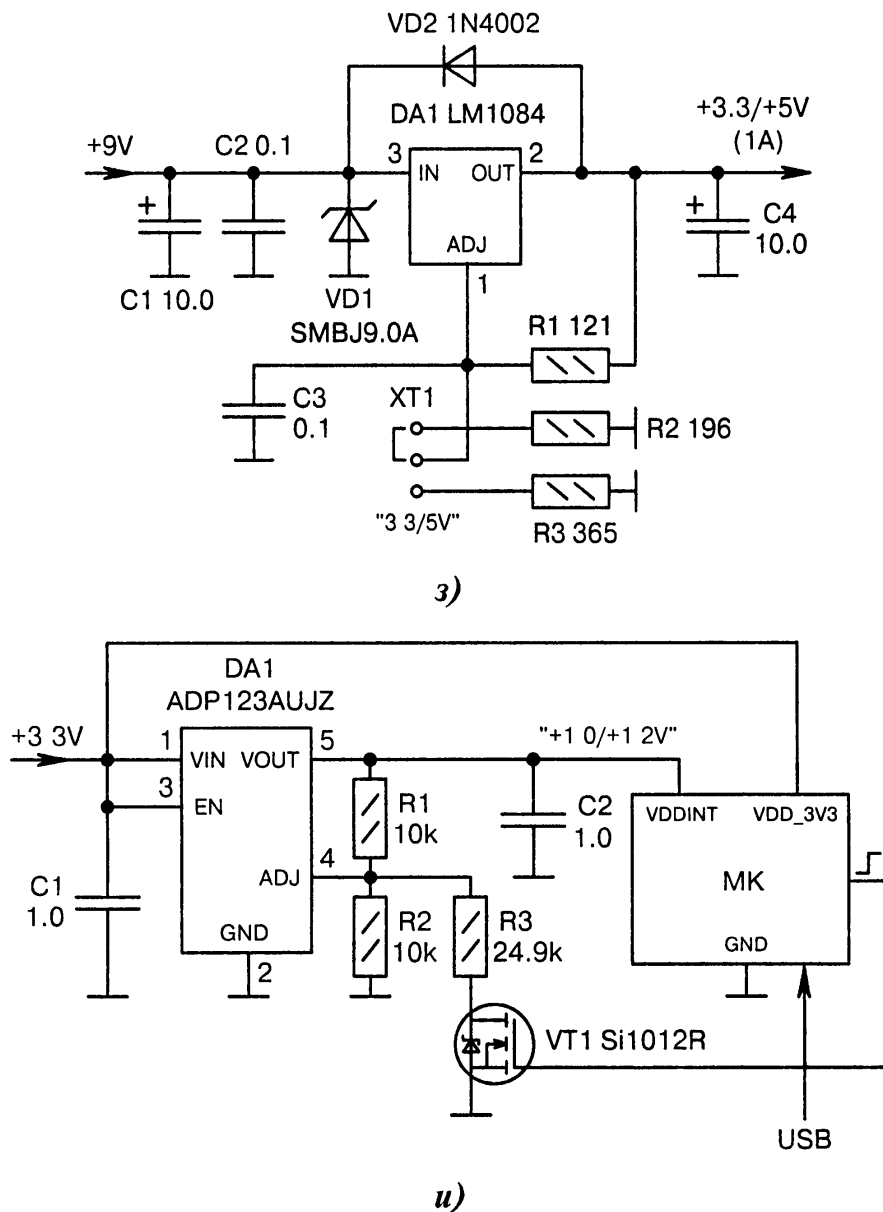


Рис. 4.10. Схемы узлов регулируемого питания (продолжение):

з) *DA1* — это мощный стабилизатор напряжения, работающий при пониженном до 1 А токе. Дело в том, что при токе 1 А падение напряжения между входом и выходом у микросхемы LM1084 меньше, чем при допустимом максимуме 5 А. Следовательно, потери мощности будут ниже. Джемпером *XT1* устанавливается выходное напряжение +3.3 или +5 В. Сапрессор *VD1* защищает стабилизатор от коротких всплесков напряжения амплитудой больше 10 В. Варианты: *DA1* = АМЕ1085 (3А); *VD1* = SMAJ12CA (ставится при входном напряжении 12 В);

и) компьютерная подстройка напряжения питания ядра МК через вывод *VDDINT*. Пользователь с компьютера посылает команду в МК по каналу USB. МК принимает команду и выставляет НИЗКИЙ/ВЫСОКИЙ уровень на своей выходной линии (изображена справа), при этом транзистор *VT1* открывается или закрывается. Транзистор подключает/отключает резистор *R3* к «земле», тем самым снижая/увеличивая напряжение на выходе стабилизатора *DA1*. Напряжение ядра *VDDINT* рассчитывается по формуле $V_x[B] = 0.5 \cdot (1 + (R1[k\Omega] / R23[k\Omega]))$, где *R23* — это резистор *R2* при закрытом транзисторе *VT1* или параллельное соединение резисторов *R2*, *R3* при открытом транзисторе *VT1*; ◀

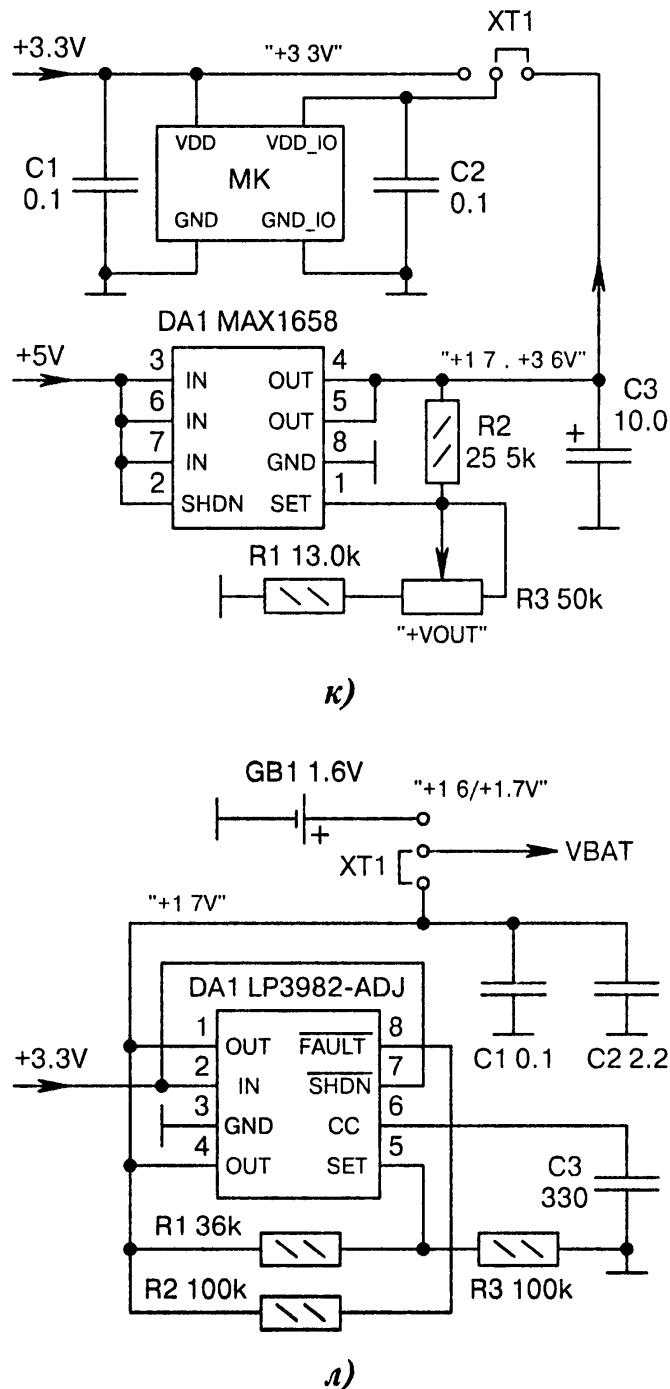


Рис. 4.10. Схемы узлов регулируемого питания (окончание):

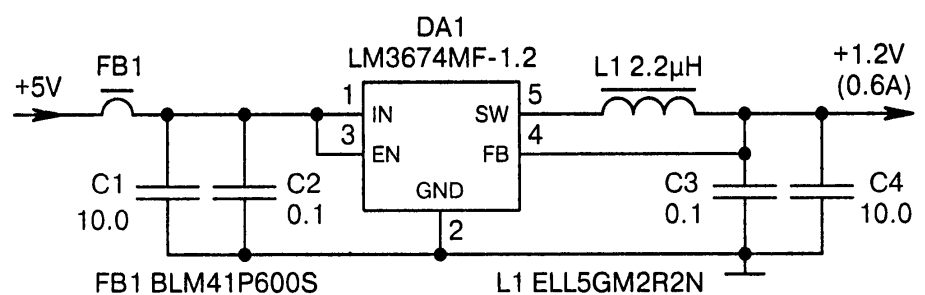
к) если МК имеет отдельные выводы питания для ядра VDD и для входов/выходов VDD_{IO} , то с помощью джампера $XT1$ можно установить для них одинаковые или разные напряжения. При разных питаниях в работу включается стабилизатор $DA1$. Его выходное напряжение регулируется резистором $R3$. Диапазон регулирования определяется соотношением сопротивлений резисторов $R1...R3$ с таким условием, чтобы питание МК не выходило за допустимые пределы;

л) джампером $XT1$ питающее напряжение V_{BAT} МК выбирается или от батареи $GB1$, или от стабилизатора на микросхеме $DA1$ (ток нагрузки до 0.3 А). Питание от стабилизатора полезно для перепроверки характеристик МК при подозрениях на «подсевшую» батарею. Напряжение на выходе стабилизатора $DA1$ определяется отношением сопротивлений резисторов $R1, R3$

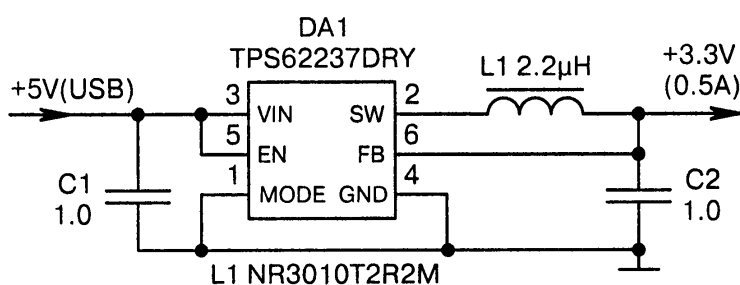
4.9. Понижающие DC/DC-преобразователи

Все плюсы аналоговых стабилизаторов напряжения сводятся на нет, когда речь заходит об их экономичности и КПД, особенно при больших токовых нагрузках. Чтобы теплоотвод аналогового стабилизатора не занимал лишнее место на печатной плате, разработчики всё чаще переходят на ключевые схемы.

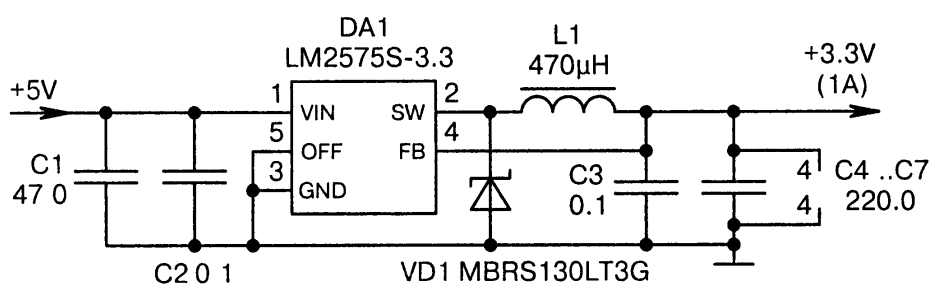
Если проанализировать схемотехнику DC/DC-преобразователей в отладочных платах разных фирм, то львиная доля приходится на стабилизаторы понижающего типа (Рис. 4.11, а...л).



а)



б)



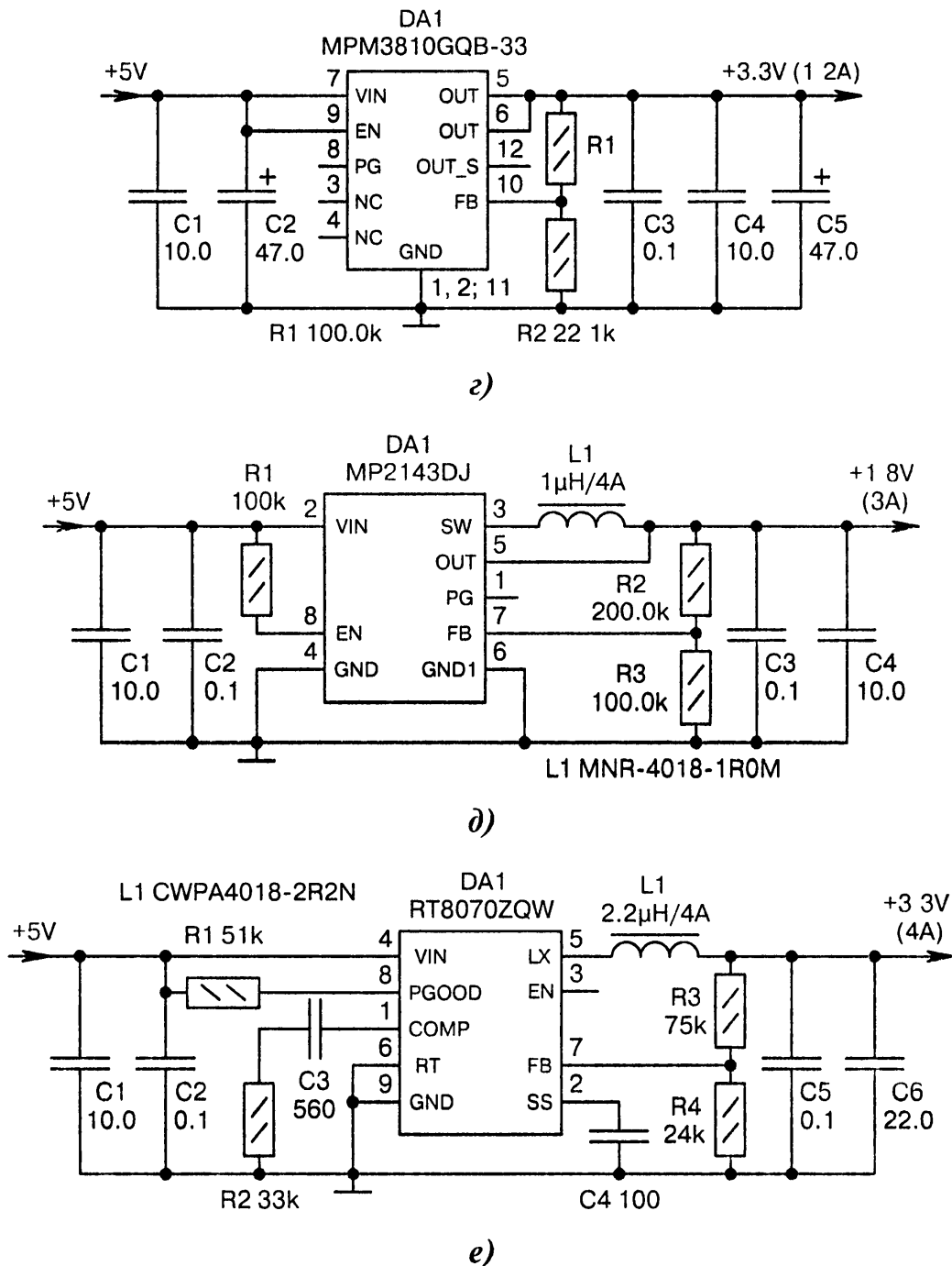
в)

Рис. 4.11. Схемы понижающих DC/DC-преобразователей (начало):

а) *DA1* — импульсный понижающий SMD-стабилизатор фиксированного напряжения 1.2 В. Частота коммутации 2 МГц (ШИМ), входное напряжение 2.7...5.5 В, выходное напряжение зависит от разновидности микросхемы и может быть выбрано согласно ряду: 1.2; 1.5; 1.8; 2.8 В;

б) аналогично Рис. 4.11, а, но с шестивыводной микросхемой *DA1*. Выходное напряжение фиксированное. Оно определяется последними цифрами в названии микросхемы в диапазоне 1.0...3.3 В. Питание подаётся от компьютера через канал USB;

в) *DA1* — это стабилизатор фиксированного напряжения с низкой тактовой частотой 52 кГц. Как следствие на выходе применяются конденсаторы большой ёмкости *C4...C7*; ☹

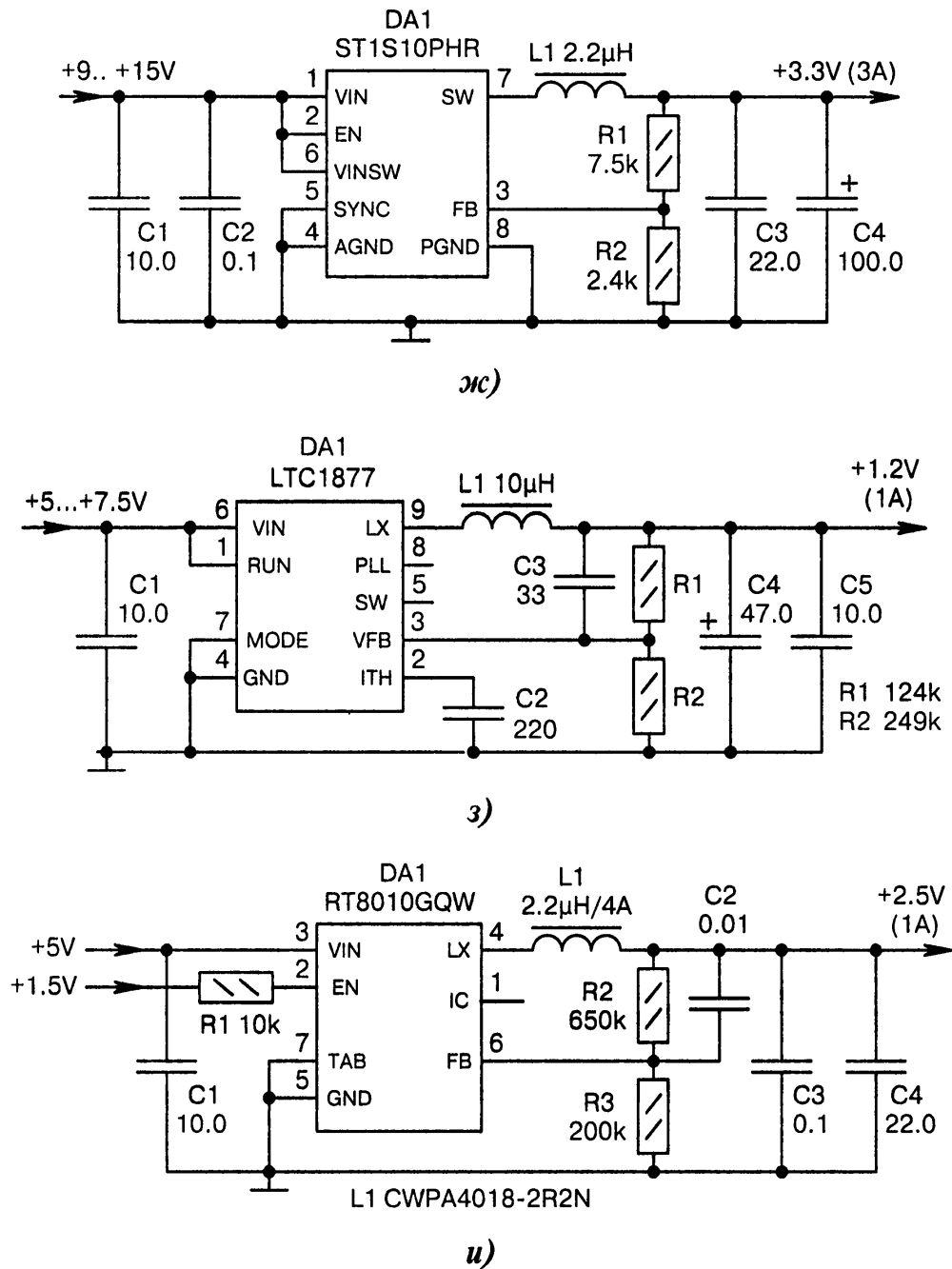


⊙ Рис. 4.11. Схемы понижающих DC/DC-преобразователей (продолжение):

г) *DA1* — это перспективный современный ключевой стабилизатор напряжения с встроенными в корпус индуктивностью и силовым транзисторным ключом. Внутренняя частота коммутации 3.5 МГц, размеры стабилизатора 2.5х3.5 мм. Выходное напряжение зависит от отношения резисторов $R1$, $R2$. Для напряжения +3.3 В их пропорция составляет 80:17.7;

д) *DA1* — это ключевой стабилизатор напряжения, КПД до 95%, максимальный выходной ток 3 А, частота коммутации 1.2 МГц. Выходное напряжение определяется отношением резисторов $R2$, $R3$ по формуле $V_{out}[В] = 0.6 \cdot (1 + (R2[кОм] / R3[кОм]))$;

е) *DA1* — это ключевой преобразователь напряжения, КПД до 95%, выходной ток до 4 А, рабочая частота коммутации 0.2...2 МГц (вывод RT соединяется с выводом GND). Номиналы резисторов $R2...R4$ и конденсатора $C3$ выбираются по даташиту для определённого выходного напряжения. Опорный источник V_{REF} внутри микросхемы *DA1* имеет напряжение 0.8 В; ⊙

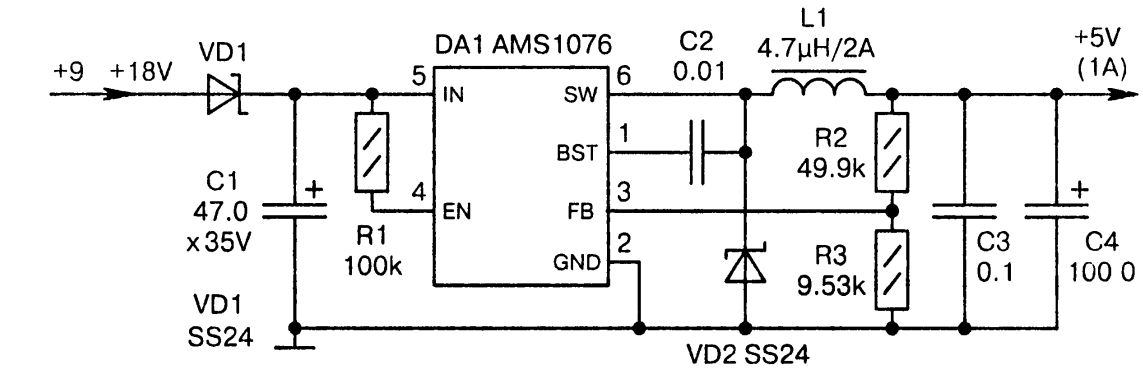


⊖ Рис. 4.11. Схемы понижающих DC/DC-преобразователей (продолжение):

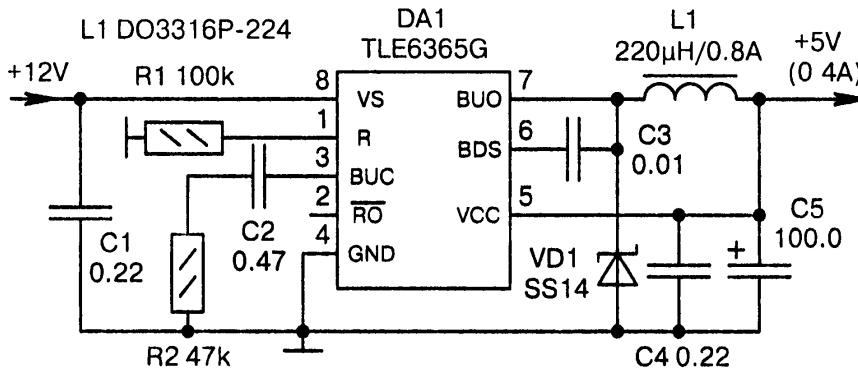
ж)) аналогично Рис. 4.11, е, но более просто. Частота коммутации составляет 900 кГц. Устанавливается она соединением выводов *DA1:4* и *DA1:5*;

з) особенностью схемы является конденсатор *C3*, повышающий стабильность системы регулирования микросхемы *DA1* на начальном этапе запуска. Частота коммутации лежит в диапазоне 400..700 кГц. Варианты: *DA1* = NCP1521 (частота 1.5 МГц, $V_{out} = 1.0$ В), $L1 = 2.2\mu\text{H}$, $C1 = 2.2$, $C2 = 0$, $C3 = 22$, $C4 = 4.7$, $C5 = 0.1$, $R1 = 150\text{k}$, $R2 = 220\text{k}$;

и) аналогично Рис. 4.11, з, но с конденсатором *C2* относительно большой ёмкости. Микросхема *DA1* допускает ток нагрузки до 1 А и имеет встроенный генератор импульсов с частотой 1.5 МГц. Формула для расчёта выходного напряжения $V_{out}[\text{В}] = 0.6 \cdot (1 + (R2[\text{k}\Omega] / R3[\text{k}\Omega]))$. Данный узел, кроме всего прочего, отслеживает наличие/отсутствие напряжения +1.5 В через цепь *EN*. При пропадании напряжения +1.5 В работа микросхемы *DA1* останавливается. Варианты: *DA1* = RT8059, $C2 = 47$, $L1 = \text{MNR-4018-2R2M}$; ⊖



л)



к)

Рис. 4.11. Схемы понижающих DC/DC-преобразователей (окончание):

к) *DA1* — это понижающий (step-down) стабилизатор с широким диапазоном входного напряжения. Выходное напряжение определяется отношением резисторов *R2*, *R3*. Варианты: *DA1* = A5974D, *L1* = 22µH/4A, *VD1* закорочен, *VD2* = STPS3L40-Y;

л) DC/DC-преобразователь с фиксированным выходным напряжением +4.9...+5.1 В и защитой от КЗ. Частота коммутации 100 кГц, КПД 70...90%. Варианты: *L1* = B82476-A1224-M

4.10. Инвертирующие DC/DC-преобразователи

Инверторы формируют на выходе отрицательное напряжение (Рис. 4.12, а, б).

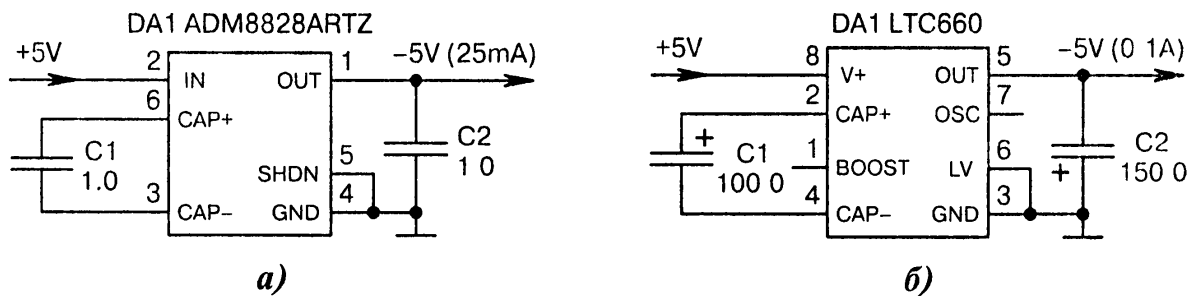


Рис. 4.12. Схемы инверторов напряжения:

а) внутри инвертора *DA1* находится конденсаторный DC/DC-преобразователь, работающий на частоте 100 кГц. КПД до 90% при токах нагрузки 5...25 мА. Конденсатор *C1* накопительный;

б) аналогично Рис. 4.12, а, но с другим типом микросхемы инвертора и с накопительным конденсатором *C1* большой емкости, что определяет высокий допустимый ток нагрузки

4.11. Повышающие DC/DC-преобразователи

Если на практике существуют понижающие, то должны существовать и повышающие DC/DC-преобразователи. Последние находят применение в стабилизаторах батарейного/аккумуляторного питания, а также в 12-вольтовых преобразователях напряжения для шилдов и подсветки дисплеев (Рис. 4.13, а...д).

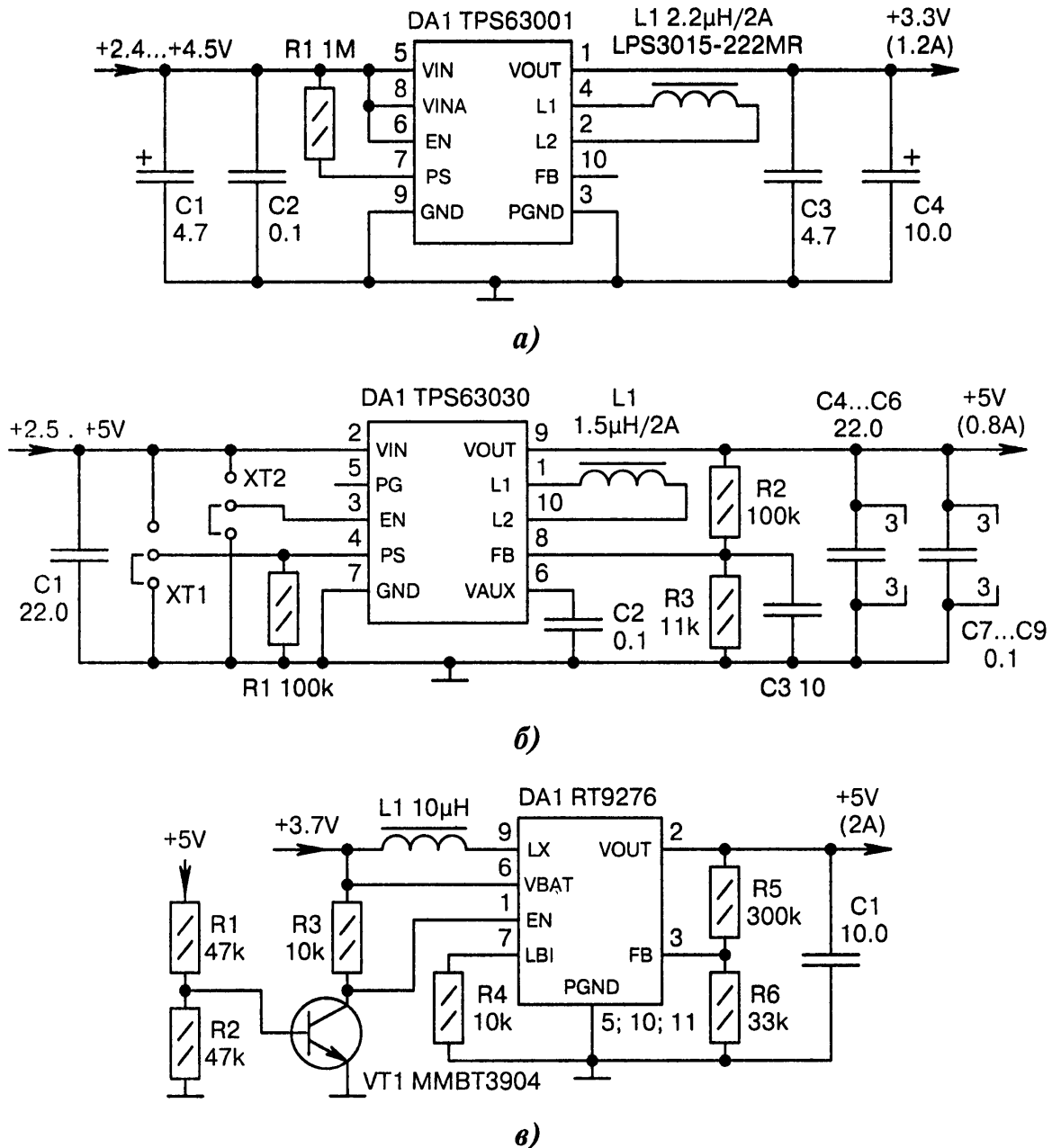


Рис. 4.13. Схемы повышающих DC/DC-преобразователей (начало):

а) преобразователь питается от двух/трёх батарей NiCd, NiMH или от одного Li-Ion аккумулятора. Выходное напряжение не регулируется, КПД 70...95%, выработка батарей «до конца»;

б) питание поступает из канала USB или от аккумуляторов. Выходное напряжение +5 В регулируется резисторами R_2 , R_3 . Дампером XT_1 включается экономичный режим с КПД до 90% при токе нагрузки 10 мА. Дампером XT_2 останавливается работа микросхемы DA_1 ;

в) повышающий преобразователь на микросхеме DA_1 стартует только при пропадании напряжения +5 В, при этом закрывается транзистор VT_1 и появляется ВЫСОКИЙ уровень EN ; ☉

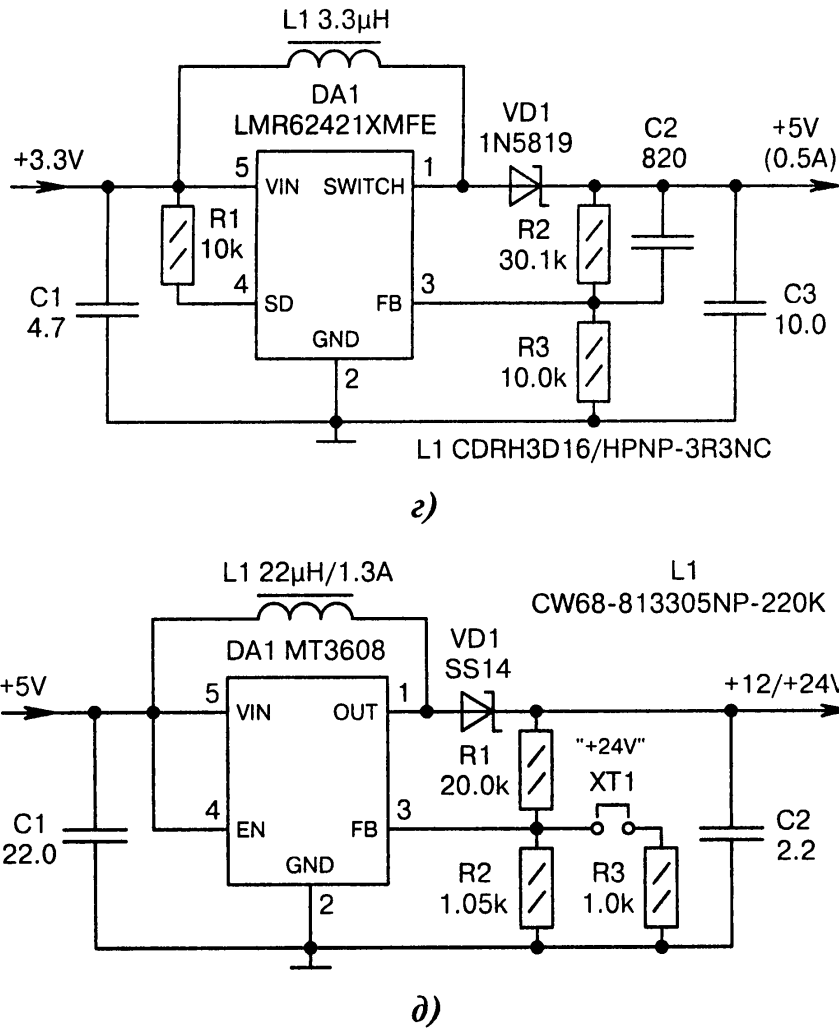


Рис. 4.13. Схемы повышающих DC/DC-преобразователей (окончание):

г) особенность — катушка индуктивности $L1$ включается между входом и выходом микросхемы $DA1$. Выходное напряжение определяется отношением резисторов $R2$, $R3$ (внутренний ИОН 1.255 В). Тактовая частота 1.6 МГц. Входное питание может быть от аккумулятора Li-Ion с напряжением 3.7 В. Варианты: $DA1 = LM2704MF-ADJ$, $R1 = 0$, $R2 = 1M$, $R3 = 330k$, $VD1 = MBR5130LT3G$, $C2 = 4.7\mu F$, $L1 = LQH43CN2R2M03$ (2.2µH);

д) аналогично Рис. 4.13, г, но с другими ЭРИ и с переключением выходного напряжения джампером $XT1$. Частота коммутации 100 кГц, КПД 70...90%. Варианты: $L1 = B82476-A1224-M$

4.12. Фильтрация аналогового питания

Как известно, аналоговые и цифровые цепи в МК «не дружат» друг с другом из-за наводимых помех. А раз так, то для аналогового питания желательно применить отдельные узлы со своей фильтрацией, которые физически будут располагаться на удалении от цифровой части МК.

В идеале выводы аналогового питания $AVCC$ и аналоговой «земли» $AGND$ должны иметь отдельные контакты на корпусе МК. В таком случае задача сводится к рациональной прокладке проводников на печатной плате. Если требуются дополнительные меры фильтрации, то применяют схемы, как на Рис. 4.14, а...м.

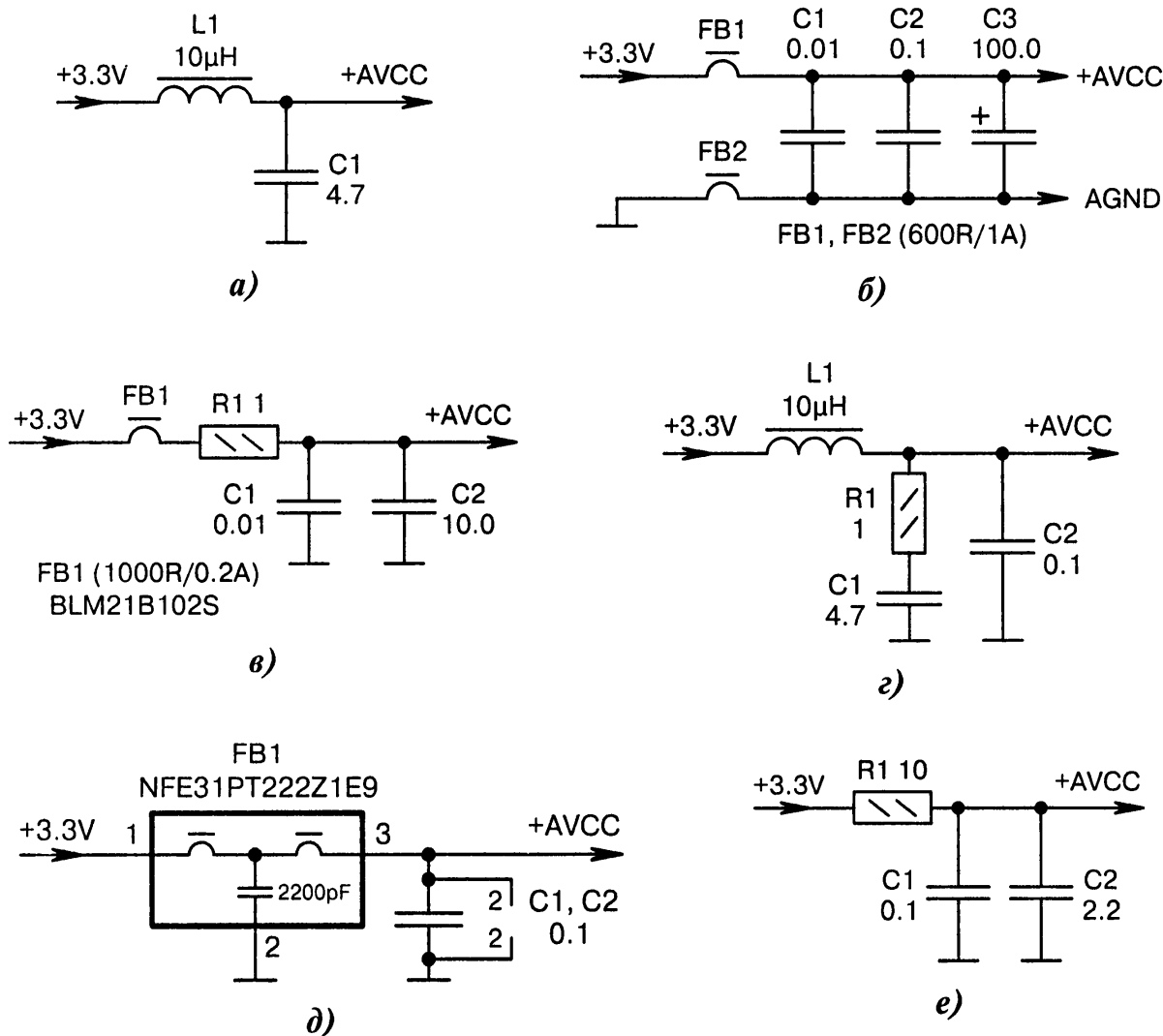


Рис. 4.14. Схемы фильтрации аналогового питания
(начало):

а) фильтрация импульсных помех элементами $L1$, $C1$. Дроссель может быть заменён ферритовой «бусинкой», имеющей сопротивление 300...600 Ом на частоте 100 МГц;

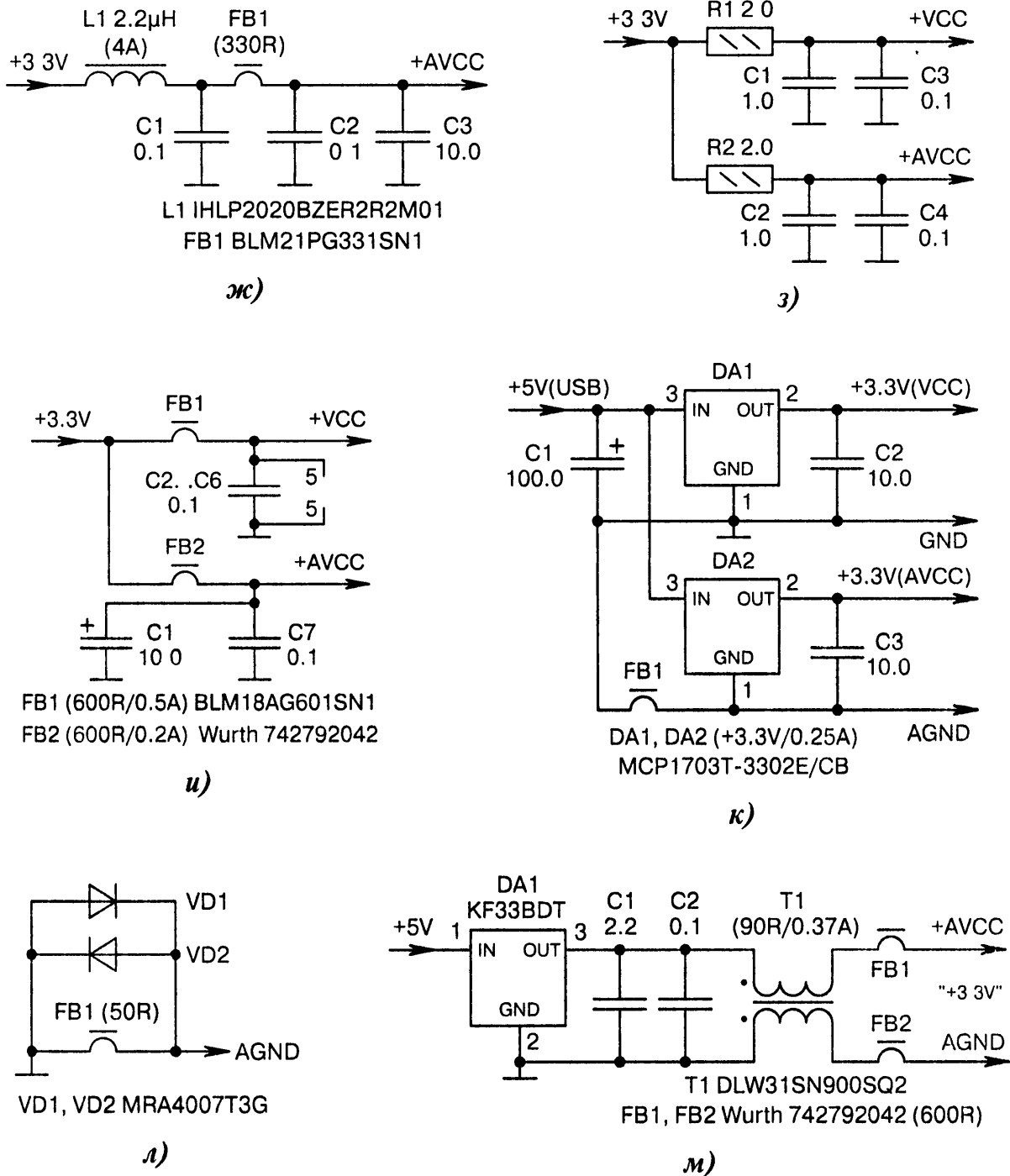
б) фильтрация помех осуществляется как по питанию ($FB1$), так и по общему проводу ($FB2$). Варианты: $C1 = C2 = 0$, $C3 = 4.7...47.0$; $FB1 = FB2 = \text{MH2029-300Y}$; $C1 = 1.0$, $C3 = 0$, $FB1 = FB2 = \text{MLB-160808-0600A-N2 (600R/0.15A)}$; $FB1 = FB2 = \text{BLM15HG601SN1D (BLM21)}$;

в) «антизвонный» резистор $R1$ по совместительству служит плавким предохранителем. Конденсатор $C1$ подавляет помехи в диапазоне ВЧ, а конденсатор $C2$ — в диапазоне НЧ;

г) резистор $R1$ ограничивает броски тока через конденсатор $C1$ (снижаются помехи). Аналогичное решение применяется для цепей питания ФАПЧ и тактового генератора МК;

д) ферритовый фильтр $FB1$ содержит внутри себя не только проводники-индуктивности, но и блокировочный конденсатор. Допустимый ток 6 А, полоса заграждения 1...1000 МГц. Фильтр полезен при импульсном источнике питания +3.3 В. Варианты: $FB1 = \text{NFE61PT472}$;

е) Г-образный RC-фильтр по питанию. Конденсатор $C2$ применяется керамический, а не электролитический. Это стало возможным благодаря достижениям современных технологий. Для справки: керамические SMD-конденсаторы выпускаются ёмкостью 1...100 мкФ [4-3] Используемые типоразмеры: 0201, 0402, 0603, 0805, 1206, 1210, 1812, 2220. Варианты: $R1 = 18$, $C2 = 22.0$; $R1 = 4.7$, $C2 = 10.0$; параллельно $C1$, $C2$ добавить конденсатор ёмкостью 220 пФ; ●



⊖ Рис. 4.14. Схемы фильтрации аналогового питания (окончание):

- ж) два звена ФНЧ $L1$, $C1$ и $FB1$, $C2$, $C3$ снижают уровень помех в широкой полосе частот. Варианты: параллельно конденсатору $C1$ поставить керамический конденсатор ёмкостью 10 мкФ, $L1$ заменить ферритовой «бусинкой», имеющей сопротивление 330 Ом на частоте 100 МГц,
- з) разделение цифрового VCC и аналогового $AVCC$ питания двумя RC -фильтрами,
- и) аналогично Рис. 4.14, з, но с двумя LC -фильтрами. Варианты: $FB1 = FB2 = 150R/1A$,
- к) цифровая и аналоговая части МК в целях взаимной развязки питаются от разных стабилизаторов напряжения $DA1$, $DA2$. Общий провод $AGND$ фильтруется ферритовой «бусинкой» $FB1$;
- л) диоды $VD1$, $VD2$ устраняют резонансные всплески ВЧ-напряжений;
- м) фильтрация синфазных помех по питанию и «земле» SMD-трансформатором $T1$

4.13. Фильтрация цифрового питания

Источниками помех на шине цифрового питания являются, с одной стороны, внешние DC/DC-преобразователи, а с другой — внутренний тактовый генератор МК. И в том, и в другом случае полезно фильтровать питание (Рис. 4.15, а...е).

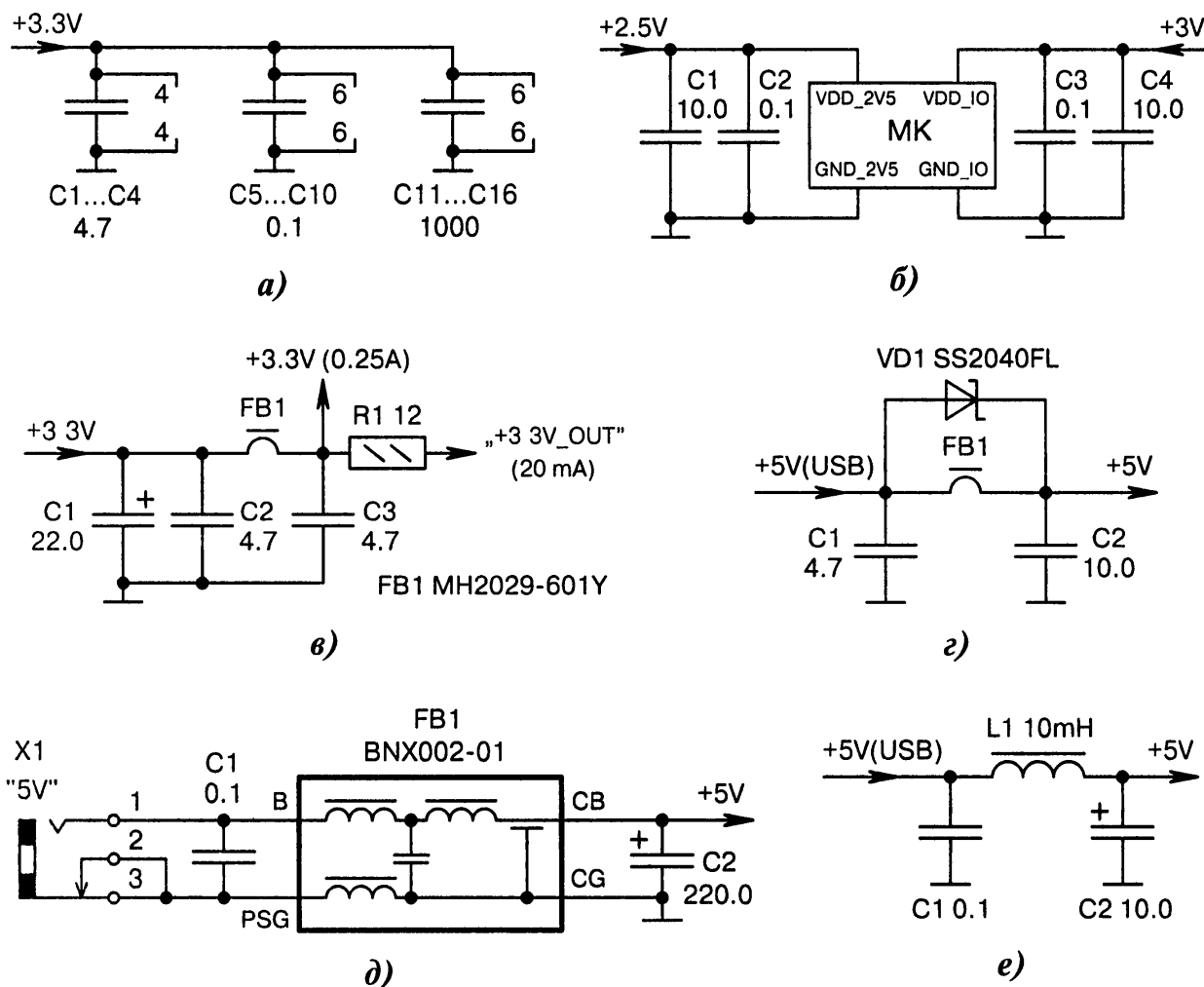


Рис. 4.15. Схемы фильтрации цифрового питания:

а) конденсаторы $C1...C16$ группируются в кластеры и размещаются равномерно по плате. Исключение составляют конденсаторы, устанавливаемые вблизи от выводов питания микросхем. Конденсаторы разных номиналов эффективно подавляют широкополосные помехи;

б) в МК, имеющем разные напряжения питания для ядра (+2.5 В) и для периферии (+3 В), конденсаторы по питанию ставятся максимально близко от соответствующих выводов;

в) питание внутренних и внешних цепей проходит через общий фильтр на элементах $C1...C3$, $FB1$. Резистор $R1$ ограничивает ток нагрузки, но он может служить и частью внешнего ФНЧ;

г) параллельно включённый диод $VD1$ демпфирует колебательные процессы, возникающие при начальном включении питания или скачках тока нагрузки;

д) $FB1$ — это комплексный фильтр, снижающий ВЧ-помехи от блока питания к МК и от МК в разъём $X1$. Параметры $FB1$: степень подавления помех 40...80 дБ в диапазоне 1...100 МГц, сопротивление 0.1 Ом, допустимый ток 10 А, рабочее напряжение до 50 В;

е) входной LC-фильтр в канале питания USB. Ёмкости конденсаторов $C1$, $C2$ не следует выбирать слишком большими (сотни микрофарад), чтобы не сработала защита в компьютере

4.14. Батарейное/аккумуляторное питание

Отладочные платы при необходимости могут питаться от внешних батарей и аккумуляторов. Более того, в некоторых платах предусматривается отсек для установки одной или двух пальчиковых батарей, а также крепление для монтажа малогабаритного дискового аккумулятора. Выполняемые функции: источник основного или резервного питания для поддержания хода часов RTC (Рис. 4.16, а...к).

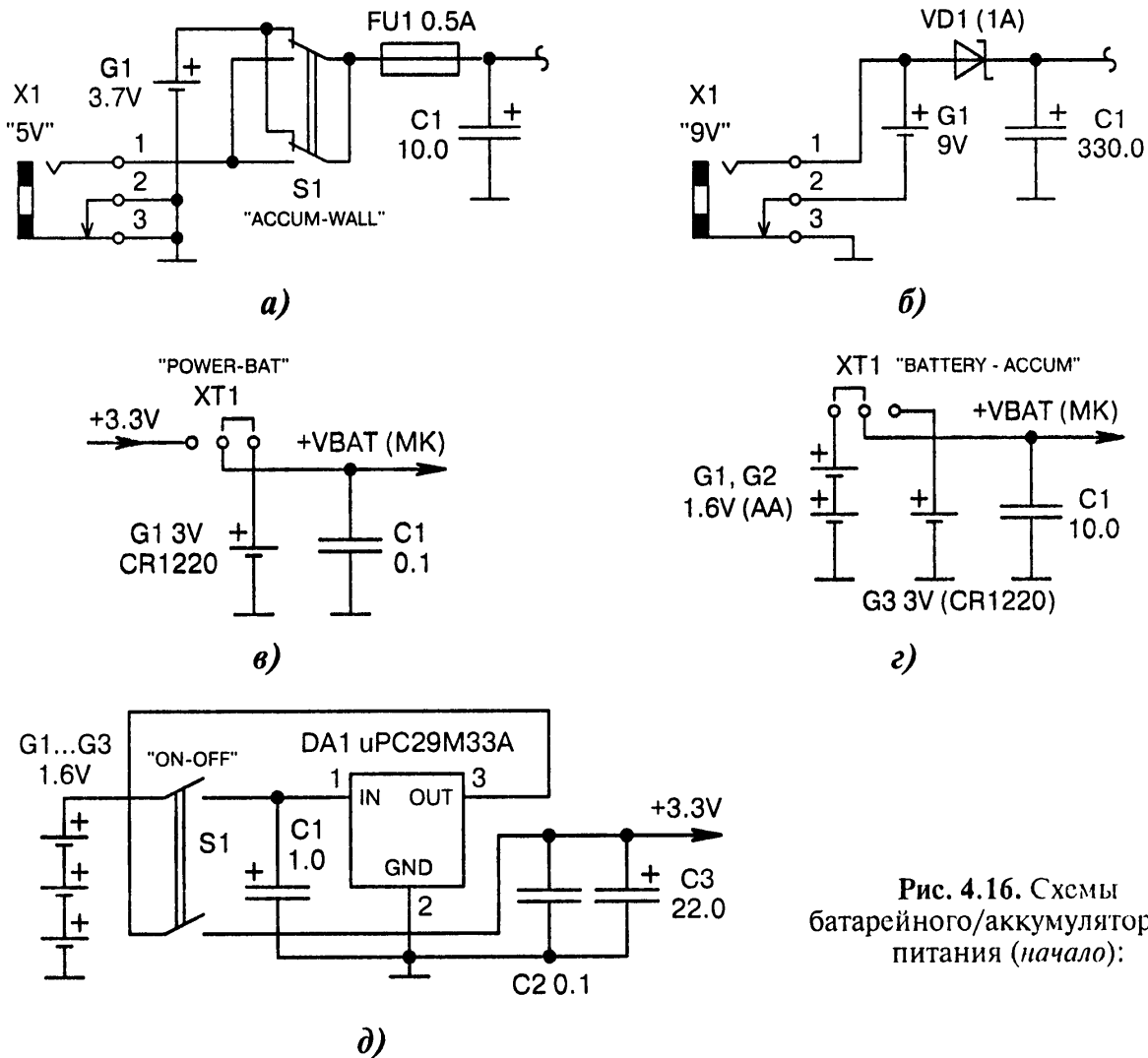


Рис. 4.16. Схемы батарейного/аккумуляторного питания (начало):

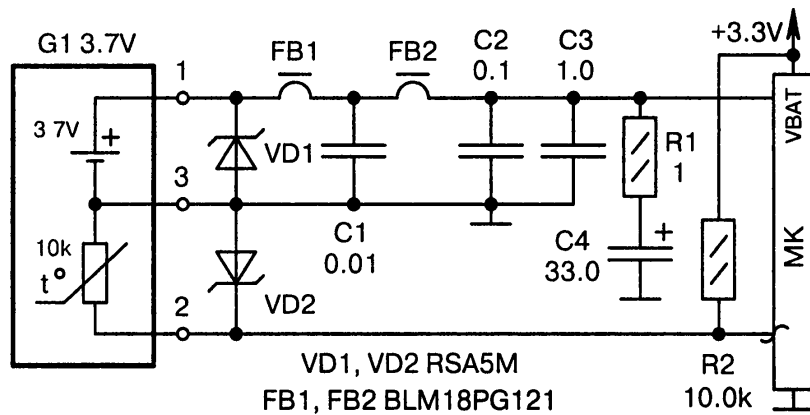
а) переключателем $S1$ выбирается один из двух источников питания: Li-Po аккумулятор $G1$ или «сетевая вилка» (разъём $X1$). $FU1$ — это самовосстанавливающийся предохранитель РТС,

б) в исходном состоянии питание устройства производится от батареи $G1$. Если вставить штекер в разъём $X1$, то цепь между контактами $X1:2$ и $X1:3$ разрывается, батарея отключается и питание автоматически переключается на внешний источник;

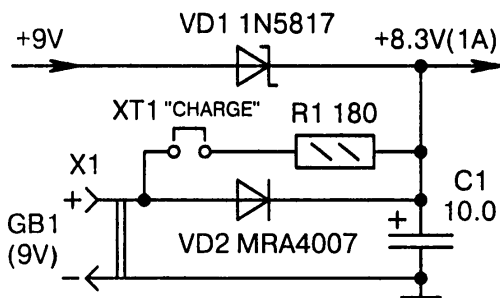
в) джампером $XT1$ коммутируется напряжение для часов реального времени RTC МК. В правом положении — от батареи $G1$, в левом положении — от питания +3.3 В. Варианты: $C1 = 0$,

г) на плате имеются два батарейных отсека: для «пальчиковых» батарей типоразмера AA ($G1$, $G2$) и для дисковой батареи $G3$. Суммарное напряжение двух батарей $G1$, $G2$ примерно такое же, как у одной $G3$, но ёмкость у последней гораздо меньше (в разы);

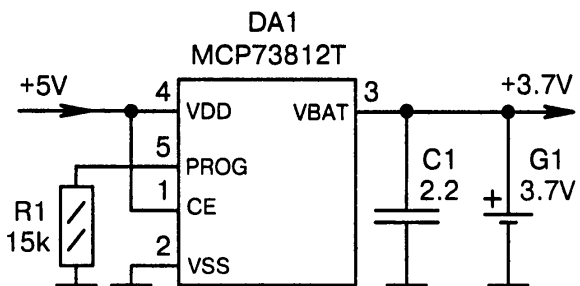
д) переключатель $S1$ одновременно коммутирует входные и выходные цепи стабилизатора питания $DA1$, что создаёт двойную изоляцию батарей $G1...G3$ от остальной части схемы; ☹



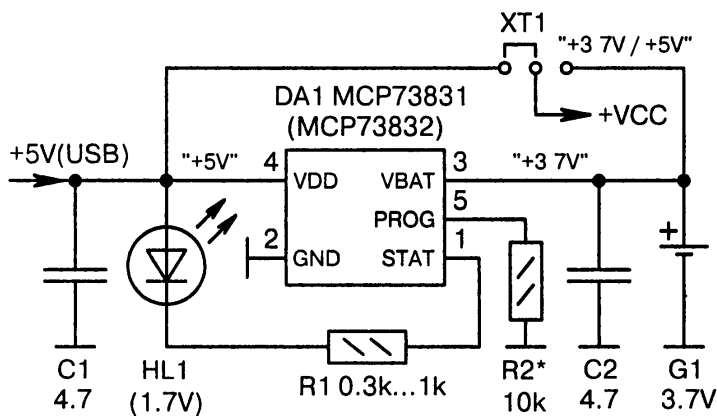
е)



ж)



з)



и)

Рис. 4.16. Схемы батарейного/аккумуляторного питания (продолжение):

е) МК имеет специальный контакт *VBAT* для подключения Li-Ion аккумулятора *G1*. В схеме приняты меры по снижению помех и защите от перенапряжений при «горячем» включении и отключении аккумулятора (сапрессоры *VD1*, *VD2*, фильтры *FB1*, *FB2*, *C1...C4*). Резистор *R1* снижает помехи при начальной подаче питания. Резистор *R2* входит в состав делителя напряжения, через который МК измеряет температуру внутри аккумулятора *G1* через его терморезистор;

ж) джампер *XT1* ставится, если к разъёму *X1* подключается не батарея, а подзаряжаемый аккумулятор. Заряд производится от источника +9 В, ток заряда зависит от сопротивления резистора *R1*. Варианты: *VD1* = SS14; *VD1* = BAT54C с параллельным включением двух диодов;

з) подзарядка Li-Ion аккумулятора *G1* производится от источника +5 В через микросхему *DA1*. Ток заряда 50...500 мА задаётся резистором *R1* по формуле $I_x[\text{mA}] = 1000 / R1[\text{kOhm}]$;

и) джампером *XT1* выбирается компьютерный или автономный способ питания МК. Микросхема *DA1* служит зарядным устройством для Li-Ion или Li-Po аккумулятора *G1*. Заряд трёхступенчатый. Резистором *R2* регулируется ток заряда от 0.1 А (10 кОм) до 0.5 А (2 кОм);

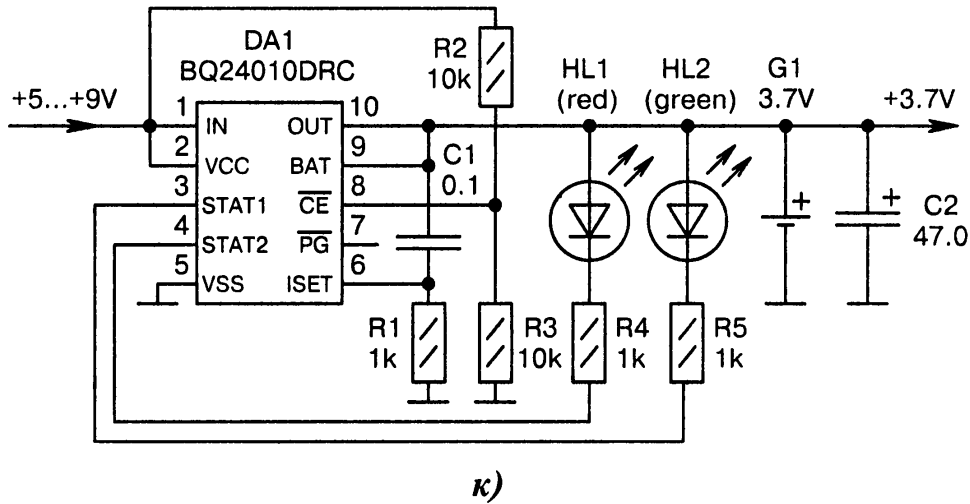


Рис. 4.16. Схемы батарейного/аккумуляторного питания (окончание):

к) система подзарядки Li-Ion аккумулятора *G1* при помощи микросхемы *DA1*. Ток заряда 0.1...1 А определяется резистором *R1* по формуле $I_x[\text{mA}] = 837 / R1[\text{k}\Omega]$. Ход процесса индицируется светодиодами *HL1* («Charge») и *HL2* («Done»)

4.15. Автоматическое переключение питания

Речь пойдёт о случае, когда устройство запитывается от двух или более источников, причём отключение одного из них должно приводить к автоматическому восстановлению питания по резервному пути. В таких схемах обычно реализуется логическая функция «ИЛИ» (Рис. 4.17, а...м).

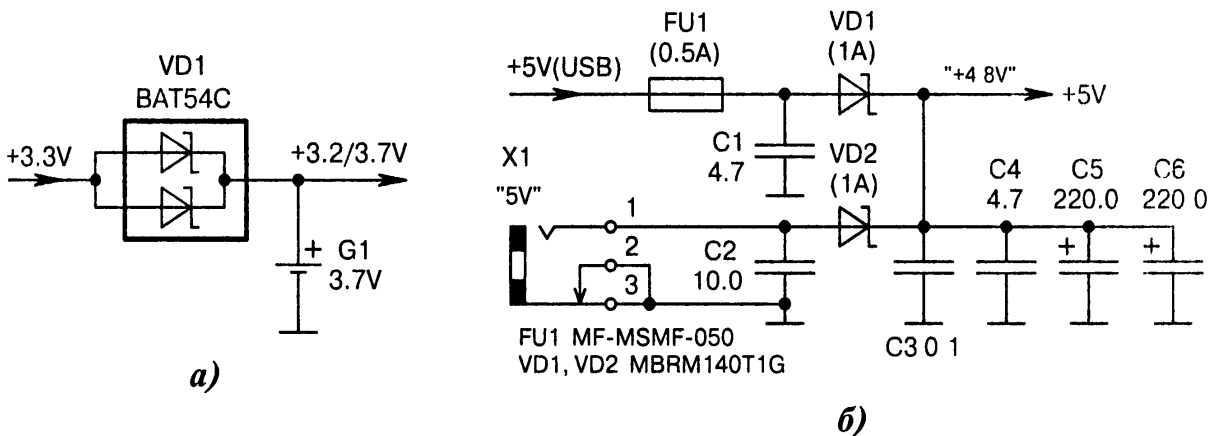


Рис. 4.17. Схемы автоматического переключения питания (начало):

а) при отключении Li-Ion аккумулятора *G1* питание на устройство будет подаваться пониженное примерно до +3.2 В из-за падения напряжения на сборке диодов Шоттки *VD1*;

б) выбор источника питания +5 В производится или от компьютера через канал USB, или от «сетевой вилки» через разъём *X1*. Реальное выходное напряжение получается меньше примерно на 0.2 В из-за диодов Шоттки *VD1*, *VD2*. Допускается совместная подача двух входных напряжений. Интересный нюанс — два электролитических конденсатора *C5*, *C6* обеспечивают лучшую фильтрацию пульсаций, чем один большой конденсатор ёмкостью 470 мкФ вместо них, ☹

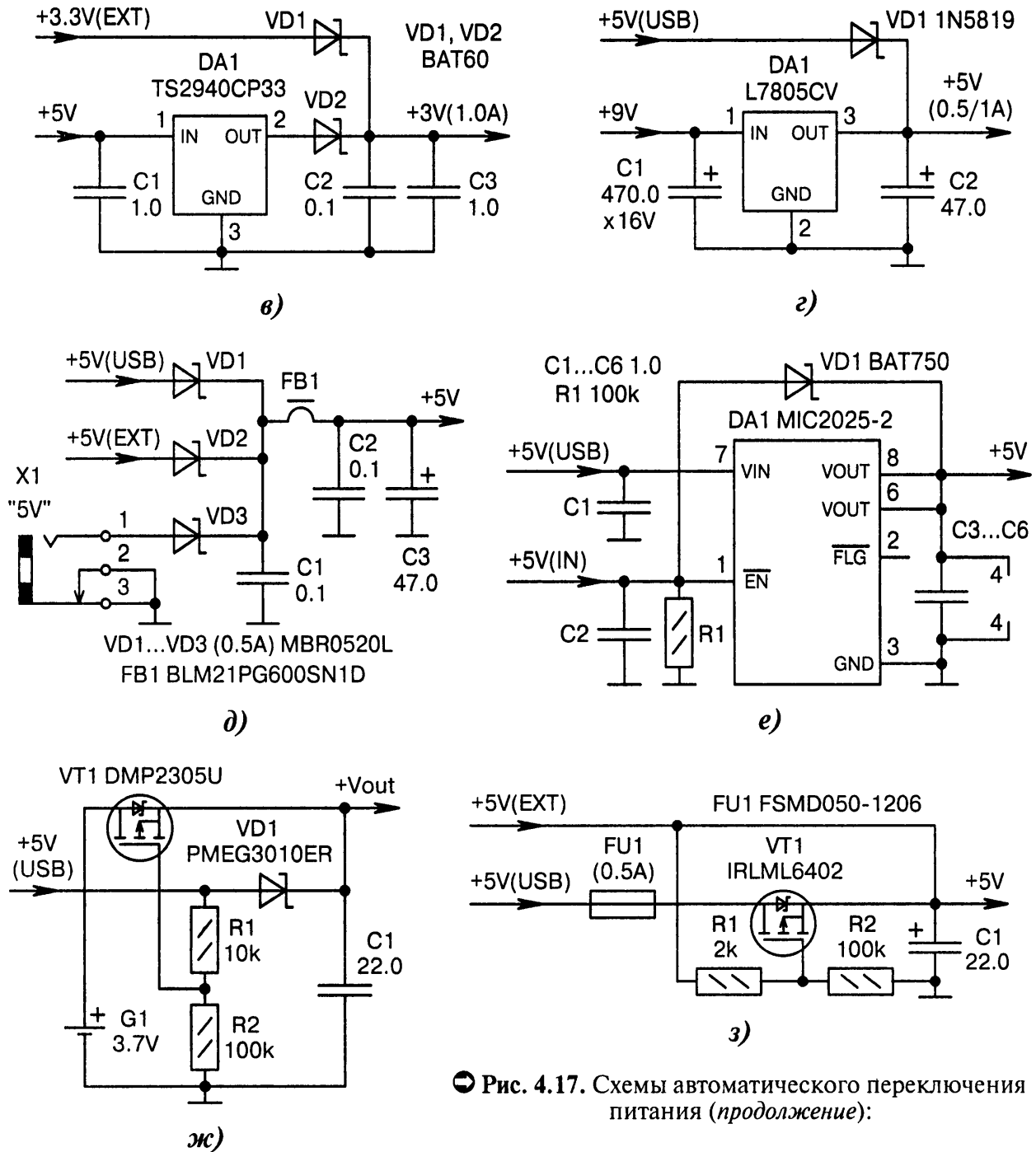


Рис. 4.17. Схемы автоматического переключения питания (продолжение):

в) диоды Шоттки $VD1, VD2$ соединяются по схеме «ИЛИ», что снижает выходное напряжение на 0.2...0.3 В и не позволяет стабилизатору $DA1$ отводить экстратоки от входных линий МК;

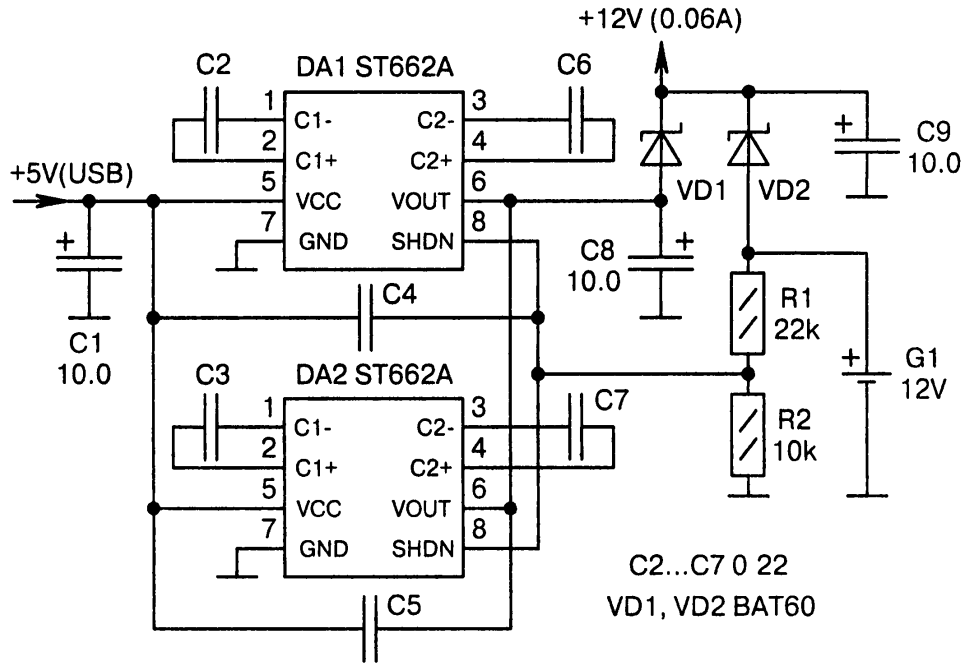
г) автоматический выбор одного из двух каналов питания. Особенность — один развязывающий диод $VD1$. Варианты: $VD1 = PMEG2010EA$;

д) выходное напряжение +5 В (реально +4.7...4.8 В из-за диодов $VD1...VD3$) поступает от трёх разных источников. Варианты: $VD1...VD3 = 1N5819$; $VD1...VD3 = PMEG1030EJ$, $FB1$ замкнут;

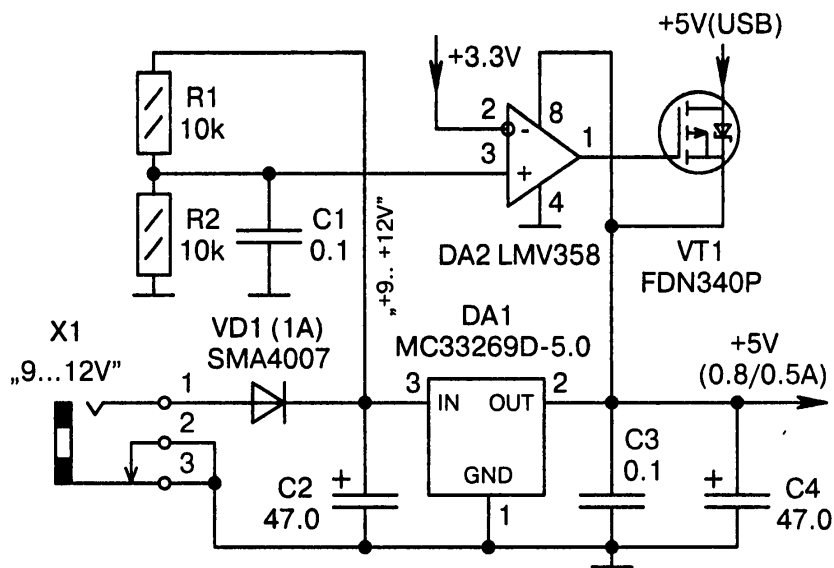
е) источник +5V(IN) является приоритетным, т. к. ВЫСОКИМ уровнем сигнала \overline{EN} отключается микросхема $DA1$, и питание в цепь +5 В поступает через диод $VD1$. Если +5V(IN) отсутствует, то резистор $R1$ формирует НИЗКИЙ уровень сигнала \overline{EN} , и питание проходит от +5V(USB);

ж) транзистор $VT1$ автоматически закрывается при подключении кабеля USB, и наоборот. Напряжение в цепь $Vout$ поступает через диод $VD1$ или от $G1$ через открытый транзистор $VT1$;

з) автоматическая подача питания +5V(USB) при пропадании напряжения +5V(EXT);



и)



к)

⊙ Рис. 4.17. Схемы автоматического переключения питания (продолжение):

и) микросхемы *DA1*, *DA2* — это конденсаторные множители напряжения. Работают они параллельно и обеспечивают на своих выходах *VOUT* напряжение $+12\text{ В} \pm 5\%$ при токе нагрузки до 60 мА. Если аккумулятор *G1* устанавливается в батарейный отсек, то микросхемы *DA1*, *DA2* автоматически отключаются ВЫСОКИМ уровнем на входах *SHDN*. Представленный множитель напряжения по техническим параметрам подходит для питания интерфейса LIN;

к) при подаче на разъём *X1* постоянного напряжения $+9...+12\text{ В}$ на выходе стабилизатора *DA1* появляется напряжение $+5\text{ В}$, которое приводит к срабатыванию компаратора на ОУ *DA2* и запирающему транзистору *VT1*. При снятии питания с разъёма *X1* происходит обратный процесс, транзистор *VT1* открывается, и питание в цепь $+5\text{ В}$ поступает от компьютера через канал USB. Главным в связке является сетевое питание. Варианты: *VT1* = NDT2955; ⊙

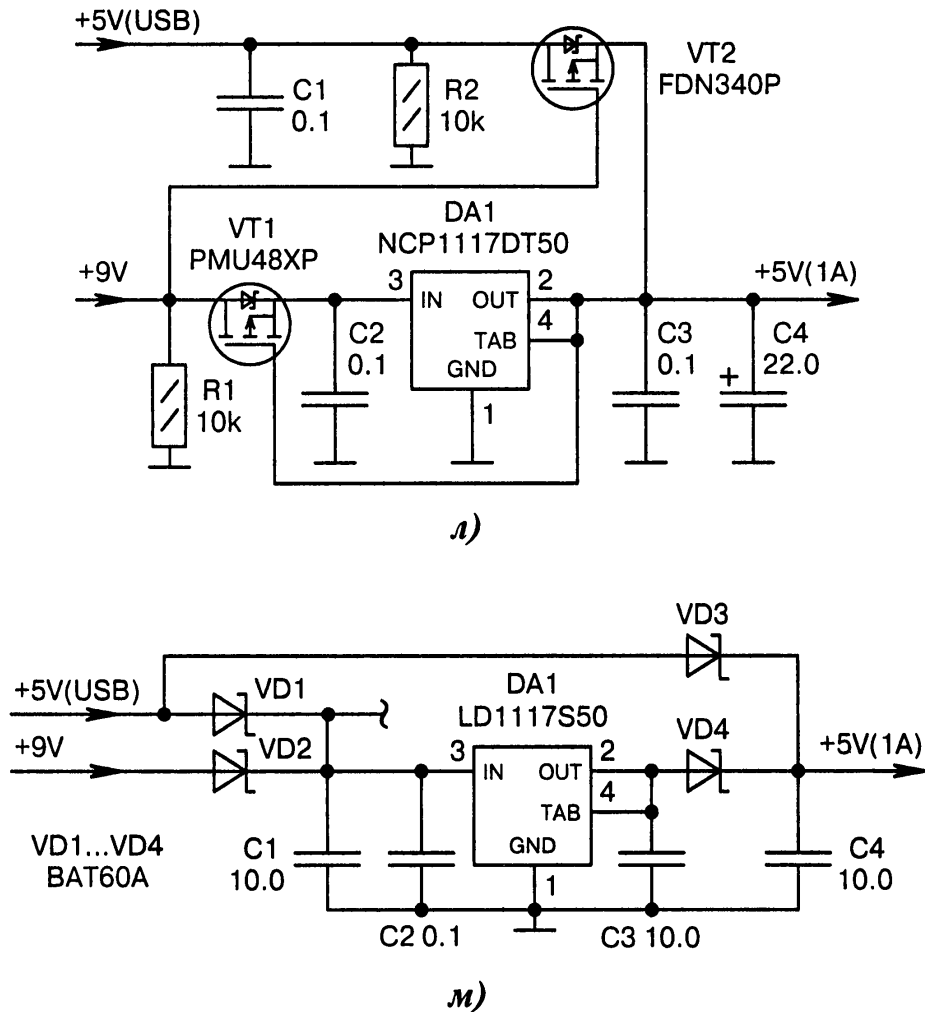


Рис. 4.17. Схемы автоматического переключения питания (окончание):

л) аналогично Рис. 4.17, к, но с двухканальным коммутатором на полевых транзисторах $VT1$, $VT2$, которые открываются и закрываются в противофазе. Важными являются резисторы $R1$, $R2$, на которых рассеивается лишняя мощность (небольшая). Резисторы обеспечивают гальваническую связь стоков транзисторов с общим проводом, что способствует их защите при физическом отсоединении цепей питания $+5V(USB)$ и $+9V$. Варианты: $VT2 = PMU48XP$;

м) двойное питание с автоматическим переключением направления — от внешней «сетевой вилки» $+9V$ или от компьютера через канал USB. При одновременном питании токи будут смешиваться в зависимости от ВАХ диодов $VD3$, $VD4$ и потерь напряжения в кабеле USB

4.16. Зависимая подача питания

В системах с несколькими источниками питания может потребоваться, чтобы все они включались одновременно. Отсутствие одного из напряжений может привести к перекосам уровней и утечкам токов. В даташитах на некоторые МК прямо указывается, что питание ядра должно производиться только при наличии питания периферии. Следовательно, в таких случаях должна реализоваться зависимая подача напряжений по схеме логической функции «И» (Рис. 4.18, а, б).

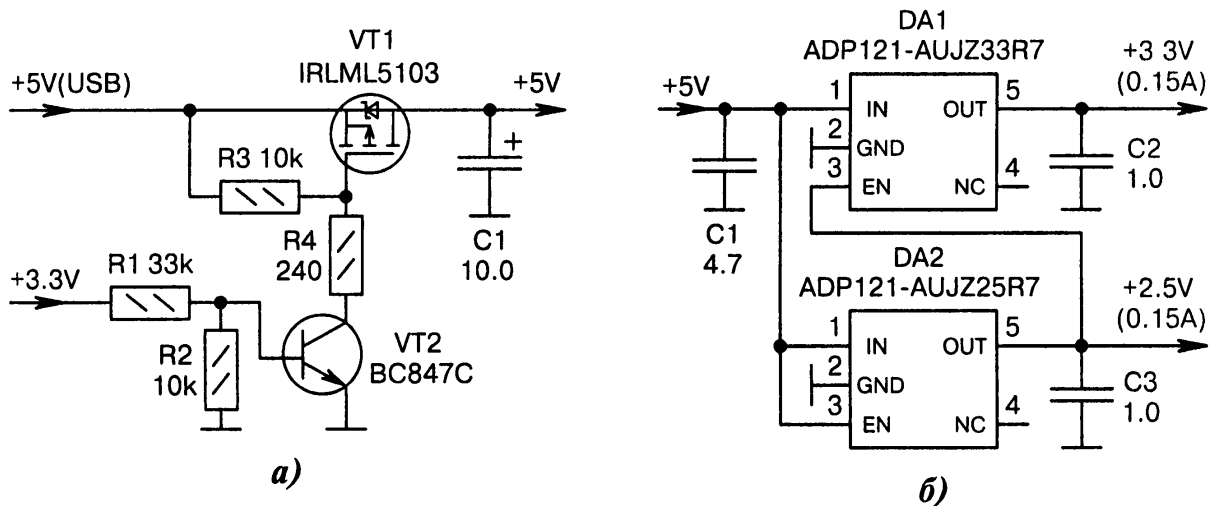


Рис. 4.18. Схемы зависимой подачи питания:

а) напряжение +5 В на выходе появляется только при наличии напряжения +3.3 В. Без напряжения +3.3 В транзисторы $VT1$, $VT2$ закрываются. Варианты: $VT1 = IRF5305$, $VT2 = KT3189$, $R1 = 1k$, $R4 = 0$, параллельно коллектору и эмиттеру $VT2$ установить конденсатор 0.1 мкФ;

б) напряжение в канале +3.3 В обеспечивается стабилизатором $DA1$. Но на его вход разрешения EN подаётся напряжение +2.5 В с выхода стабилизатора $DA2$. Следовательно, при неисправности микросхемы $DA2$ или КЗ на общий провод выходное напряжение +3.3 В будет отсутствовать. Варианты: $C2 = C3 = 10.0$, $DA1 = MIC94040YFL$ (3A); вместо $DA2$ можно использовать импульсный DC/DC-преобразователь, формирующий напряжение +2.5 В на выходе

4.17. Электронное включение питания

Самый простой способ включить питание — это щёлкнуть тумблером. Однако классических тумблеров в отладочных платах не встретишь. Их функцию обычно выполняют электронные коммутаторы (Рис. 4.19, а...и).

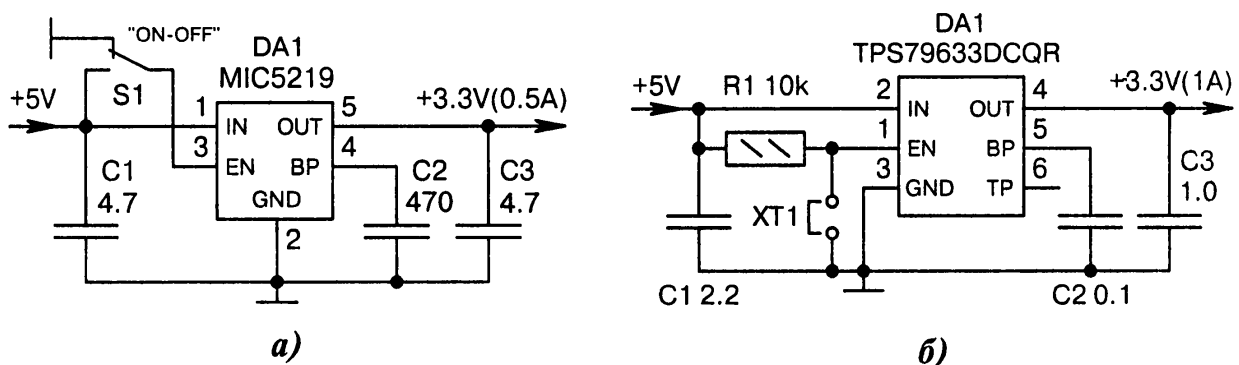
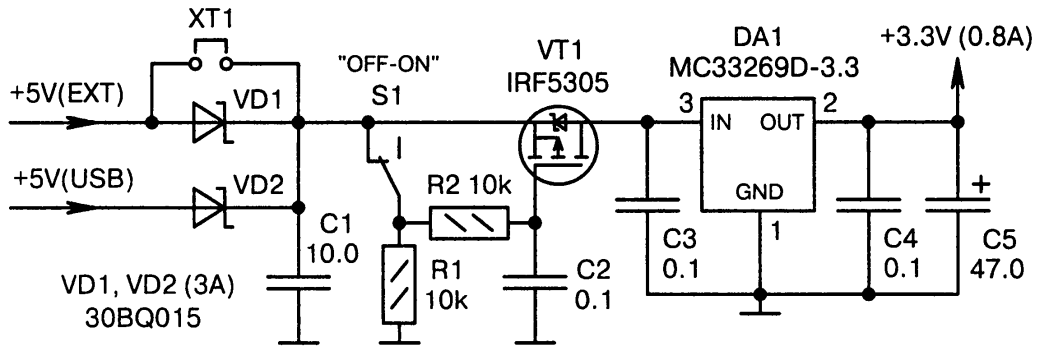


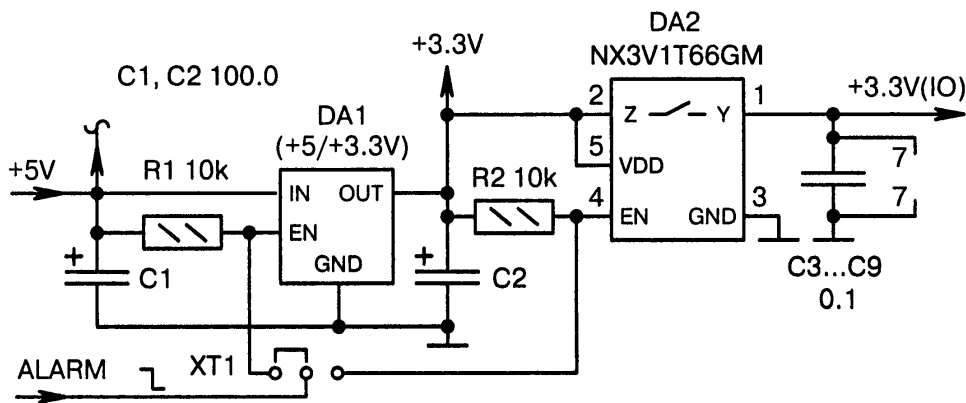
Рис. 4.19. Схемы электронного включения питания (начало):

а) подача напряжения +3.3 В производится маломощным переключателем $S1$, который устанавливает ВЫСОКИЙ/НИЗКИЙ уровень на входе разрешения EN стабилизатора $DA1$;

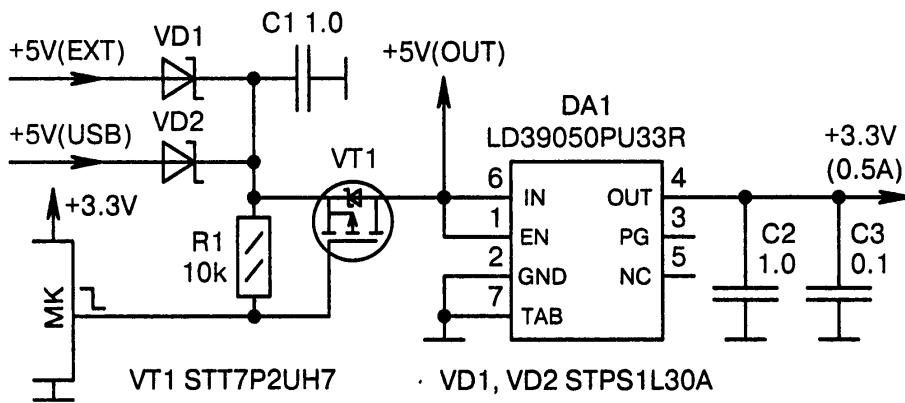
б) джампером $XT1$ включается/выключается выходное напряжение +3.3 В. Вместо джампера можно подключить выход МК с «истинно» открытым стоком, т. е. без «pull-up» диода; ☹



а)



б)



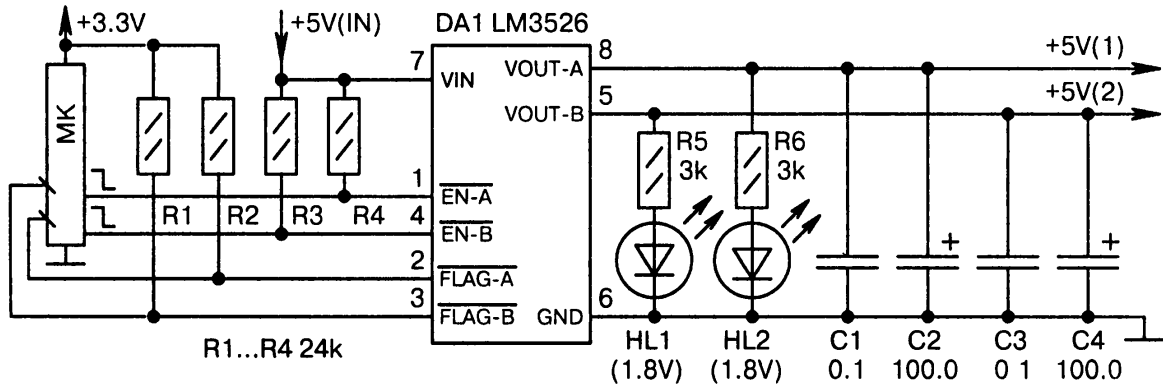
в)

Рис. 4.19. Схемы электронного включения питания (продолжение):

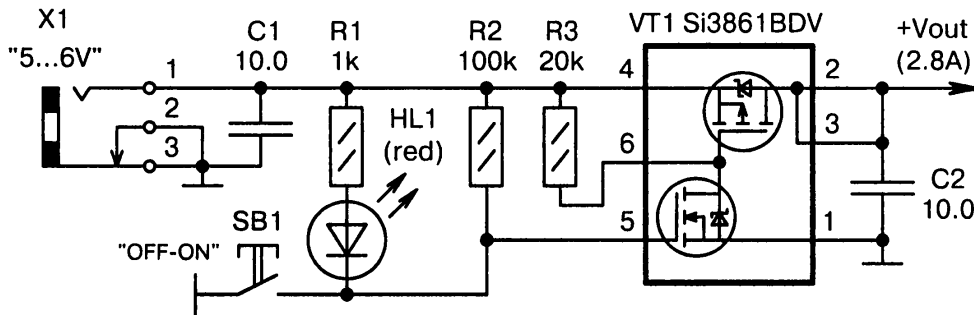
в) переключателем *S1* открывается/закрывается транзистор *VT1* и, соответственно, включается/выключается питание +3.3 В на выходе стабилизатора *DA1*. Если установлен джампер *XT1*, то напряжение +5V(*EXT*) поступает на транзистор *VT1* напрямую, без диода Шоттки *VD1*;

г) НИЗКИМ уровнем аварийного сигнала *ALARM* блокируется работа стабилизаторов *DA1*, *DA2*. Если джампер *XT1* находится в левом по схеме положении, то отключается общее питание +3.3V и питание входов/выходов МК +3.3V(*IO*). Если джампер *XT1* находится в правом по схеме положении, то отключается только питание +3.3V(*IO*);

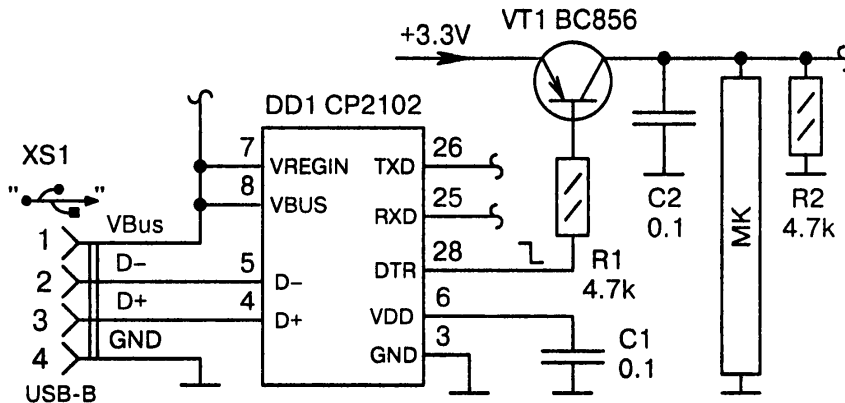
д) транзистор *VT1* управляется логическим уровнем с выхода МК, при этом включается/выключается питание в цепях +5V(*OUT*) и +3.3V. Напряжение в цепи +5V(*OUT*) будет меньше, чем +5 В, из-за диодов *VD1*, *VD2*. Варианты: *VT1* = FDC606P; *VT1* = STS7PF30L; Ⓢ



е)



ж)



з)

● Рис. 4.19. Схемы электронного включения питания (продолжение):

е) *DA1* — это двухканальный силовой ключ с переходным сопротивлением 0.14 Ом, предназначенный для разветвления питания USB на два направления: +5V(1) и +5V(2). Включаются каналы НИЗКИМИ уровнями с двух выходов МК. На выводах *DA1:2*, *DA1:3* (открытый сток) выставляются сигналы превышения тока нагрузки более 1 А. Резисторы *R3*, *R4* нужны, чтобы питание самопроизвольно не включалось при сбросе МК. Варианты: *DA1* = MIC2026-2;

ж) включение питания +*Vout* производится кнопкой *SB1*, при этом транзисторы в сборке *VT1* открываются, светится индикатор *HL1*. При отпускании кнопки напряжение +*Vout* отключается. Достоинство — маломощная кнопка *SB1* коммутирует мощную нагрузку. Недостаток — падение напряжения на сборке *VT1* (сопротивление 0.1 Ом), что критично при больших токах;

з) подача питания +3.3 В на МК осуществляется программным способом. От компьютера подаётся команда, которая устанавливает на линии *DTR* конвертора USB-USART *DD1* сигнал НИЗКОГО уровня, которым открывается транзистор *VT1*; ●

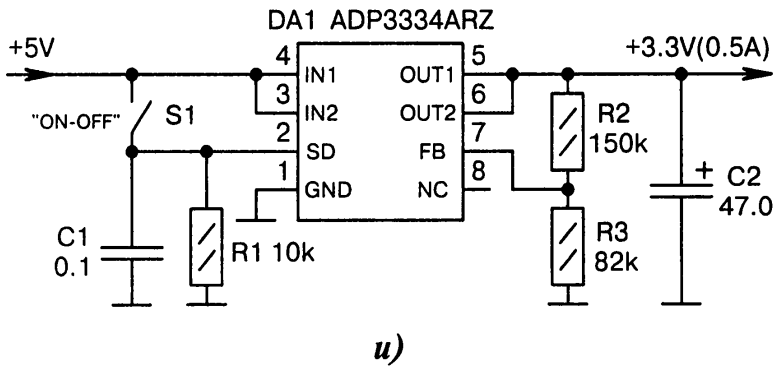


Рис. 4.19. Схемы электронного включения питания (окончание):

и) замыкание контактов переключателя *S1* обесточивает устройство, поскольку отключается стабилизатор питания *DA1*. Конденсатор *C1* снижает влияние «дребезга» контактов

4.18. Использование ионисторов

Ионистор — это электролитический конденсатор сверхбольшой ёмкости [4-4]. В отладочных платах он применяется в канале часов реального времени RTC, а также для непродолжительного основного питания (Рис. 4.20, а...в).

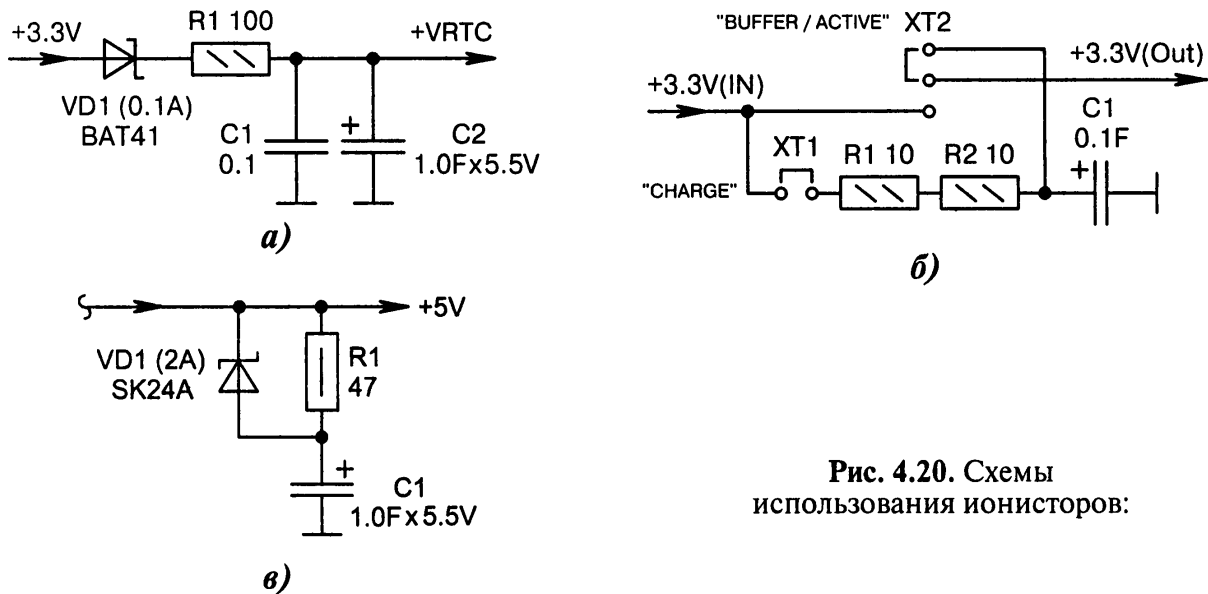


Рис. 4.20. Схемы использования ионисторов:

а) ионистор *C2* обеспечивает резервное питание *+VRTC* часов реального времени МК. Ток его заряда ограничивается резистором *R1*. Диод *VD1* не даёт разрядиться ионистору при выключении питания *+3.3 В*. Варианты: $C1 = 0$, $C2 = 1.5F$, $VD1 = SK24A (2A)$, $R1 = 10$; $C1 = C2 = 220.0$, $VD1 = LL43$, вместо *R1* поставить два параллельных резистора сопротивлением 33 Ом каждый;

б) джамперами *XT1*, *XT2* выбираются следующие варианты питания: от внешнего источника *+3.3 В*, от ионистора *C1* с подзарядом и без подзаряда. Последние два режима позволяют МК работать после снятия питания *+3.3V(IN)*. Резисторы *R1*, *R2* снижают ток заряда ионистора *C1*;

в) ионистор *C1* при наличии напряжения *+5 В* подзарядается через резистор *R1*. При пропадании напряжения *+5 В* ионистор ещё некоторое время поддерживает питание в цепи *+5V* через диод Шоттки *VD1*. Дополнительная функция резистора *R1* — это защита от КЗ в цепи *+5V* при начальном заряде ионистора *C1* (на это может понадобиться несколько секунд)

4.19. Питание внешних устройств

Отладочная плата может использоваться для питания шилдов и других внешних устройств. Для этого задействуются контакты «гребёнки» (Рис. 4.21, а...г).

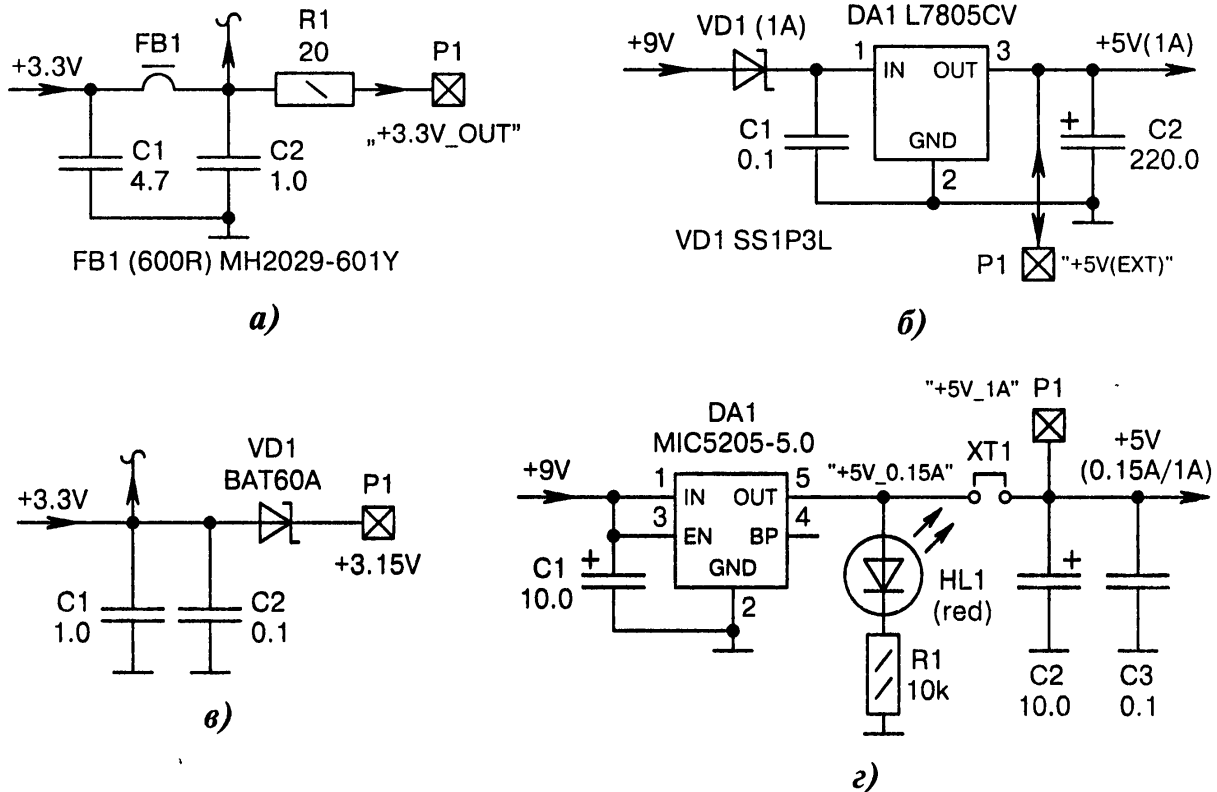


Рис. 4.21. Схемы питания внешних устройств:

а) внешний выход $+3.3V_OUT$ предназначен для питания программатора. Ток нагрузки ограничивается резистором $R1$. При КЗ на выходе ток через резистор возрастает до 275 мА. Желательно, чтобы при этом в цепи $+3.3V$ быстро сработала защита по току;

б) внешнее напряжение $+5V(EXT)$ подаётся прямо на выход стабилизатора $DA1$, что допускается ввиду низкой ёмкости конденсатора $C1$ и присутствия развязывающего диода $VD1$. Контакт $P1$ может служить как входом, так и выходом питания $+5V$;

в) диод Шоттки $VD1$ предотвращает попадание высокого напряжения в цепь $+3.3V$ через контактную площадку $P1$. Падение напряжения на диоде $VD1$ составляет 0.1...0.3 В в зависимости от тока нагрузки, поэтому выходное напряжение $+3.15V$ может немного «плавать»;

г) джампер $XT1$ устанавливается тогда, когда отладочная плата питается от источника 9 В с малым током нагрузки 0.15 А. Если требуется увеличить ток до 1 А, то джампер удаляется, а более мощное питание $+5V$ подаётся извне через контактную площадку $P1$

4.20. Защита от переполюсовки питания

Если полярность внешнего питания в отладочной плате, даже теоретически, может стать противоположной, то надо принимать меры защиты (Рис. 4.22, а...е). Показательный пример — блоки питания типа «сетевая вилка», которые бывают со штекером, где в центре напряжение «плюс» (чаще) или «минус» (реже).

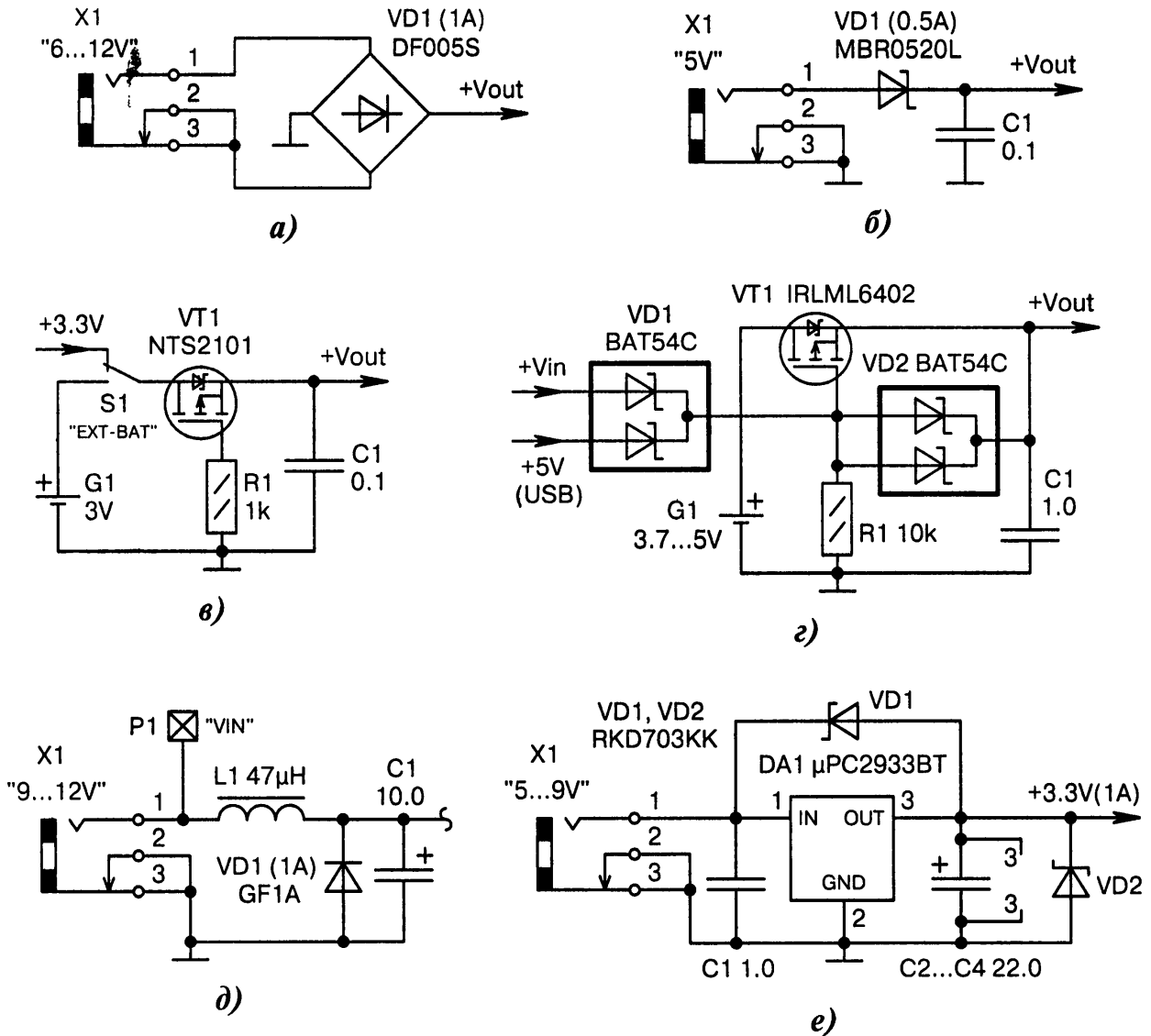


Рис. 4.22. Схемы защиты от переплюсовки питания:

- а) можно не опасаться подключать к разъёму *X1* «сетевые вилки» с разной полярностью «джека» в центре, поскольку стоит диодный мост *VD1*. Варианты: *VD1* = DF15005S; *VD1* = W005;
- б) диод Шоттки *VD1* защищает устройство от подачи питания обратной полярности. Снижение напряжения *+Vout* составляет примерно 0.1...0.4 В в зависимости от тока нагрузки. Варианты: *VD1* = 1N5819; *VD1* = PMEG1030EJ; *C1* = 100.0;
- в) при смене полярности питания защитный транзистор *VT1* закрывается и не пропускает ток. Переключателем *S1* выбирается сетевой или батарейный источник питания;
- г) транзистор *VT1* закрывается при переплюсовке аккумулятора (батареи) *G1*, а также при подаче обратной полярности внешнего питания *+Vin* или *+5V(USB)*. Если полярность правильная и отсутствует внешнее напряжение, то ток в нагрузку сначала течёт от аккумулятора через внутренний диод транзистора *VT1*, после чего открывается его канал «сток–исток»;
- д) защита от переплюсовки питания выполнена на диоде *VD1*, который допускает импульсный ток до 30 А. Желательно, чтобы внешняя «сетевая вилка», подключаемая к разъёму *X1*, имела защиту от КЗ. Варианты: *L1* = 0; вместо *VD1* поставить параллельно 1N4001 и 1N4734;
- е) *VD1* защищает стабилизатор *DA1* в момент выключения питания, поскольку ёмкости конденсаторов *C2...C4* значительно больше, чем *C1*. Диод *VD2* защищает цепь *+3.3V* при неверной полярности входного напряжения (ток будет протекать от разъёма *X1* через диоды *VD1, VD2*)

4.21. Электронные ограничители тока

Нагрузка, подключаемая к внешним контактам отладочной платы, в общем случае непредсказуемая — может быть и обрыв, и КЗ. Чтобы обезопасить себя от неожиданностей, в тракт питания вводятся микросхемы, выполняющие функцию ограничителей тока (Рис. 4.23, а...г).

Иногда такие микросхемы называют «электронными предохранителями», потому что они, в отличие от самовосстанавливающихся «полисвичей», обладают высоким быстродействием и малой инерционностью. Наиболее интеллектуальные ограничители тока имеют регулируемый порог срабатывания, который подбирается установкой внешнего резистора.

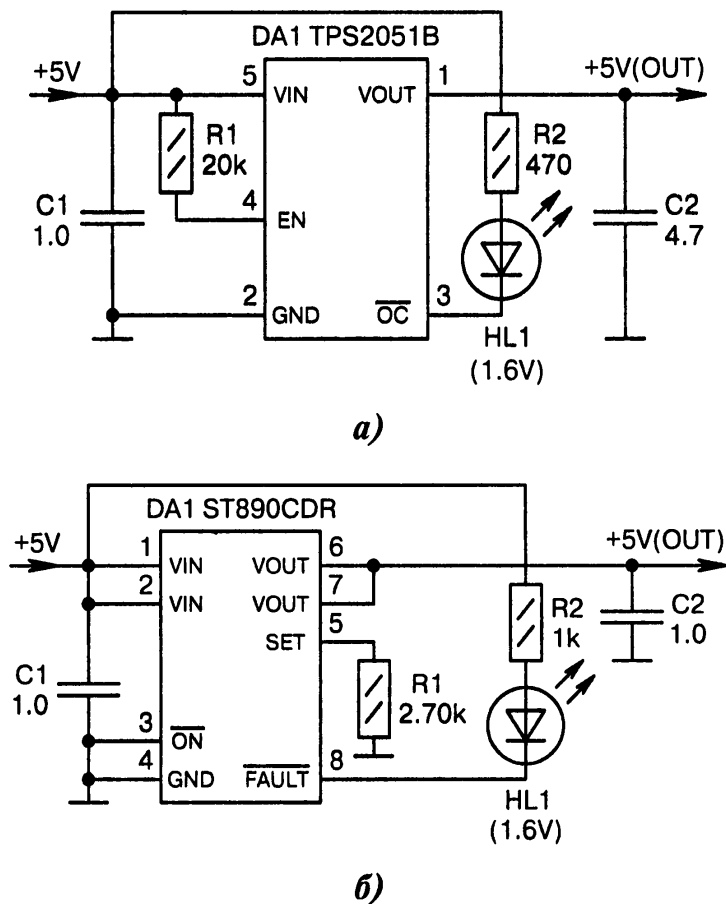
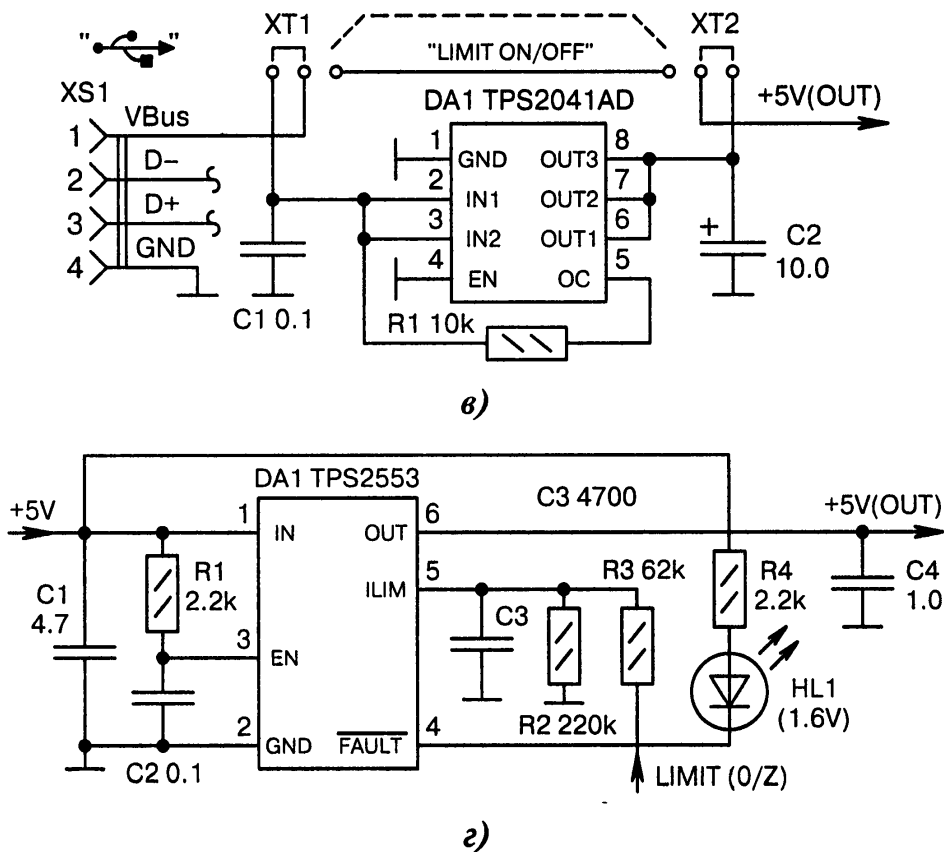


Рис. 4.23. Схемы электронных ограничителей тока (начало):

а) микросхема *DA1* обычно используется в цепи питания USB-хоста, но она может служить электронным предохранителем с номинальным током 1 А. При превышении порогового уровня 0.75...1.25 А (это допустимый разброс по даташиту) загорается светодиод *HL1*, и *DA1* переходит в режим ограничения тока. При КЗ на выходе срабатывает тепловая защита, которая находится внутри микросхемы *DA1*, после чего выходное напряжение *+5V(OUT)* отключается. Восстанавливается оно автоматически после остывания корпуса *DA1*;

б) аналогично Рис. 4.23, а, но с регулированием порога срабатывания подбором резистора *R1*. При указанном на схеме его сопротивлении ток ограничения составляет 510 мА, а ток КЗ в 1.2...1.5 раза больше (612...765 мА). Ток срабатывания защиты рассчитывается по формуле $I_x[\text{mA}] = 1376.4 / R1[\text{k}\Omega]$; ☹



⊖ Рис. 4.23. Схемы электронных ограничителей тока (окончание):

в) джамперы *XT1*, *XT2* надо переключать синхронно. В положении джамперов «к центру» питание поступает от контакта *VBus* прямо в цепь *+5V(OUT)*. В положении джамперов «от центра» — через ограничитель тока 0.5...0.9 А на микросхеме *DA1*, что полезно при «горячей» подстыковке компьютерного USB-кабеля к разъёму *XS1*;

г) аналогично Рис. 4.23, б, но с регулировкой тока ограничения резисторами *R2*, *R3*. Подчей НИЗКОГО уровня сигнала *LIMIT* можно в 5 раз увеличить порог срабатывания. Расчёт ведётся по формулам: $I_x[\text{mA}] = 23950 / R2 [\text{k}\Omega]$ или $I_x[\text{mA}] = 23950 / (R2 [\text{k}\Omega] || R3[\text{k}\Omega])$

4.22. Защита плавкими предохранителями

Плавкие предохранители в отладочных платах ставятся на входах разъёмов, через которые подаётся внешнее питание (Рис. 4.24, а...е).

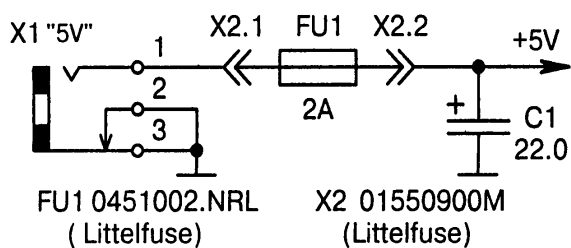


Рис. 4.24. Схемы защиты плавкими предохранителями (начало):

а)

а) малогабаритный SMD-предохранитель *FU1* вставляется в специальный держатель *X2*, что позволяет быстро производить его замену при эксплуатации; ⊖

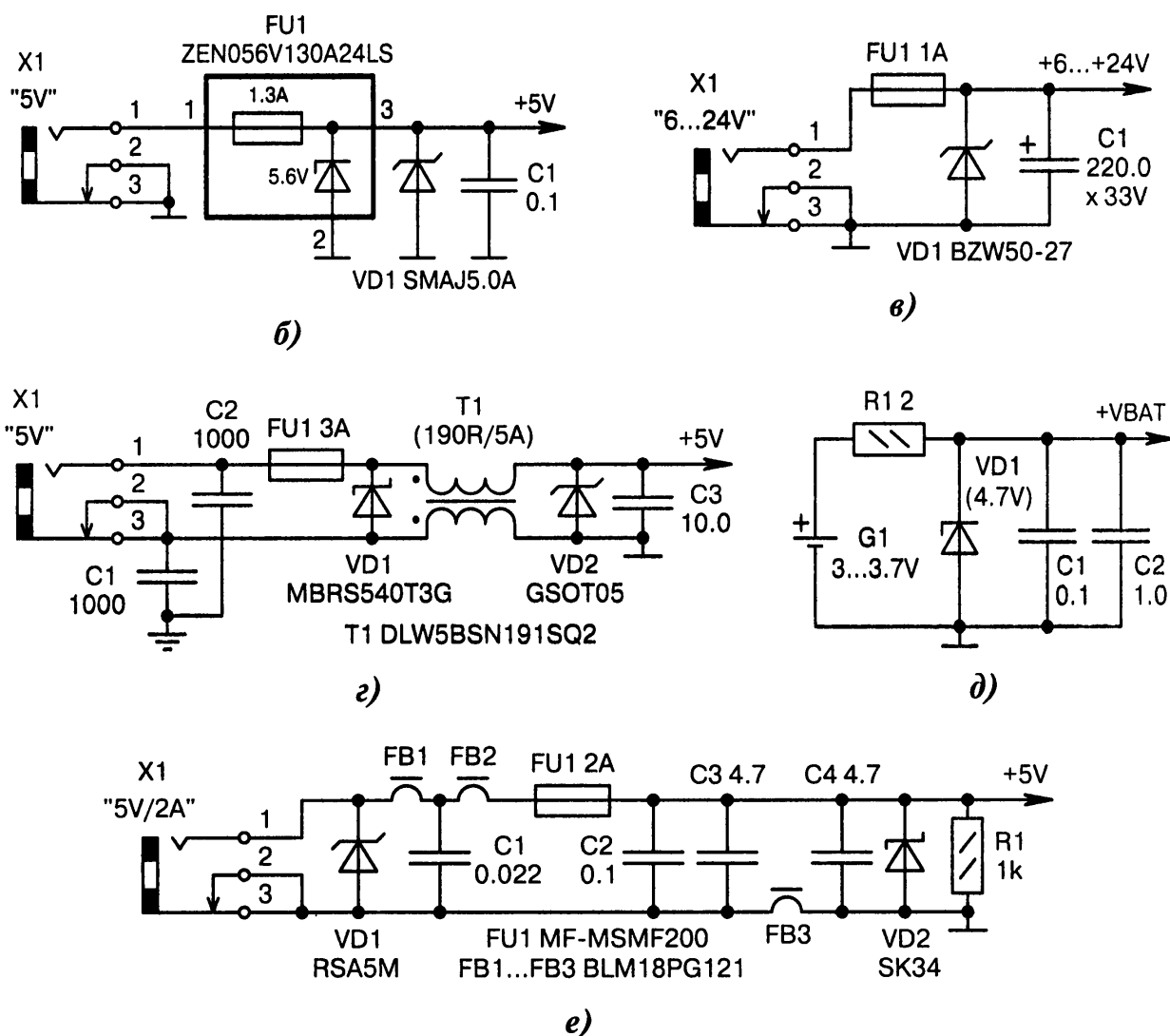


Рис. 4.24. Схемы защиты плавкими предохранителями (окончание):

б) комплексная защита от КЗ, переплюсовки и всплесков напряжения. *FU1* — это комбинированный прибор из семейства PolyZen [4-5], внутри которого находится самовосстанавливающийся предохранитель Polyswitch, имеющий сопротивление 0.12 Ом, а также стабилитрон Zener с номинальным напряжением 5.6 В. Сапрессор *VD1* осуществляет дополнительное подавление коротких мощных выбросов. Варианты: *VD1* = P4SMBJ7.0; *VD1* = P4SMAJ5A;

в) *VD1* — это мощный несимметричный сапрессор из серии Transil, подавляющий всплески напряжения выше 27 В. Может пропускать через себя импульсный ток величиной 500 А в течение 10 мс. Сапрессор *VD1* и предохранитель *FU1* защищают устройство от подачи напряжения обратной полярности. Варианты: *FU1* = 3A, *VD1* = MBRS540T3G;

г) если устройство имеет «изолированный корпус», то в схему вводятся элементы *C1*, *C2*, *T1*, снижающие ВЧ-помехи. Мощный пятиамперный диод Шоттки *VD1* защищает от переплюсовки, а сапрессор *VD2* предохраняет от всплесков входного напряжения;

д) элементы *R1*, *VD1* защищают цепь *VBAT* от случайной установки батареи *G1* с более высоким, чем 3.7 В, напряжением. Резистор *R1* ограничивает начальный бросок тока. Кроме того, он служит плавким предохранителем, поскольку при КЗ по питанию быстро «перегорает»;

е) защита от помех (*FB1...FB3*, *C1...C4*), от КЗ по току (*FU1*), от всплесков напряжения (*VD1*), от подачи обратной полярности (*VD2*). Резистор *R1* создаёт минимальную токовую нагрузку для сетевого источника питания 5 В/2 А и помогает быстрее разрядиться конденсаторам фильтра

4.23. Индикация наличия питания

Самым естественным способом проверки питания является зрительный. Если светодиод (лампочка, индикатор) светится, значит, питание подано, и наоборот (Рис. 4.25, а...д).

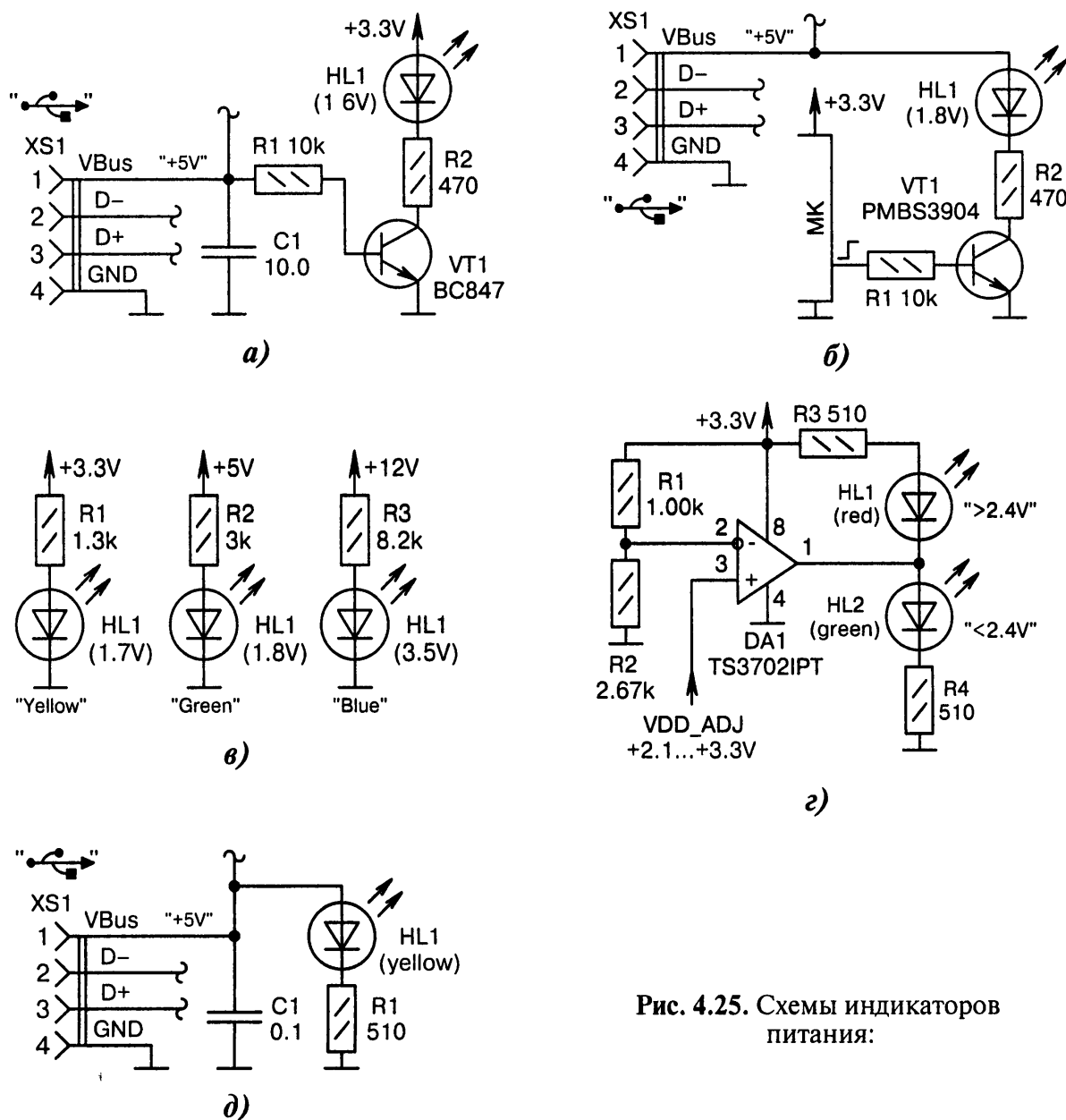


Рис. 4.25. Схемы индикаторов питания:

а) светодиод *HL1* индицирует наличие питания +5 В в цепи *VBus* и одновременно удостоверяет исправность стабилизатора напряжения +3.3 В. Варианты: $R1 = 47k$; поставить дополнительный резистор сопротивлением 10 кОм между базой и эмиттером транзистора *VT1*;

б) аналогично Рис. 4.25, а, но с управлением от МК, что позволяет миганием светодиода *HL1* индицировать другие режимы работы устройства;

в) светодиоды разного цвета показывают наличие напряжений в разных каналах питания;

г) светодиоды *HL1*, *HL2* пороговым методом индицируют перестраиваемое напряжение питания в цепи *VDD_ADJ*. Центральный уровень +2.4 В подбирается резисторами *R1*, *R2*;

д) если индикатор *HL1* светится, значит, USB-кабель от компьютера подключён к разъёму *XS1* и в нём нет обрыва проводов в цепях *VBus* и (или) *GND*

4.24. Прочие схемы организации питания

На Рис. 4.26, а...д показаны прочие схемы организации питания.

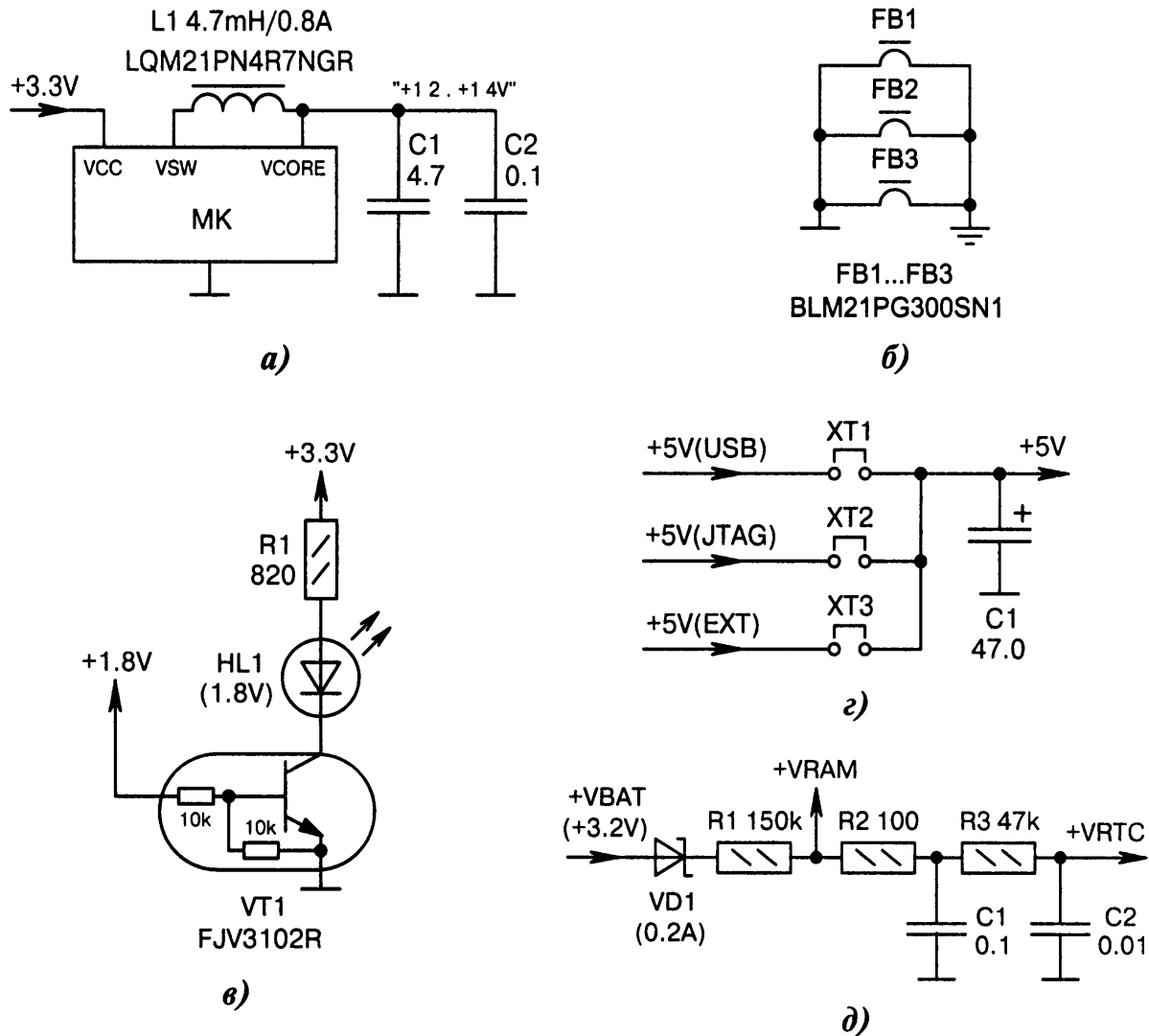


Рис. 4.26. Прочие схемы организации питания:

а) питание портов ввода/вывода МК *VCC* производится от напряжения +3.3 В. Для питания вычислительного ядра *VCORE* используется внутренний DC/DC-преобразователь +1.2...+1.4 В. Энергия накапливается в дросселе *L1*. Внешнюю нагрузку подключать к *VCORE* нельзя [4-6];

б) между «рабочей» и «защитной» землями ставятся ферритовые SMD-фильтры *FB1...FB3*, причём с тройным дублированием в разных местах печатной платы;

в) напряжения +1.8 В и +3.3 В формируются от одного источника питания, но через два разных канала. Индикатор *HL1* будет светиться только при наличии обоих напряжений сразу. Кажется бы, можно упростить схему и поставить светодиод зелёного цвета между цепями +1.8 В и +3.3 В. Но светодиод гореть не будет из-за низкой разности напряжений 1.5 В;

г) текущий канал питания +5 В определяется тем, какой из трёх джамперов *XT1...XT3* установлен. Остальные джамперы должны быть удалены с посадочных мест во избежание конфликтов на общей шине по принципу «кто кого пересилит»;

д) от батареи (+*VBAT*) питаются: микросхема памяти (+*VRAM*) и канал часов реального времени (*VRTC*). Токи потребления очень низкие, поэтому резисторы *R1*, *R3* высокоомные

Список использованных источников и литературы к главе 4

- 4-1. None Better: ADI's anyCAP ® LDO Family [Электронный ресурс] / Analog Devices, 2002. — Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/news-marketing-collateral/solutions-bulletins-brochures/257253984LDO.Family.bulletin.pdf> (англ.). — 14.04.2017.
- 4-2. Reverse Current Protection Circuit [Электронный ресурс] / RICOH Electronic Devices, 2017. — Режим доступа: http://www.e-devices.ricoh.co.jp/en/products/power/ap_note/ldo/reverse.html (англ.). — 14.04.2017.
- 4-3. Керамические конденсаторы большой ёмкости [Электронный ресурс] / Симметрон, 2006. — Режим доступа: http://www.symmetron.ru/suppliers/ceramiccap/ceram_chip.pdf. — 14.04.2017.
- 4-4. Устройство, характеристики и применение ионисторов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://go-radio.ru/ionistor.html>. — 14.04.2017.
- 4-5. Стабилитрон PolyZen [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.konkurel.ru/raychem/polyzen.php>. — 14.04.2017.
- 4-6. MSP432P401R SimpleLink™ Microcontroller LaunchPad™ Development Kit [Электронный ресурс] / Texas Instruments, 2017. — Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ug/slau597c/slau597c.pdf> (англ.). — 14.04.2017.

СХЕМЫ УЗЛОВ ВЫВОДА

*Нет тумана, из которого не было бы выхода.
Главное — держаться и идти вперед.
(Ромен Роллан)*

5.1. Светодиодные индикаторы

5.1.1. Одиночные светодиоды

Наличие пользовательского светодиода «USER» становится нормой для отладочных плат различного назначения. Действительно, чем, как не «лампочкой», проще всего продемонстрировать миру свой первый микроконтроллерный «Hello, World!», составив простую программу для мигающего светодиода?

Схемы подключения пользовательских светодиодов к линиям портов МК оригинальностью не отличаются, но, как и в любом деле, здесь существуют свои нюансы (Рис. 5.1, а...ж).

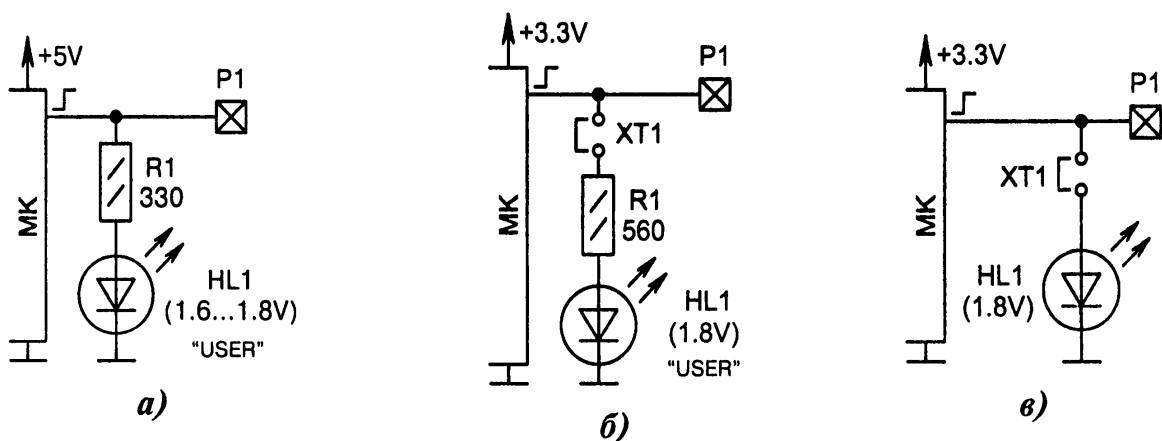
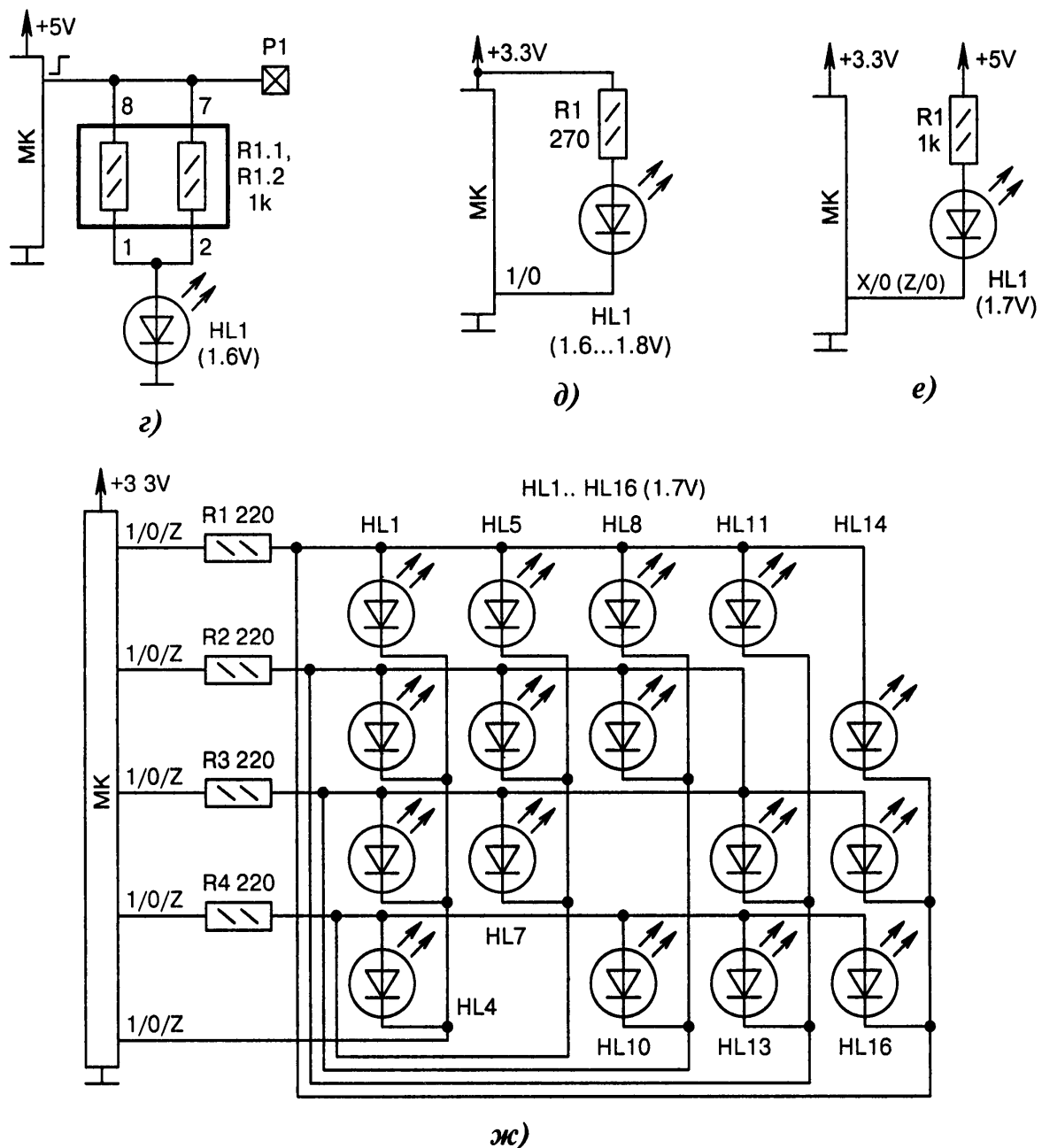


Рис. 5.1. Схемы подключения одиночных светодиодов к МК (начало):

а) стандартная схема включения светодиода *HL1* «USER». Его наличие снижает амплитуду ВЫСОКОГО уровня на линии МК примерно на 0.1...0.2 В. Ток (яркость) зависит от сопротивления резистора *R1*. В некоторых схемах его ставят вплоть до 3 кОм. Чем больше светоотдача у индикатора, тем более высокоомный резистор можно применять;

б) аналогично Рис. 5.1, а, но с пониженным питанием и джампером *XT1*, отключающим индикацию. Варианты: *R1* = 150...680; *R1* = 1к...2к; *HL1* = LN1371G; *HL1* = LN1271RAL;

в) если выход МК «слабый» (AT89C5131), то светодиод *HL1* можно подключать к линии порта напрямую. Джампер *XT1* удаляется, если нужен полноценный порт входа/выхода; ☹



● **Рис. 5.1.** Схемы подключения одиночных светодиодов к МК (окончание):

г) резисторы в сборке $R1.1$, $R1.2$ включаются параллельно не для увеличения мощности, а для получения нужного сопротивления, определяющего яркость свечения индикатора $HL1$. Обычно в таких схемах применяется один резистор сопротивлением 560 Ом. Сборка резисторов позволяет экономить место на плате, если внутри неё имеются незадействованные элементы;

д) аналогично **Рис. 5.1, а**, но светодиод $HL1$ подключается не к «земле», а к питанию;

е) светодиод $HL1$ подключается к источнику повышенного напряжения +5 В, чтобы снизить нагрузку на микросхему стабилизатора +3.3 В. Выход МК может быть как с «истинно» открытым стоком, так и с защитным диодом внутри. В последнем случае на защитном диоде падает 0.7 В, вследствие чего напряжение на индикаторе $HL1$ уменьшается до 1 В, и он не светится;

ж) управление 16 светодиодами по 5 линиям МК. Каждый из светодиодов включается при ВЫСОКОМ уровне на выходе МК, подключённом к аноду, и при НИЗКОМ уровне — к катоду. Остальные линии МК переводятся в Z-состояние. Пример — $HL1$ светится при ВЫСОКОМ уровне на верхней и НИЗКОМ уровне на нижней линии МК

5.1.2. Одиночные светодиоды с буферными элементами

На Рис. 5.2, а...к показаны схемы подключения светодиодов к МК через буферные элементы. Причины — большой ток, высокое напряжение, развязка.

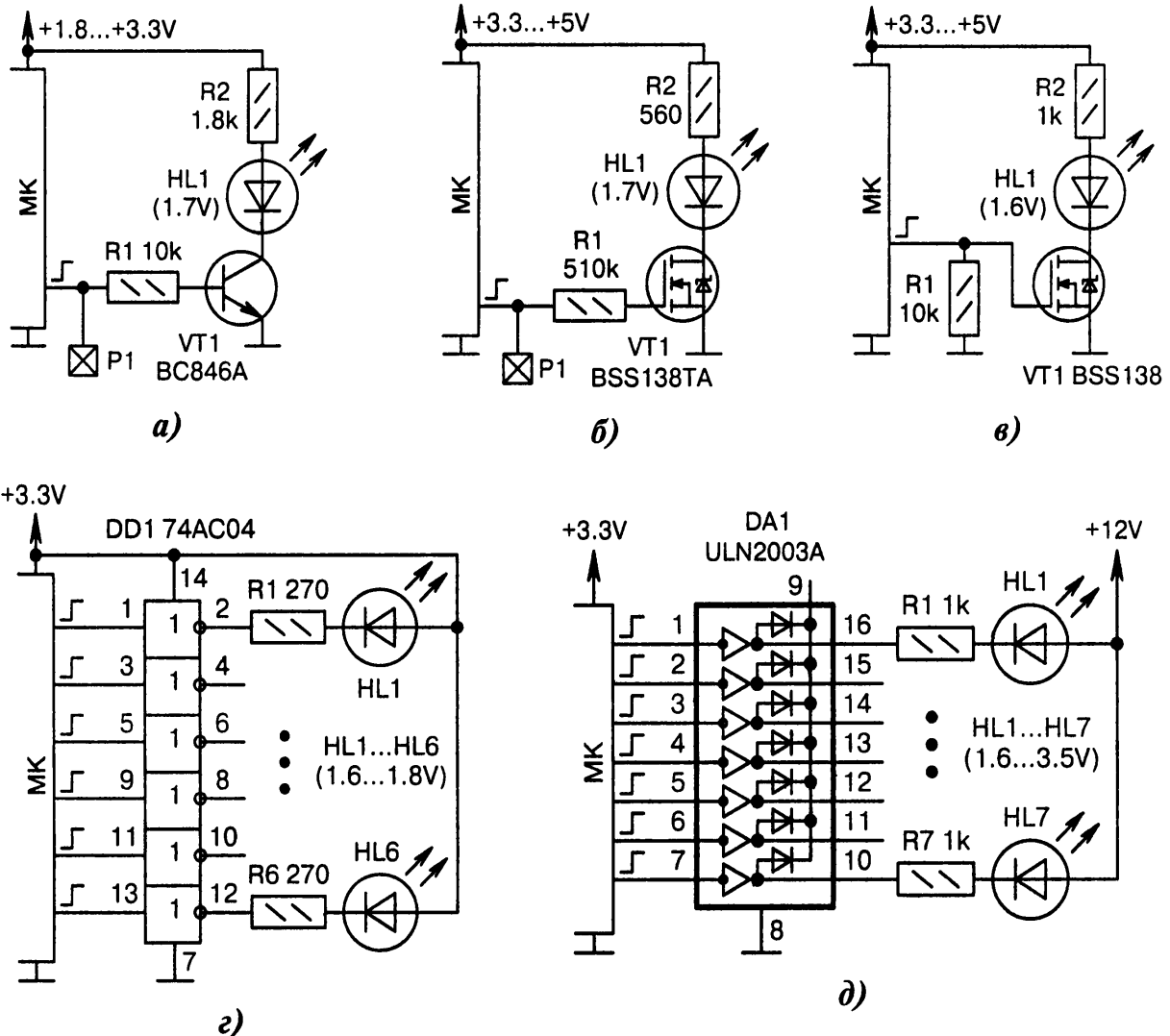


Рис. 5.2. Схемы подключения светодиодов к МК через буферные элементы:

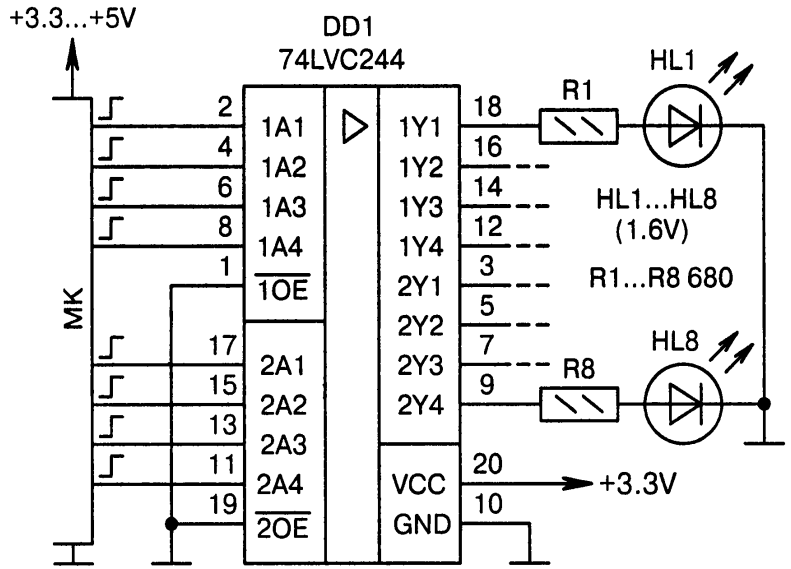
а) ключ на биполярном транзисторе *VT1* развязывает светодиод *HL1* от МК. Сопротивление резистора *R2* определяет яркость свечения индикатора. Резистор *R1* значительно снижает нагрузку на линию порта по сравнению с прямым включением светодиода. Кроме того, линия МК может настраиваться как на вход, так и на выход в КМОП-уровнях;

б) аналогично Рис. 5.2, а, но вместо биполярного используется полевой транзистор *VT1*, что ещё больше снижает нагрузку на линию порта ввиду большого сопротивления резистора *R1* и большого входного сопротивления транзистора *VT1*. Варианты: *VT1* = 2N7002, *R1* = 0, *R2* = 470;

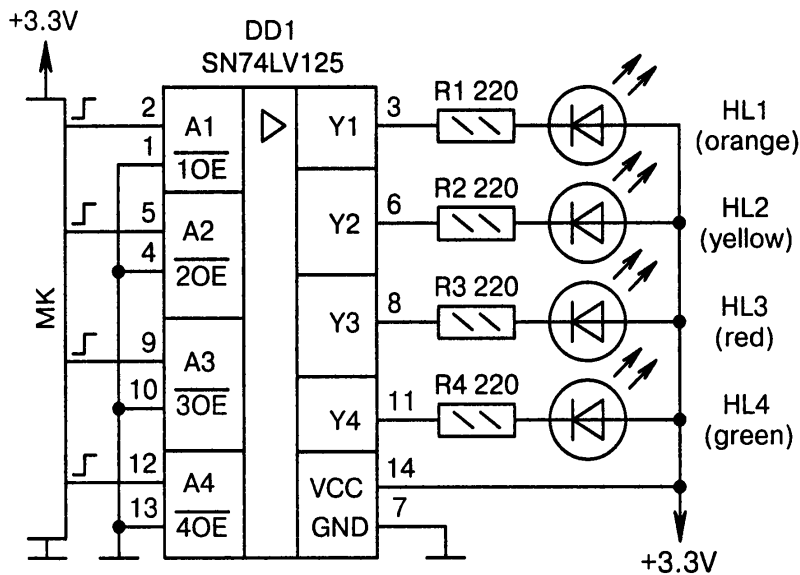
в) аналогично Рис. 5.2, б, но с параллельным (а не последовательным) резистором *R1*, что устраняет эффект «висящего в воздухе затвора». Варианты: *VT1* = BSH111, *R1* = 15k, *R2* = 2k;

г) буферная микросхема *DD1* (6 инверторов) имеет такую же нагрузочную способность, как и МК. Но она снижает ток в цепи *GND* МК по сравнению с вариантом прямого подключения светодиодов к линиям портов. Варианты: *R1...R6* = 680; *DD1* = 74LVC244 (8 инверторов);

д) коммутация светодиодов *HL1...HL7* производится транзисторными ключами микросхемы *DA1* (открытый коллектор). Особенность — повышенное напряжение питания +12 В; Ⓞ



е)



ж)

Рис. 5.2. Схемы подключения светодиодов к МК через буферные элементы (продолжение):

е) буферные логические элементы микросхемы *DD1* принимают на себя (а не на МК) расход тока, протекающего через индикаторы *HL1...HL8*. Входы *DD1* являются толерантными к напряжению +5 В, поэтому питание МК может варьироваться в широких пределах. Сопротивление линейки резисторов *R1...R8* зависит от требуемой яркости свечения индикаторов. Если светодиоды сверхъяркие, то номиналы сопротивлений могут быть увеличены в несколько раз. Входы $\overline{1OE}$, $\overline{2OE}$ микросхемы *DD1* можно через джампер подключить к общему проводу и питанию для оперативного гашения светодиодов. Варианты: $R1...R8 = 1k$, $HG1 = MV5716$ (линейка светодиодов в DIP-корпусе), *DD1* = 74LVC541; *DD1* = 74AC540 (с инверсией сигналов от МК);

ж) аналогично Рис. 5.2, е, но с другим типом микросхемы *DD1* и с противоположной полярностью управляющих сигналов, поступающих от МК. Светодиоды *HL1...HL4* обычные, не сверхъяркие. Варианты: *DD1* = SN74LVC2G07 (индикация на 2 канала);

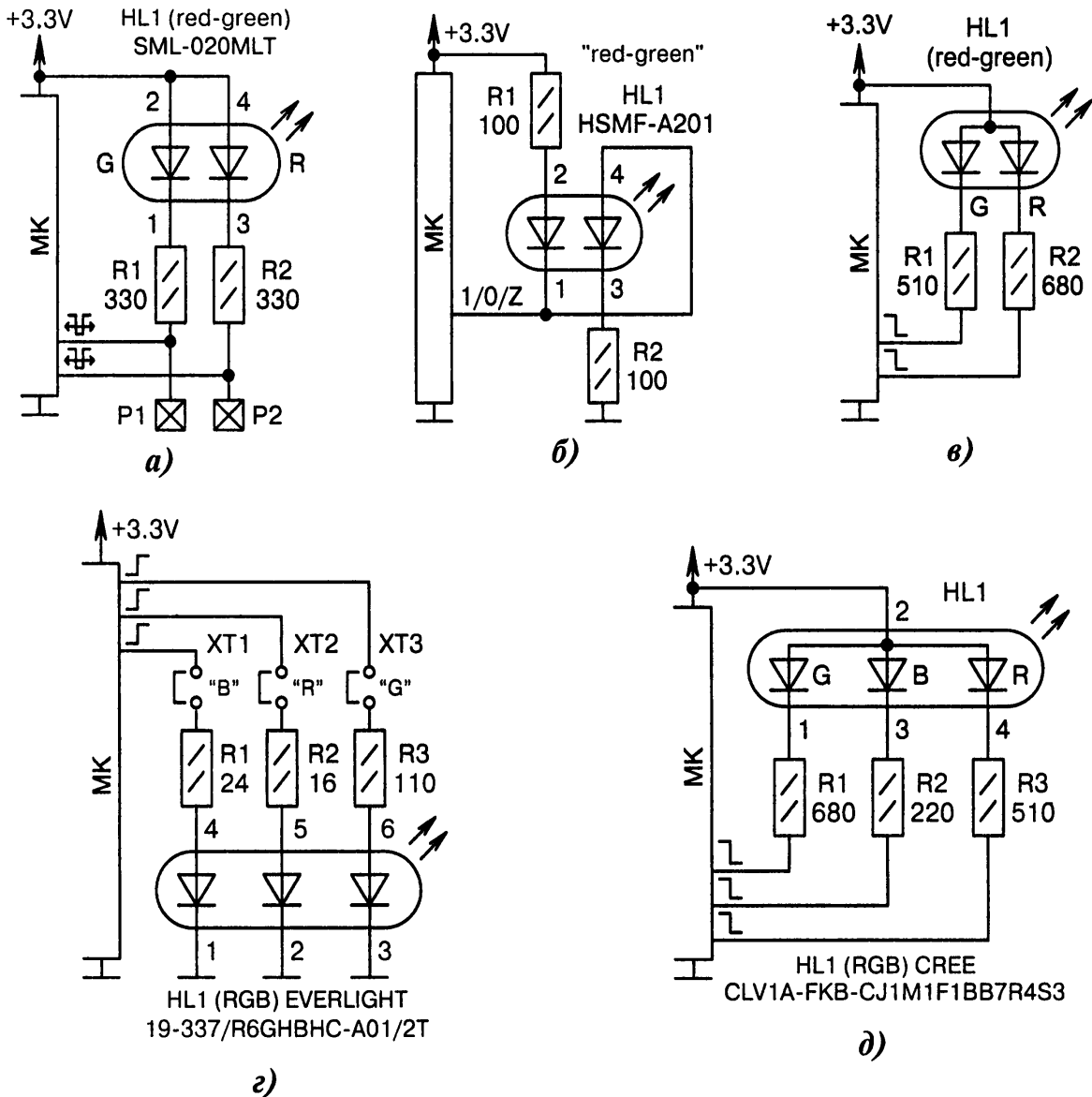


Рис. 5.3. Схема подключения многоцветных светодиодов к МК (начало):

а) *HL1* — это двухцветный SMD-светодиод, управляемый через ШИМ-каналы МК. Резисторы *R1*, *R2* задают яркость свечения отдельно для зелёного и красного излучателей;

б) общий цвет сдвоенного SMD-светодиода *HL1* зависит от выставленного уровня на выходе МК: НИЗКИЙ (красный), ВЫСОКИЙ (жёлто-зелёный). Если перевести линию МК в Z-состояние, то оба излучателя будут погашены, поскольку они сделаны из материала GaP, для которого пороговое напряжение составляет 1.8 В (в сумме 3.6 В). Варианты: $R1 = R2 = 330...510$;

в) особенность — разные сопротивления резисторов *R1* и *R2* для зелёного и красного кристаллов светодиода *HL1*. Это связано с разным падением напряжения на красном и зеленом излучателях;

г) *HL1* — это малогабаритный многоцветный SMD-светодиод, состоящий из трёх независимых излучателей. Ток одного излучателя не более 25 мА, яркость 50...180 мкд. Прямое напряжение у красного светодиода составляет 1.7...2.4 В, у зелёного и синего — 2.7...3.8 В. Джамперами *XT1...XT3* можно оперативно отключить любой из излучателей;

д) аналогично Рис. 5.3, г, но с многоцветным светодиодом *HL1*, в котором объединяются аноды красного, синего и зелёного излучателей. Разные сопротивления резисторов *R1...R3* обусловлены разной силой света: 710...1800 мкд (green), 224...450 мкд (blue), 560...900 мкд (red); ☹

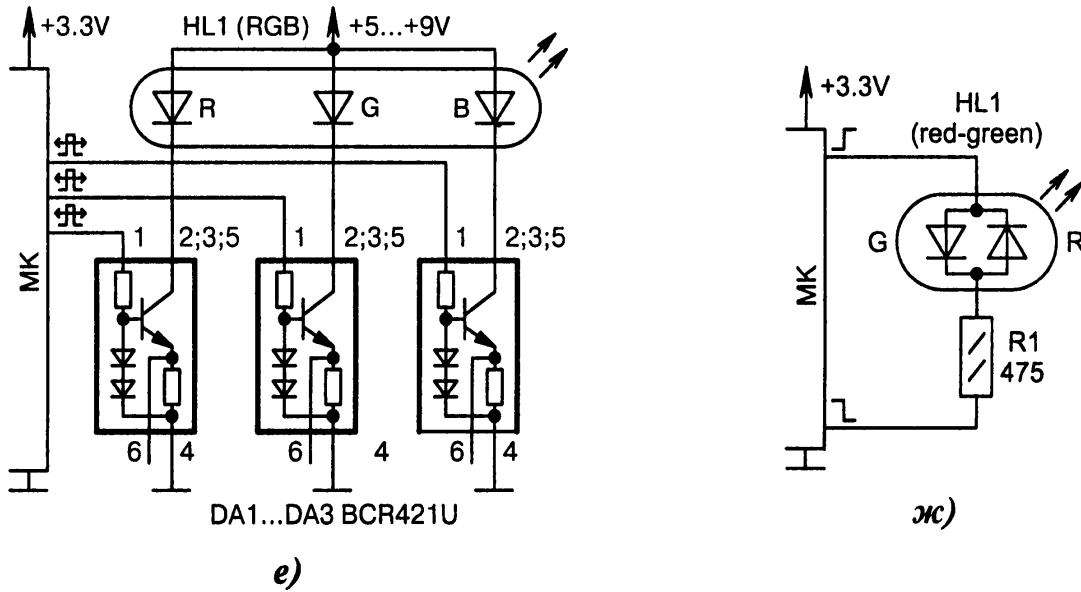


Рис. 5.3. Схема подключения многоцветных светодиодов к МК (окончание):

е) *DA1...DA3* — это генераторы стабильного тока 10 мА. Цвет свечения *HL1* определяется скважностью импульсов с выходов МК. Если требуется изменить (повысить, подобрать) ток через каждый светодиодный излучатель R, G, B, то между выводами 4 и 6 *DA1...DA3* следует включить подборный резистор 5...30 Ом. Максимальный выходной ток *DA1...DA3* не более 0.2 А;

ж) светодиод *HL1* светится красным или зелёным цветом при разных логических уровнях на двух выходах МК. При одинаковых уровнях светодиод погашен

5.1.4. Семисегментные светодиодные индикаторы

На Рис. 5.4, а...в показаны схемы подключения одиночных и групповых светодиодных семисегментных индикаторов к МК.

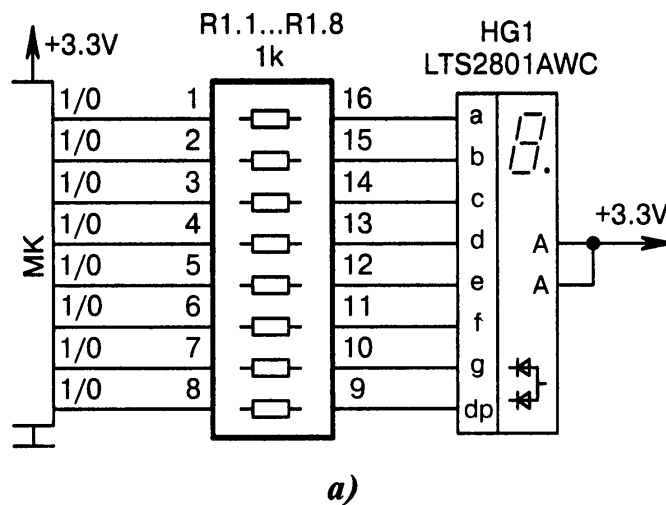
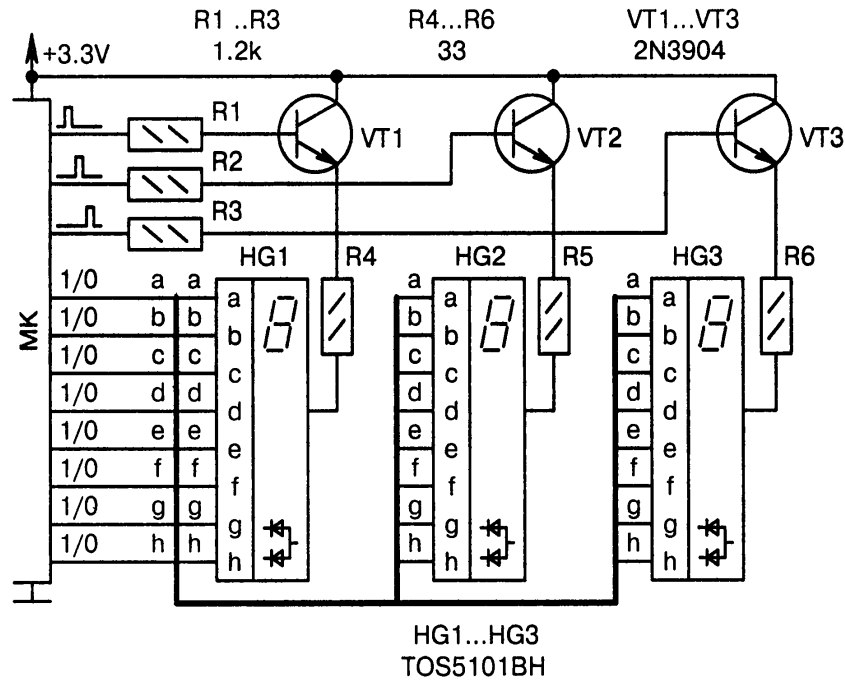
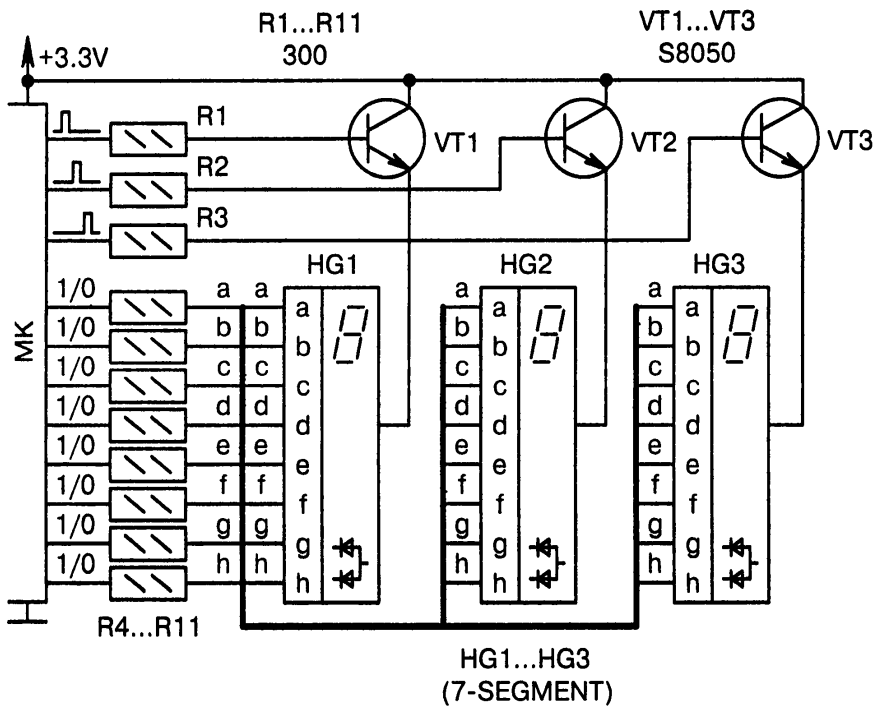


Рис. 5.4. Схемы подключения семисегментных светодиодных индикаторов к МК (начало):

а) одноразрядный семисегментный индикатор *HG1* подключается к МК через сборку SMD-резисторов *R1*. Чем меньше сопротивление резисторов, тем выше яркость, и наоборот. Варианты: *HG1* = LA-301MB; *R1.1...R1.8* = 2.2k (при увеличении питания анода *HG1* до +5 В);



б)



в)

⊙ Рис. 5.4. Схемы подключения семисегментных индикаторов к МК (окончание):

б) на трёх верхних выходах МК организуется «бегущая единица» логических уровней, поочередно открывающая транзисторы $VT1...VT3$. Информационные выходы индикаторов $HG1...HG3$ подключаются напрямую к МК, что допустимо при коротких импульсах «бегущей единицы» и при наличии ограничительных резисторов $R4...R6$;

в) аналогично Рис. 5.4, б, но вместо трёх ограничительных резисторов используются восемь $R4...R11$. Это снижает зависимость общей яркости изображения от числа светящихся сегментов в каждом из трёх индикаторов $HG1...HG3$

5.2. Жидкокристаллические индикаторы

5.2.1. Мультиплексированные сегментные ЖКИ

Общее название «сегментные ЖКИ» подразумевает, что число сегментов в одном знакоместе может быть 7, 14 или 16, что зависит от конструктивного исполнения индикатора. Мультиплексирование позволяет сократить число внешних контактов ЖКИ в 2...4 раза [5-1].

Синхронизация вывода информации на экран мультиплексированных ЖКИ производится в МК аппаратным способом через внутренний LCD-контроллер и специальные выходы под общим названием «COMx».

Сигналы «COMx» являются многоуровневыми. Они могут содержать три или пять ступенек напряжения. Мультиплексированные ЖКИ обычно подключаются к МК напрямую (Рис. 5.5, а, б).

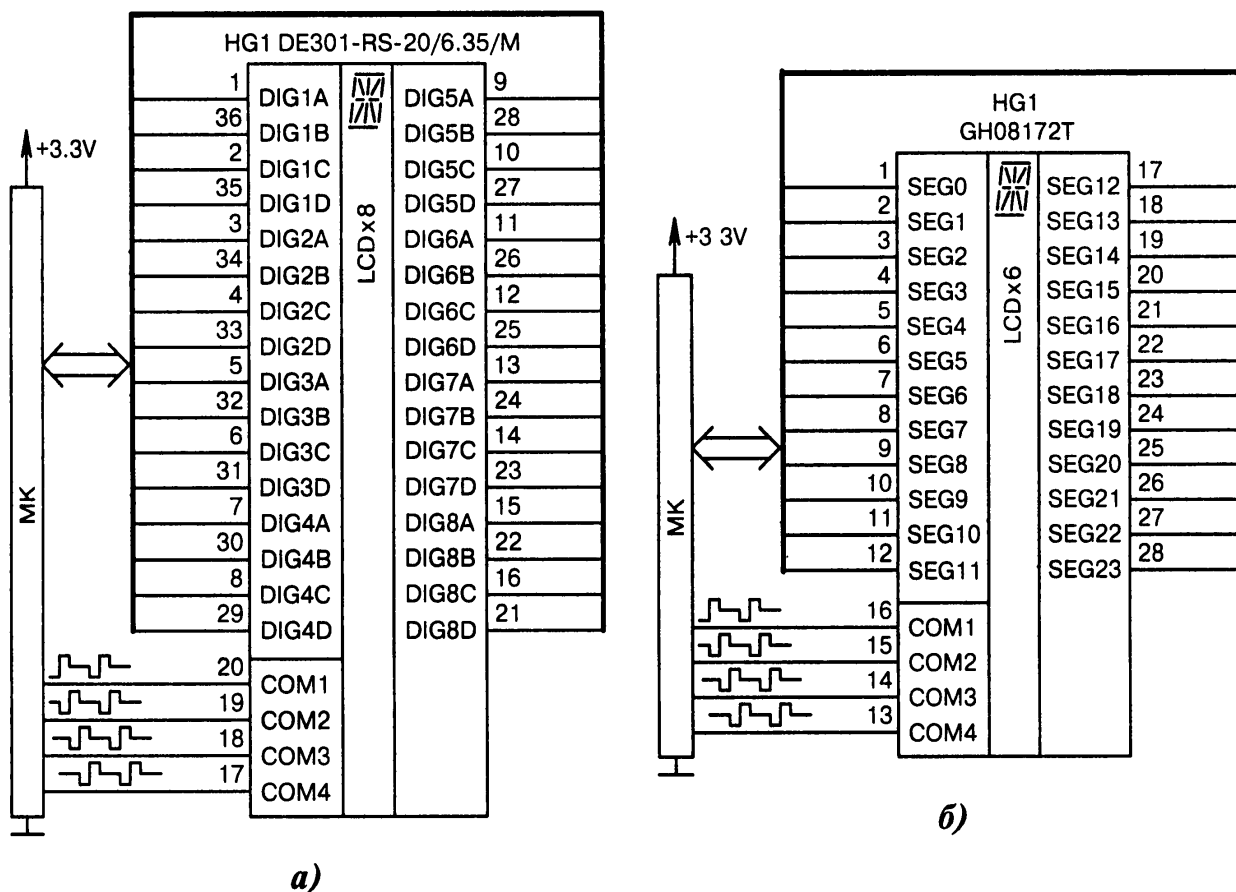


Рис. 5.5. Схемы подключения мультиплексированных сегментных ЖКИ к МК:

а) *HG1* — это восьмиместный ЖКИ с внутренней группировкой сегментов. Каждое знакоместо содержит 14 сегментов, обращение к которым производится синхронно с многоуровневыми сигналами *COM1...COM4*. Эти сигналы формируются аппаратно внутри МК в зависимости от выставленного режима: 1/2, 1/4, 1/8 и т. д. Задача программиста сводится к формированию логических уровней на линиях портов в нужное время и в нужном месте;

б) аналогично Рис. 5.5, а, но с меньшим количеством знакомест и, соответственно, с меньшим числом контактов индикатора *HG1*

5.2.2. Алфавитно-цифровые ЖК-модули (АЦЖК)

Индикаторные шилды, которые подключаются к отладочным платам, часто содержат ЖК-модули с системой команд контроллера HD44780 (см. «Выпуск 2»). Их соединение с МК производится по стандартным схемам (Рис. 5.6, а...е).

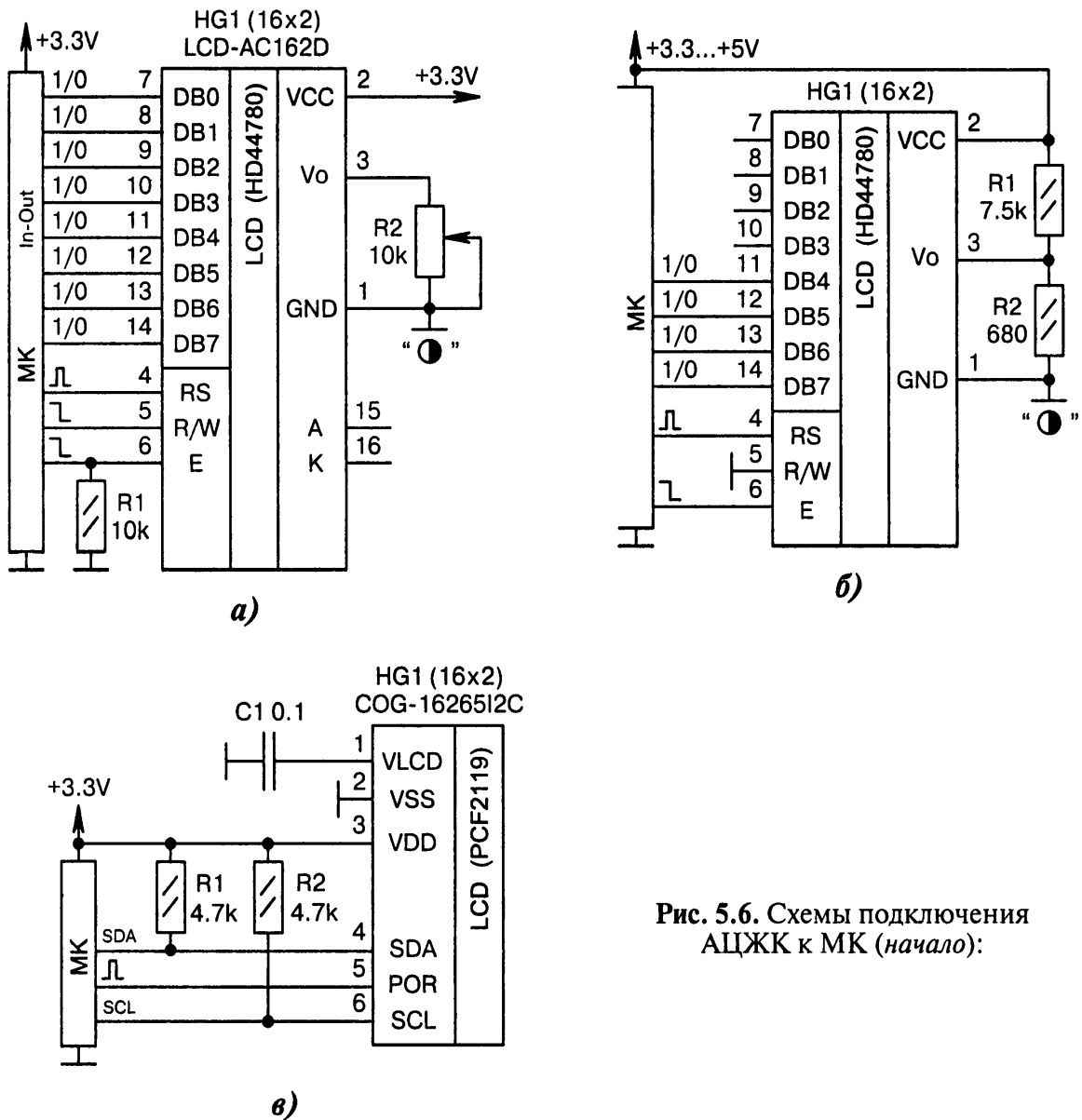


Рис. 5.6. Схемы подключения АЦЖК к МК (начало):

а) подключение АЦЖК *HG1* в полном 8-битном режиме с записью и чтением информации. Задействуются выходы *DB0...DB7*, *RS*, *R/W*, *E*. Резистор *R1* притягивает к «земле» вход *E*, чтобы устранить сбои при начальном сбросе МК. Резистор *R2* регулирует контрастность. Он включается по реостатной схеме из-за пониженного питания +3.3 В. Варианты: $R1 = 100k$;

б) упрощённая схема включения АЦЖК *HG1* в 4-битном режиме без обратной связи (выводы *DB0...DB3* не используются, а вывод *R/W* соединяется с общим проводом). Контрастность задаётся резисторами *R1*, *R2*, но оперативно не регулируется, что допускается при стабильном питании и комнатной рабочей температуре;

в) индикатор *HG1* выполнен по технологии COG (Chip-On-Glass [5-2]). Управляющий контроллер PCF2119 размещается на стекле вместе с ЖКИ. Система команд совместима с HD44780. Управление индикатором производится по шине I²C с нагрузочными резисторами *R1*, *R2*; ☉

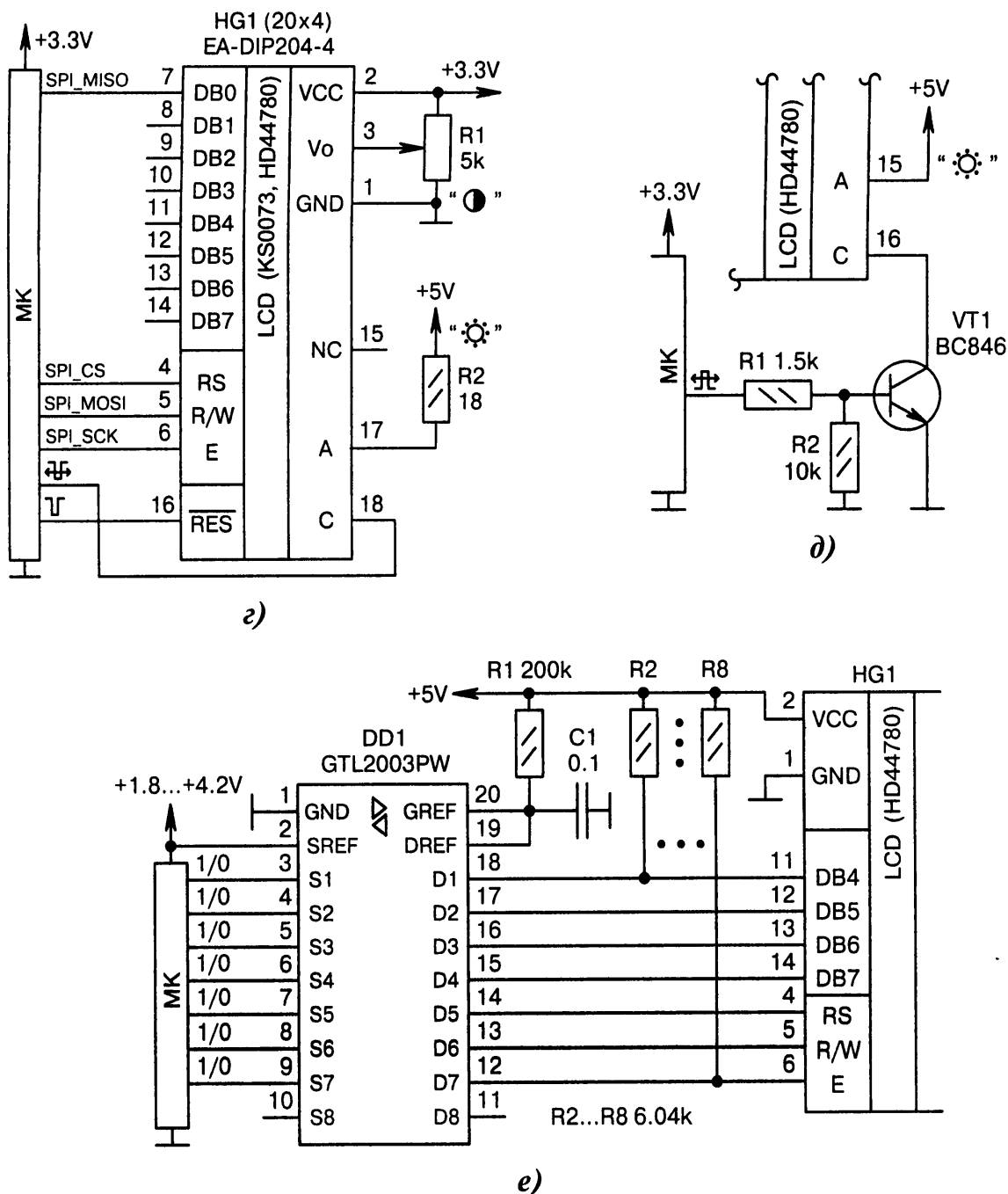


Рис. 5.6. Схемы подключения АЦЖК к МК (окончание):

г) *HG1* имеет 4 строки по 20 знакомест в каждой (20x4), синий фон, белые символы. Яркость подсветки регулируется через канал ШИМ МК на выводе *HG1:18* (катод). Отличие от обычных ЖКИ — задействуется сигнал сброса \overline{RES} , а также имеется режим управления по SPI, который можно установить запайкой перемычки на оборотной стороне печатной платы;

д) программное регулирование яркости подсветки изменением скважности импульсов ШИМ с выхода МК. Считается, что внутри индикатора *HG1* в цепи подсветки имеется токоограничивающий резистор, иначе его надо поставить последовательно в цепь коллектора транзистора *VT1*. Сопротивление этого резистора составляет единицы ом;

е) поскольку напряжение питания МК может изменяться в очень широких пределах, то для согласования уровней сигналов с *HG1* ставится микросхема двунаправленного драйвера *DD1*. Резисторы *R2...R8* не обязательно высокоточные, их можно заменить пятипроцентными

5.2.3. Монохромные ЖК-дисплеи

Графические ЖК-дисплеи, в отличие от ЖК-индикаторов, представляют собой компактную матрицу точек, по-другому, пикселей. Матрица по форме может быть квадратной или прямоугольной. Число пикселей обычно кратно степени числа 2, например 128×64, 128×128 и т. д.

«Чёрно-белыми» назвать такие дисплеи формально нельзя, поскольку цвет фона и цвет надписей могут иметь различные цветовые оттенки, в частности сине-белый, чёрно-зелёный. Цвет фона определяется цветом светодиодов подсветки. Размещаются светодиоды с обратной стороны индикатора, равномерно по всей площади изображения.

Интерфейс электрической связи монохромных графических дисплеев с МК может быть параллельный (Рис. 5.7, а, б) или последовательный (Рис. 5.8, а, б), что зависит от типа встроенного контроллера и его системы команд.

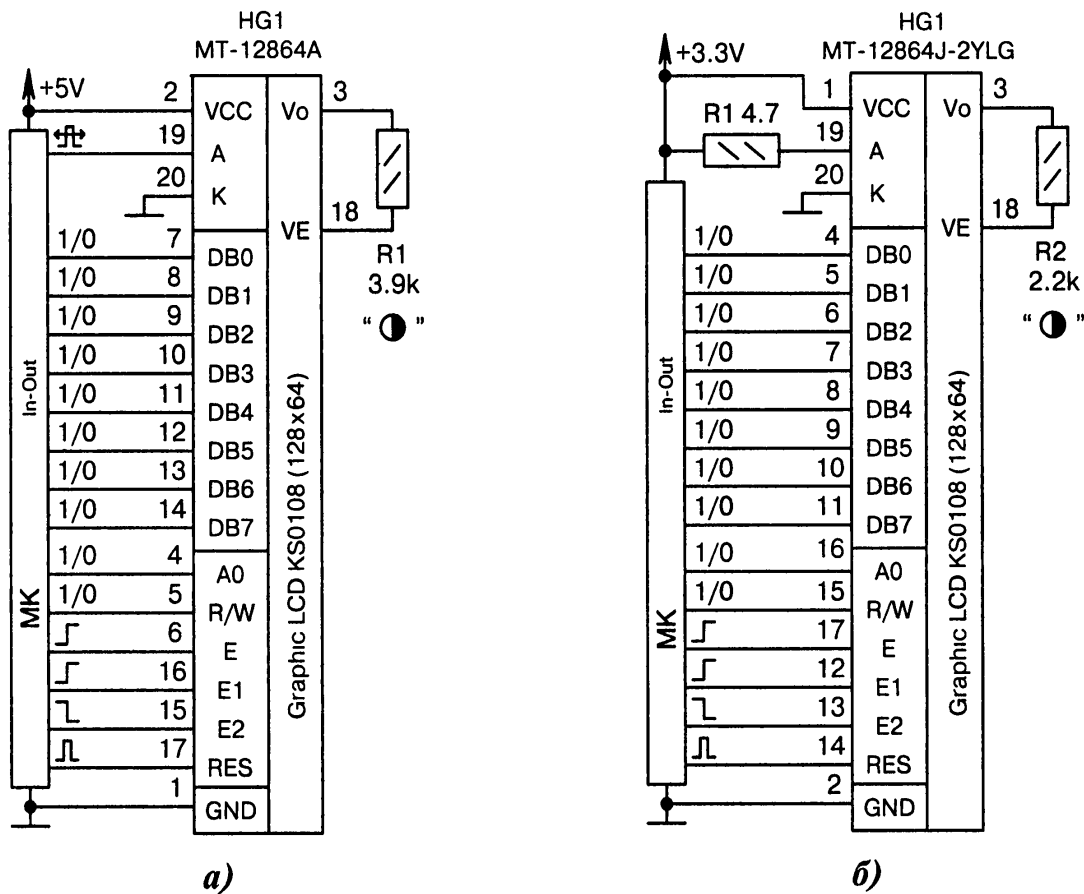


Рис. 5.7. Схемы подключения монохромных ЖК-дисплеев (параллельный интерфейс):

а) *HG1* — это графический «пятивольтовый» ЖК-дисплей с подсветкой белого или голубого оттенков. Сигналы *DB0...DB7* двунаправленные. Через них осуществляются доступ к внутренним регистрам и формирование картинки изображения. Ток подсветки составляет всего лишь 9 мА, поэтому допускается непосредственное подключение анодного вывода «А» *HG1* к МК с возможностью плавной регулировки яркости методом ШИМ;

б) аналогично Рис. 5.7, а, но с питанием от источника +3.3 В, с другой цоколёвкой выводов *HG1* и с гасящим резистором *R1*. Последний нужен, чтобы уменьшить ток подсветки, а значит, яркость фона. Без резистора ток составляет 64 мА

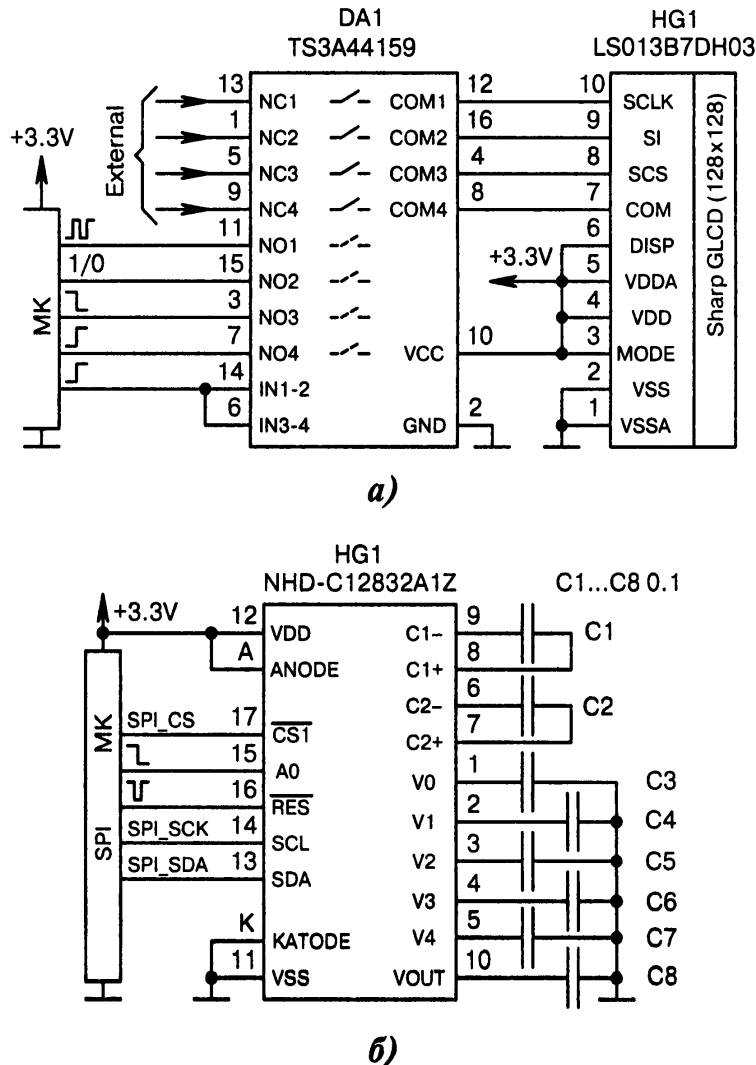


Рис. 5.8. Схемы подключения монохромных ЖК-дисплеев (последовательный интерфейс):

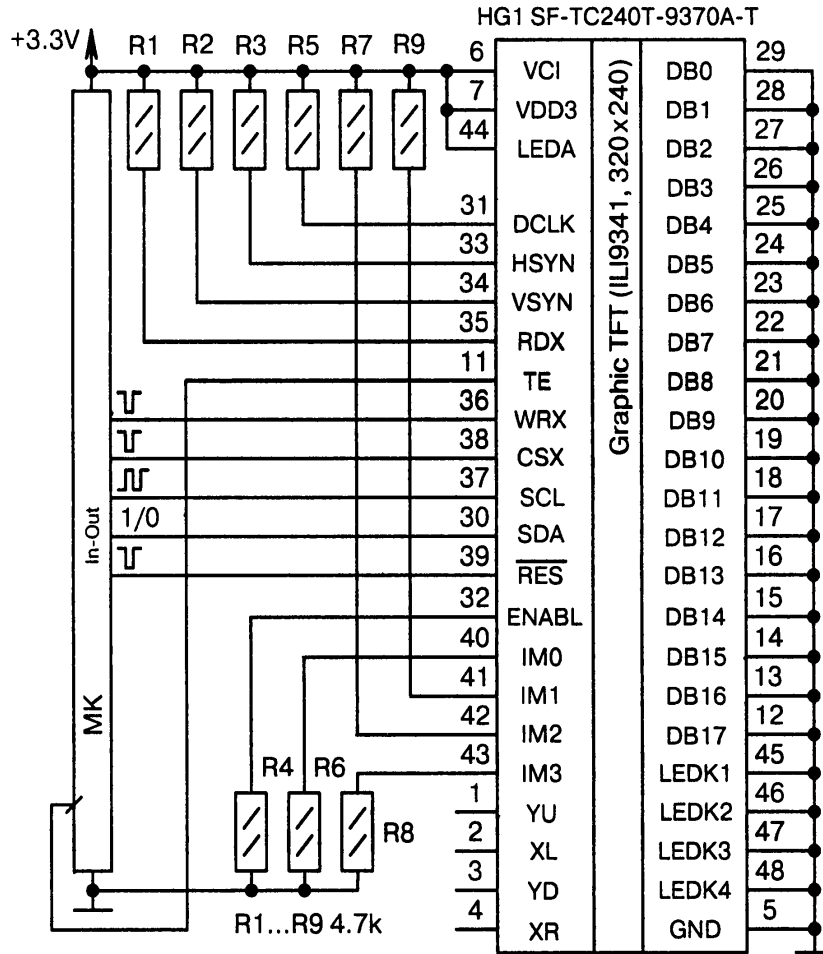
а) *HG1* — это монохромный ЖК-дисплей с экраном 128×128 пикселей. МК сигналом с нижнего выхода управляет коммутатором *DA1*. На контакты *COM1...COM4* сигналы поступают или от МК (*NO1...NO4*), или от внешнего источника *EXTERNAL* (*NC1...NC4*);

б) *HG1* — это монохромный ЖК-дисплей 128×32 пикселей, выполненный по технологии COG «чип на стекле». Интерфейс SPI, система команд контроллера ST7565R, ток подсветки не более 30 мА. Конденсаторы *C1...C8* формируют диаграмму внутренних напряжений. Сигналом на выводе *A0* индикатора *HG1* выбирается режим инструкций или команд

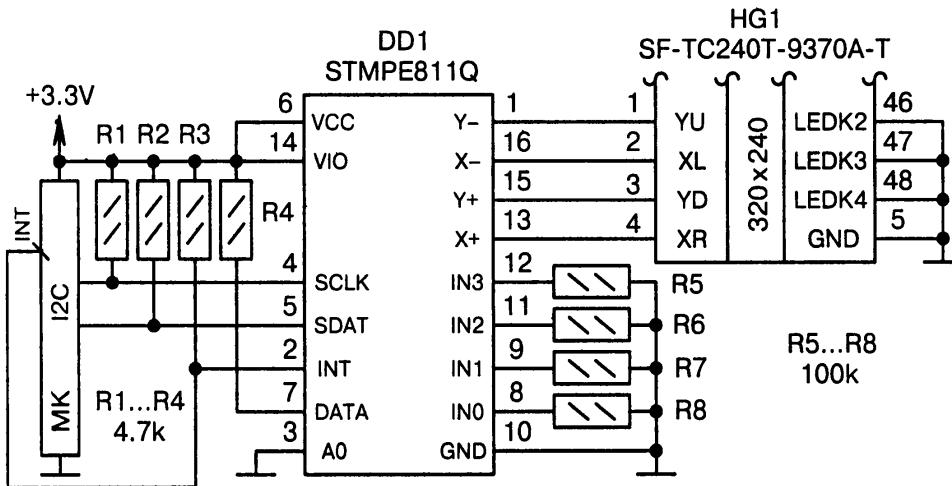
5.2.4. Цветные TFT-дисплеи

То, что раньше казалось фантастикой (маленький цветной телевизор для отладки и программирования), сейчас массово внедряется в отладочные платы. Причин несколько, но основные из них — это значительное удешевление производства TFT-дисплеев и повышение производительности МК.

Цветовая гамма TFT-дисплеев составляет от 65 365 оттенков и выше. Размер экрана указывается по диагонали, обычно это 1...7 дюймов. Многие дисплеи имеют сенсорный экран, он же тачскрин [5-3]. Формированием изображения занимается встроенный контроллер, с которым МК общается по последовательному каналу (Рис. 5.9, а...г). Подсветка организуется отдельно (Рис. 5.10, а...з).



а)

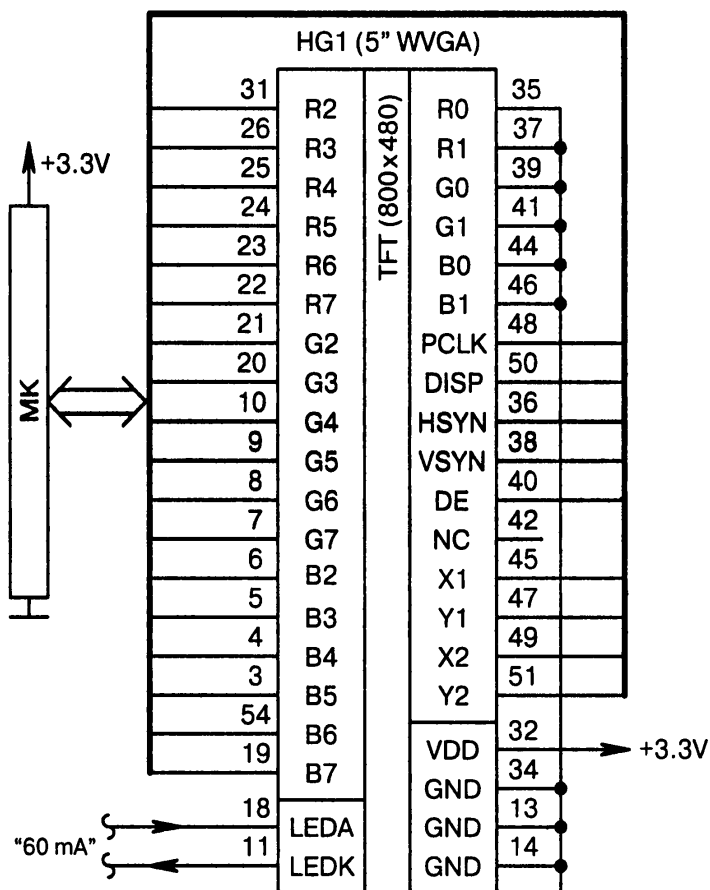


б)

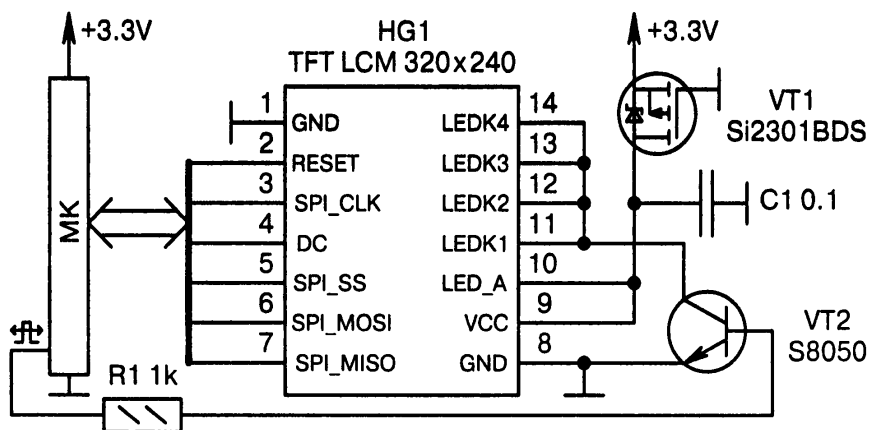
Рис. 5.9. Схемы подключения цветных TFT-дисплеев к МК (начало):

а) *HG1* — это цветной TFT-дисплей с диагональю экрана 2.4 дюйма, 320x240 пикселей, габариты 42x60x3 мм. Система команд контроллера IL9341. Ток подсветки через выводы *LEDA*, *LEDK1...4* составляет 60 мА, ток потребления цифровой части 5 мА. Логические уровни на выводах *IM0...IM3* задают последовательный режим работы с разрядностью 8 бит, связь производится по линии *SDA*. Сенсорная панель не используется, поэтому выводы *HG1:1... HG1:4* свободные;

б) микросхема *DD1* — это контроллер тачскрина (Touch Screen Controller), который управляется от МК через интерфейс I²C. Тачскрин физически встроен в TFT-дисплей *HG1*. К резисторам *R5...R8* могут подключаться дополнительные входные аналоговые сигналы; ☹



в)



г)

Рис. 5.9. Схемы подключения цветных TFT-дисплеев к МК (окончание):

в) *HG1* — это TFT-дисплей телевизионного типа, на который поступают в параллельном виде цифровые сигналы красного, зелёного и синего цветов R, G, B в пропорции 6:6:6 разрядов. Привязка к изображению производится сигналами вертикальной *VSYN* и горизонтальной *HSYN* синхронизаций. Подсветка организуется от отдельного источника питания через выходы *LEDA*, *LEDK* стабильным током 60 мА. Сигналы *X1*, *Y1*, *X2*, *Y2* относятся к тачскрину и обрабатываются через каналы АЦП МК;

г) управление TFT-дисплеем *HG1* производится по шине SPI через сигналы *SPI_x*. Яркость подсветки регулируется методом ШИМ, при этом транзистор *VT2* периодически открывается и закрывается, подключая катоды подсветки дисплея *LEDK1...LEDK4* к общему проводу

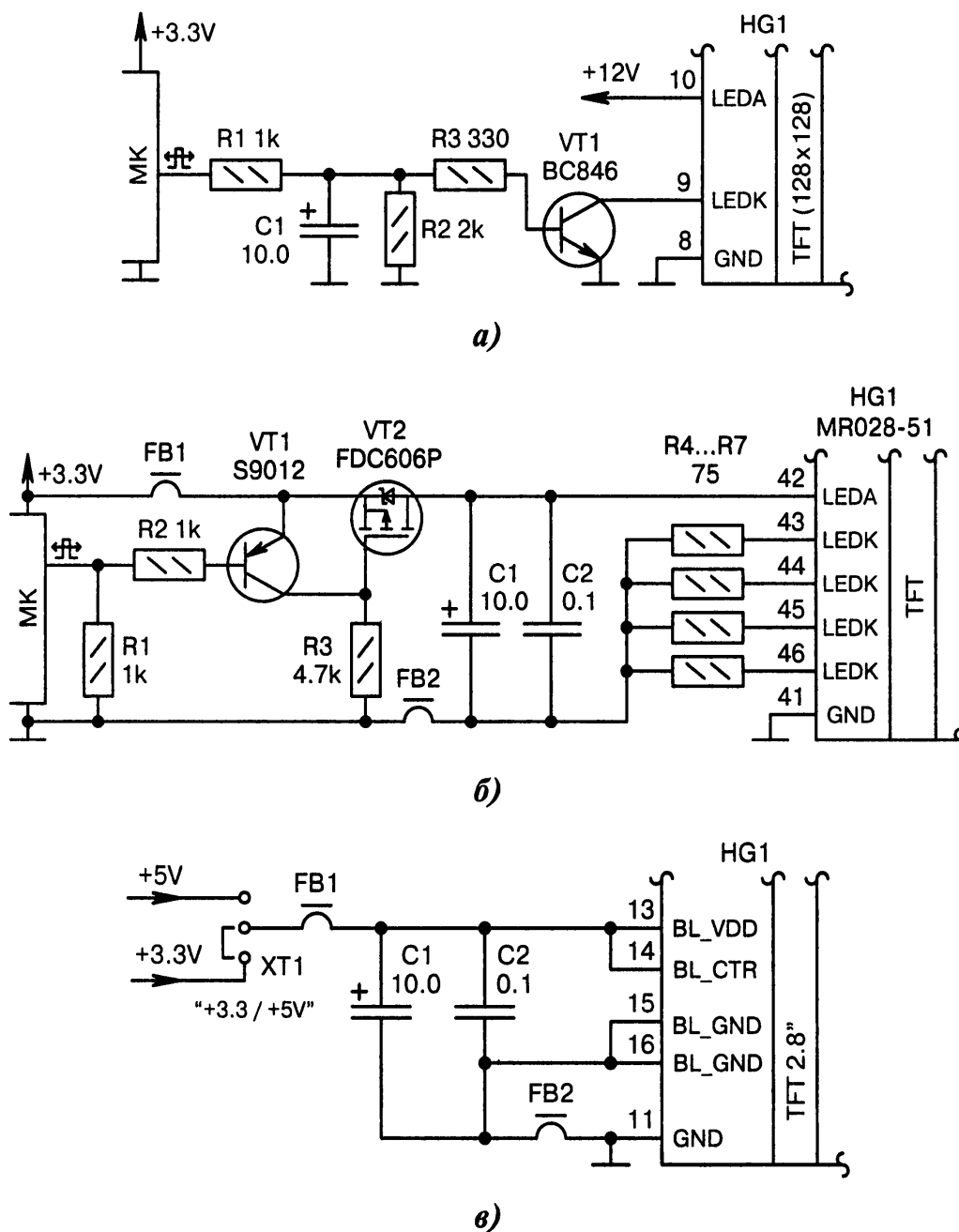
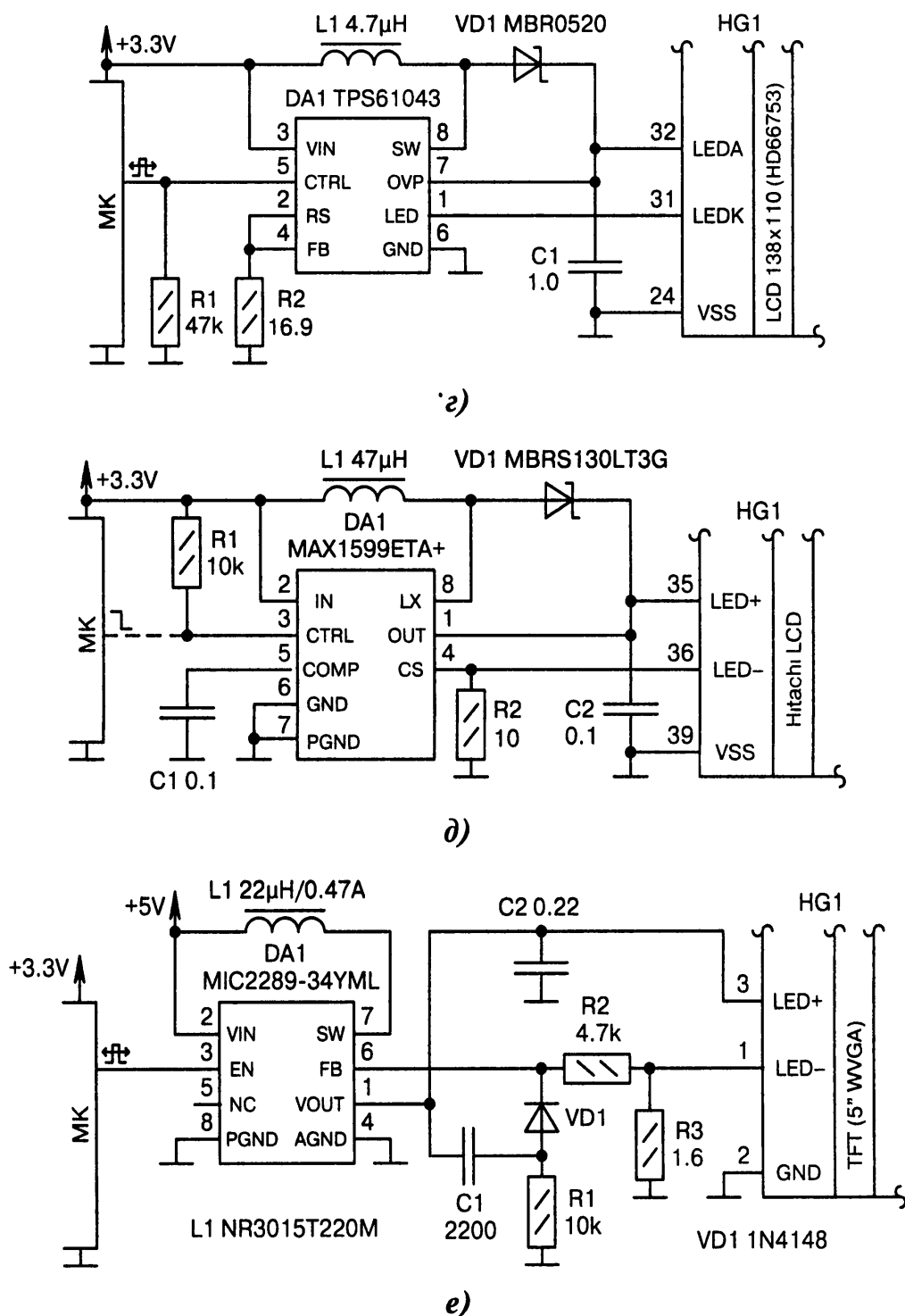


Рис. 5.10. Схемы организации подсветки в TFT-дисплеях (начало):

а) программное управление яркостью подсветки дисплея *HG1*. Яркость зависит от скважности импульсов ШИМ с выхода порта МК. Элементы *R1*, *C1* образуют ФНЧ. Транзистор *VT1* коммутирует внутренние светодиоды, которые питаются от повышенного напряжения +12 В;

б) подсветка дисплея *HG1* состоит из четырёх светодиодов, каждый из которых подключается к своему резистору *R4...R7*. Резисторы ограничивают максимальные токи через светодиоды. Яркость подсветки регулируется программно через канал ШИМ МК. Биполярный транзистор *VT1* открывает и закрывает полевой транзистор *VT2*, а также ускоряет разряд ёмкости его затвора. Варианты: *R4...R7* = 91;

в) дисплей *HG1* допускает работу при низком напряжении подсветки экрана. Дампером *XT1* выбирается большее +5 В или меньшее +3.3 В напряжение в зависимости от разновидности установленного в отладочную плату дисплея. Ферритовые фильтры *FB1*, *FB2* снижают импульсные помехи; ☹

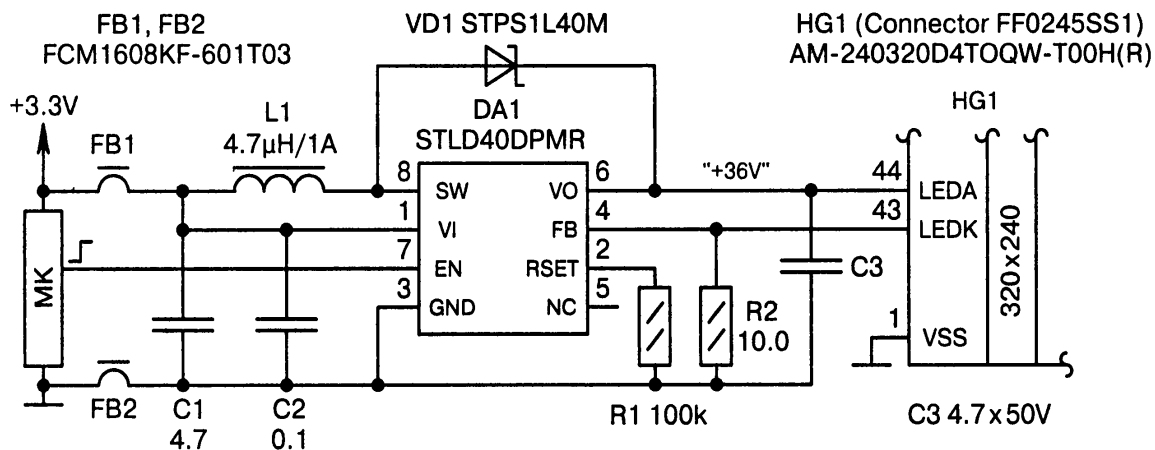


● Рис. 5.10. Схемы организации подсветки в TFT-дисплеях (продолжение):

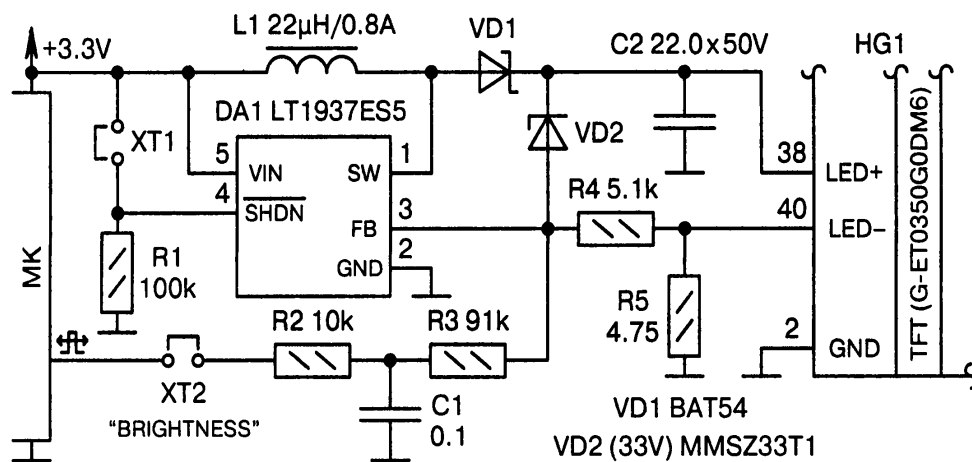
г) на элементах $DA1$, $R2$, $L1$, $VD1$, $C1$ собран источник стабилизированного постоянного тока 15 мА для светодиодной подсветки дисплея $HG1$. Ток через светодиоды рассчитывается по формуле $I_x[\text{мА}] = 252 / R2[\text{Ом}]$. Яркость подсветки регулируется сигналом ШИМ с выхода МК;

д) аналогично Рис. 5.10, г, но с другим типом DC/DC-преобразователя $DA1$, который работает на частоте 500 кГц. Яркость подсветки регулируется резистором $R2$. Включить/выключить подсветку можно, соответственно, ВЫСОКИМ/НИЗКИМ уровнем с выхода МК;

е) повышающий преобразователь напряжения на микросхеме $DA1$ формирует постоянный ток подсветки согласно формуле $I_x[\text{мА}] = 95 / R3[\text{Ом}]$. Сигналом ШИМ с выхода МК микросхеме $DA1$ периодически включается/отключается по входу EN , т. е. регулируется яркость; ●



ж)



з)

Рис. 5.10. Схемы организации подсветки в TFT-дисплеях (окончание):

ж) *HG1* — это индикатор Amorphous Silicon TFT [5-4] с диагональю экрана 3 дюйма. В подсветке участвуют шесть «белых» светодиодов. Импульсный DC/DC-преобразователь на микросхеме *DA1* увеличивает напряжение в цепи *LEDA* до 36 В. Обратная связь через резистор *R2* позволяет держать стабильным ток подсветки в районе 20 мА. Резистор *R1* задаёт ток через дроссель *L1*. Включение/отключение подсветки производится с выхода МК. «Земли» импульсного преобразователя и МК разделяются ферритовыми фильтрами *FB1*, *FB2* для снижения помех;

з) на микросхеме *DA1* собран повышающий DC/DC-преобразователь с обратной связью по току на резисторе *R5*. Яркость подсветки дисплея *HG1* регулируется импульсами ШИМ с выхода МК. Оптимальный режим для цепи *LED+* составляет 20 В при токе 20 мА. Выходное напряжение преобразователя ограничивается на уровне 33 В стабилитроном *VD2*. Дампером *XT1* подсветку можно полностью отключить

5.2.5. OLED-дисплеи

OLED-дисплеи, применяемые в отладочных платах, отличаются от своих TFT-собратьев меньшими по размеру экранами. Это минус. Всё остальное относится к плюсу — большая яркость и насыщенность изображения, красочные цветные картинки. Кроме того, OLED-дисплеи имеют сверхширокий угол обзора, что значительно улучшает их потребительские качества.

Если к «джентльменскому» набору достоинств добавить ещё и устойчивость работы при минусовых температурах окружающей среды, то можно понять, что технологию OLED ожидает большое будущее.

Информационные цепи между МК и OLED-дисплеем подключаются стандартно через унифицированные интерфейсы (Рис. 5.11, а...в). Главная проблема большинства дисплеев заключается в высоковольтном питании светодиодов, для чего нужны DC/DC-преобразователи +13...+15 В (Рис. 5.11, г, д). У дисплеев с микроминиатюрным размером экрана этой проблемы нет.

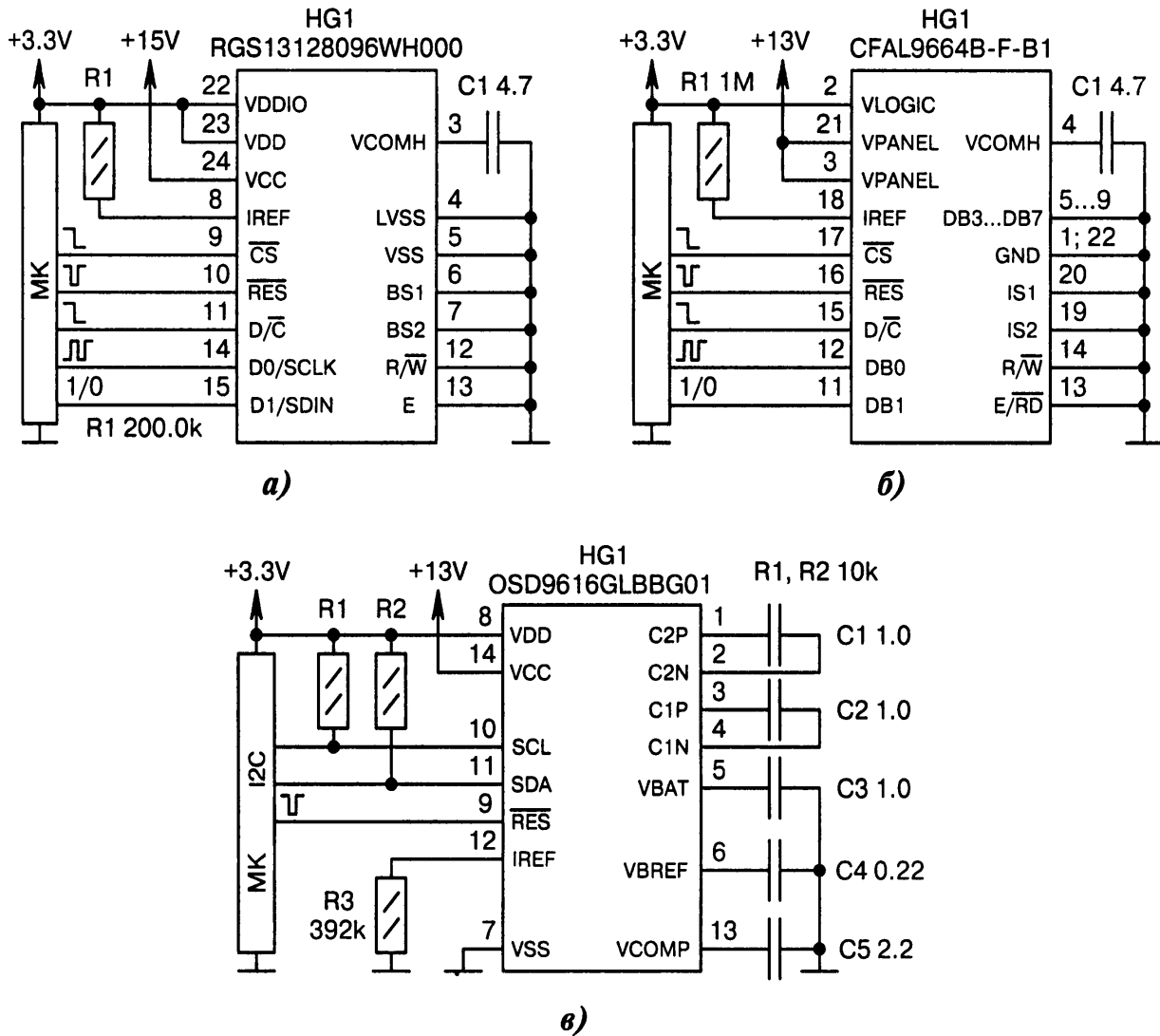
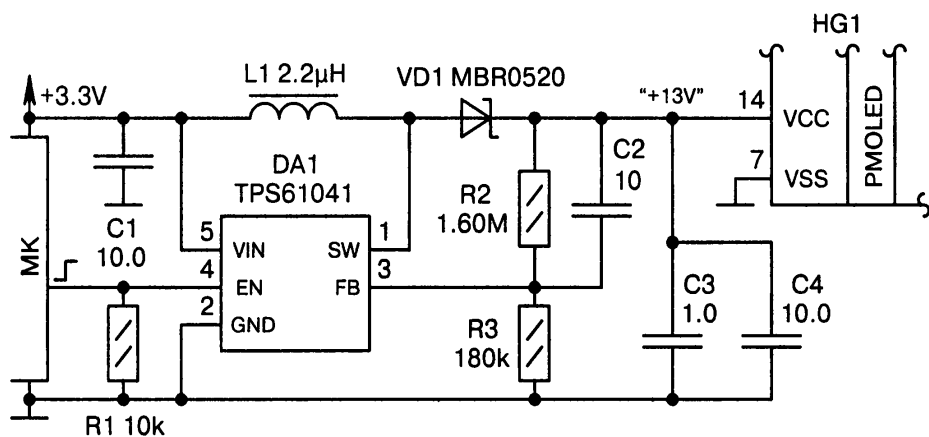


Рис. 5.11. Схемы подключения OLED-дисплеев к МК (начало):

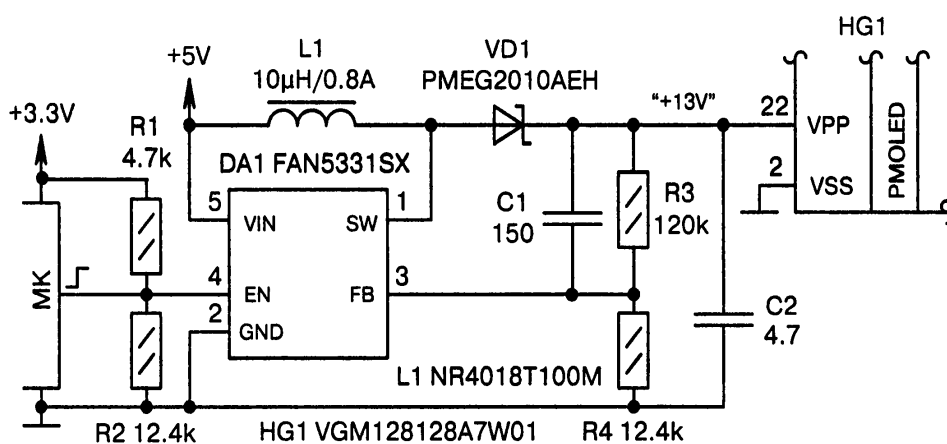
а) *HG1* — это чёрно-белый OLED-дисплей, диагональ экрана 1.3 дюйма, 128x96 пикселей. Контроллер дисплея поддерживает систему команд SSD1329U2. НИЗКИЕ уровни на выводах *BS1*, *BS2* определяют режим последовательной связи с МК через информационный вывод *D1*. Остальные сигналы — управляющие;

б) аналогично Рис. 5.11, а, но с цветным OLED-дисплеем *HG1* с диагональю 0.95 дюйма, 96x64 пикселей, 65 536 цветовых оттенков, система команд контроллера SSD1332;

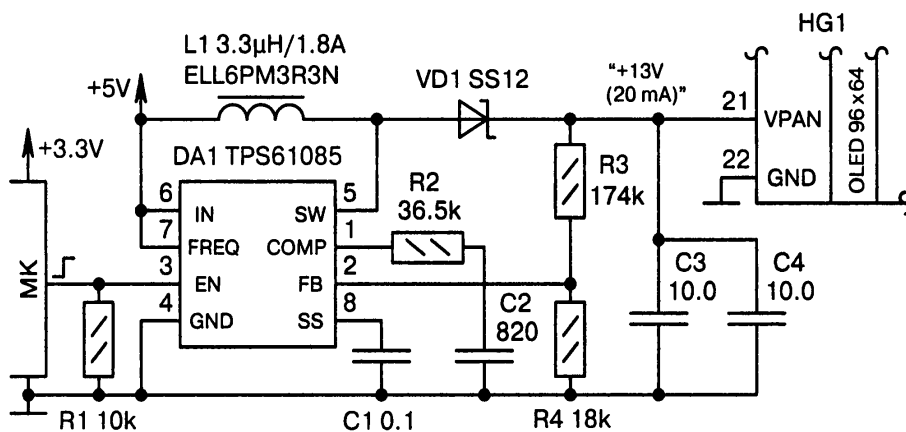
в) *HG1* — это монохроматический дисплей PMOLED (Passive Molecular OLED [5-5]), экран 96x16 пикселей, система команд контроллера SSD1306, синий цвет, габариты 29.1x9.2x1.6 мм, управление осуществляется от МК по шине I²C; Ⓞ



а)



б)



в)

Рис. 5.11. Схемы подключения OLED-дисплеев к МК (окончание):

г) источник повышенного питания +13 В для PMOLED-дисплея *HG1*. Выходное напряжение определяется отношением резисторов *R2*, *R3*. Логическим уровнем с выхода МК можно включить/отключить изображение. Варианты: $V_{IN} = 5$ В, *HG1:14* = 15 В/50 мА, *DA1* = FAN5331, $C1 = C4 = 4.7$, $C2 = 120$, $L1 = 10\mu\text{H}$, $R2 = 200\text{k}$, $R3 = 17.8\text{k}$;

д) аналогично Рис. 5.11, г, но с другим типом микросхемы DC/DC-преобразователя *DA1*;

е) аналогично Рис. 5.11, г, но с питанием от источника +5 В, с другим драйвером *DA1* и с другим типом индикатора *HG1*

5.3. Звуковая система

5.3.1. Вывод звука на пьезоизлучатели

К пьезоизлучателям относятся широко известные «пьезописалки», имеющие высокое «конденсаторное» сопротивление в звуковом диапазоне (Рис. 5.12, а...е).

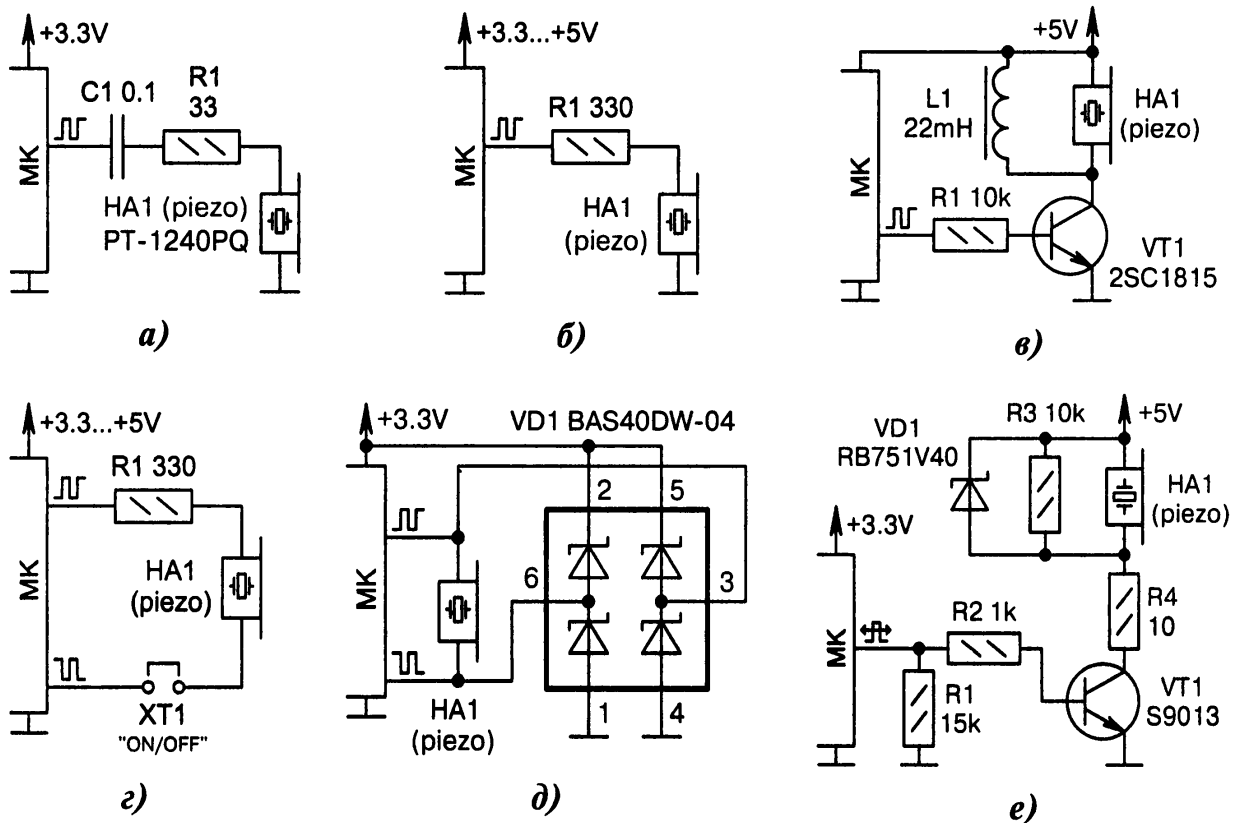


Рис. 5.12. Схемы подключения пьезоизлучателей к МК:

а) пьезоизлучатель *HA1* предназначен для генерации звука в стиле «Computer System Speaker». Частота резонанса *HA1* составляет 4.1 кГц, собственная ёмкость 17 000 пФ, средний ток 2 мА при напряжении 5 В. Варианты: *HA1* = CEP-1160;

б) аналогично Рис. 5.12, а, но без конденсатора и с увеличенным сопротивлением резистора *R1*. Отсутствие конденсатора означает однополярное напряжение на обкладках *HA1*, что теорией не приветствуется. Однако пьезоизлучатель работает кратковременно, поэтому такое техническое решение имеет право на существование, что подтверждается многолетней практикой;

в) дроссель *L1* обеспечивает резонансное повышение громкости звучания пьезоизлучателя *HA1*. Сопротивление дросселя по постоянному току должно превышать 30 Ом, чтобы при случайном и длительном выставлении ВЫСОКОГО уровня на выходе МК не вышел из строя транзистор *VT1*. Максимальный ток через его коллектор составляет 150 мА;

г) смена полярности напряжения на обкладках пьезоизлучателя *HA1* производится противофазными сигналами с двух выходов МК. Это увеличивает амплитуду сигналов и повышает громкость звучания. Дампером *XT1* звук можно выключить. Варианты: *R1* = 220;

д) эффективная защита линий МК сборкой диодов Шоттки *VD1*;

е) буферный транзистор *VT1* ставится при повышенном питании излучателя *HA1*. Диод *VD1* защищает транзистор *VT1* от всплесков напряжения и снижает помехи в цепи +5 В

5.3.2. Вывод звука на динамические излучатели

На Рис. 5.13, а...д показаны схемы подключения динамических звукоизлучателей (бузеров) к МК. Из особенность — низкое омическое сопротивление.

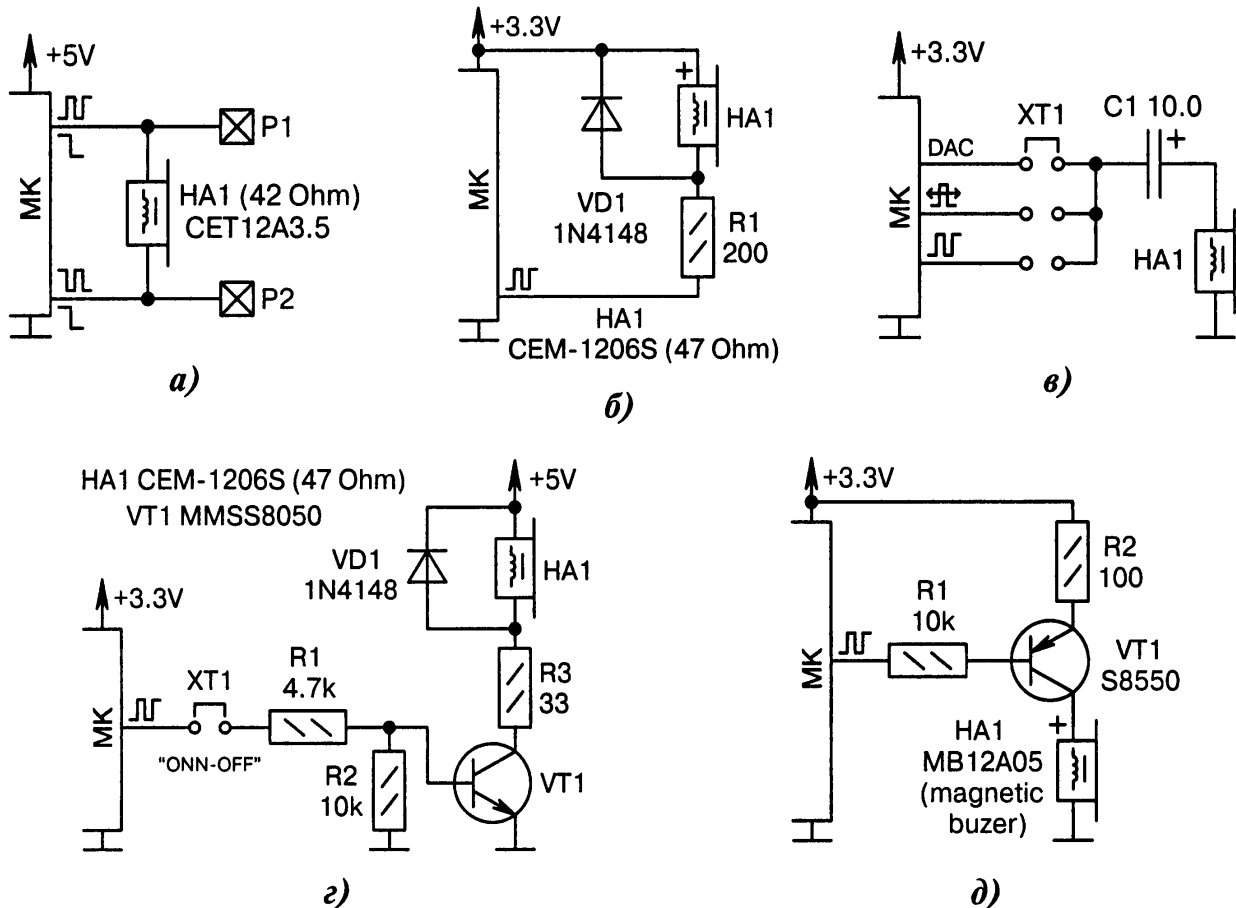


Рис. 5.13. Схемы подключения динамических излучателей к МК:

а) *BA1* — это «громкий» (80...95 дБ) электродинамический бузер *BF1*, работающий в диапазоне звуковых частот 0.3...10 кГц. Средний ток потребления составляет 30 мА, что позволяет подключать его непосредственно к портам МК. Противофазные сигналы с линий МК увеличивают амплитуду напряжения, а значит, и громкость. Для отключения звука необходимо выставить на обоих выходах МК одинаковые логические уровни, будь то оба НИЗКИХ или оба ВЫСОКИХ;

б) управление динамическим излучателем *HA1* от одной линии МК. Если на корпусе *HA1* указана полярность в виде знака «+», то её следует придерживаться при подключении;

в) джампером *XT1* выбирается один из трёх источников звука: ЦАП, ШИМ или выходной порт МК. Если джампер не установлен, то звук излучателя *HA1* отключается;

г) разное питание МК и электродинамического бузера *HA1*, имеющего низкое сопротивление 47 Ом. Диод *VD1* уменьшает помехи в цепи питания и защищает транзистор *VT1* от всплесков обратного напряжения. Джампером *XT1* можно отключить звук, при этом резистор *R2* не даёт «висеть в воздухе» базе транзистора *VT1*. Варианты: *VT1* = BC856, *R1* = 330, *R2* отсутствует, *R3* = 10, *VD1* отсутствует;

д) «привязка» бузера *HA1* не к питанию, а к общему проводу. Соответственно, для открытия транзистора *VT1* выставляется НИЗКИЙ (а не ВЫСОКИЙ) уровень с линии МК. Частота резонанса *HA1* составляет 2300 Гц, постоянный ток не более 30 мА. Варианты: *R1* = 4.7к; *R2* = 0; *VT1* = BC557

5.3.3. Транзисторные усилители звука

На Рис. 5.14, а, б показаны схемы подключения громкоговорителей через транзисторные усилители, которые выполняют функцию ключей.

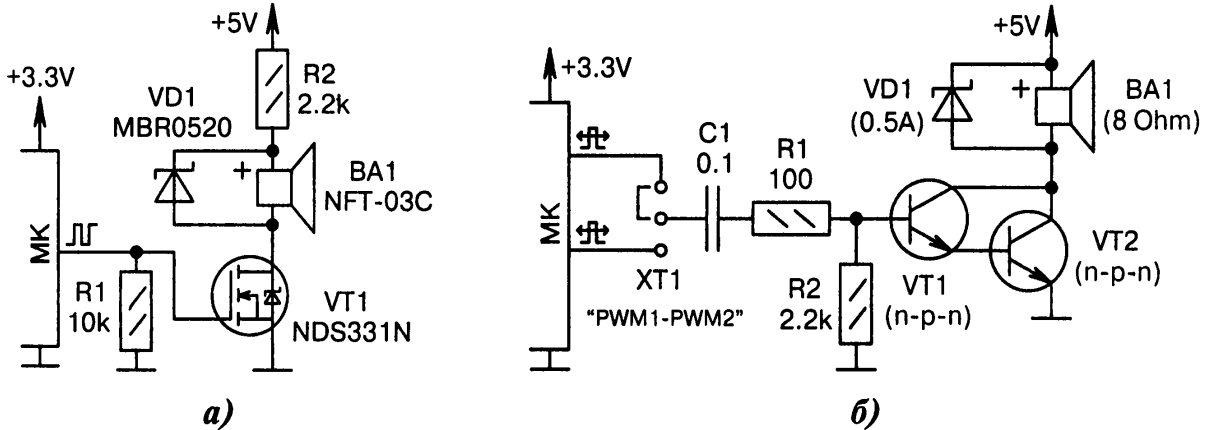


Рис. 5.14. Схемы подключения громкоговорителей через транзисторные ключи:

а) *BA1* — это миниатюрный электромагнитный динамик с параметрами: диапазон частот 0.5...10 кГц, мощность 0.3 Вт, пиковый ток 90 мА, габариты 5х5х3 мм. Транзистор *VT1* служит буфером по отношению к МК и обеспечивает сопряжение с повышенным питанием +5 В;

б) генерация звука от одной из двух линий МК (источник выбирается джампером *XT1*). Особенность — разное питание МК и транзисторов *VT1*, *VT2*

5.3.4. Интегральные усилители звука

На Рис. 5.15, а...г показаны схемы подключения монофонических интегральных усилителей звука к МК. Их применение упрощает схемотехнику, сокращает место на печатной плате и улучшает звучание.

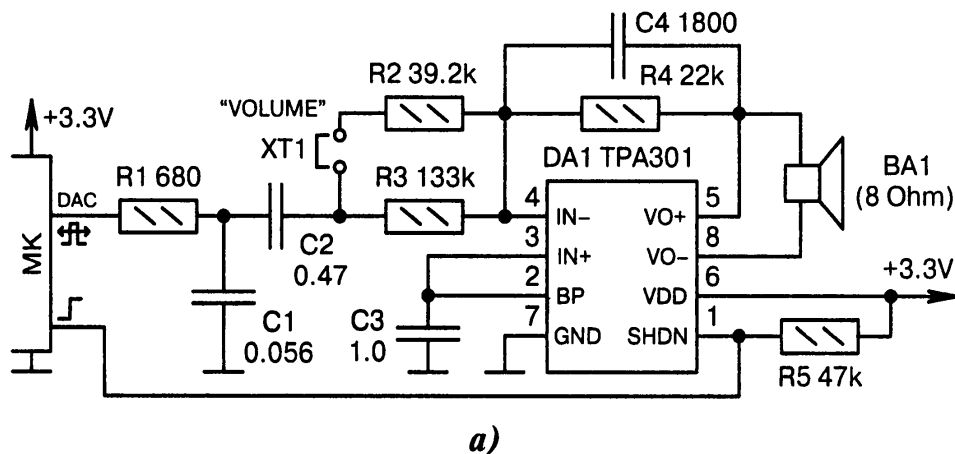


Рис. 5.15. Схемы подключения интегральных УНЧ к МК (начало):

а) мощность УНЧ на микросхеме *DA1* составляет 0.25 Вт при коэффициенте гармоник 1%. Установкой джампера *XT1* увеличивается громкость звучания (снижается сопротивление резистора *R3*). ВЫСОКИМ уровнем с нижнего выхода МК звук можно программно отключить; ☹

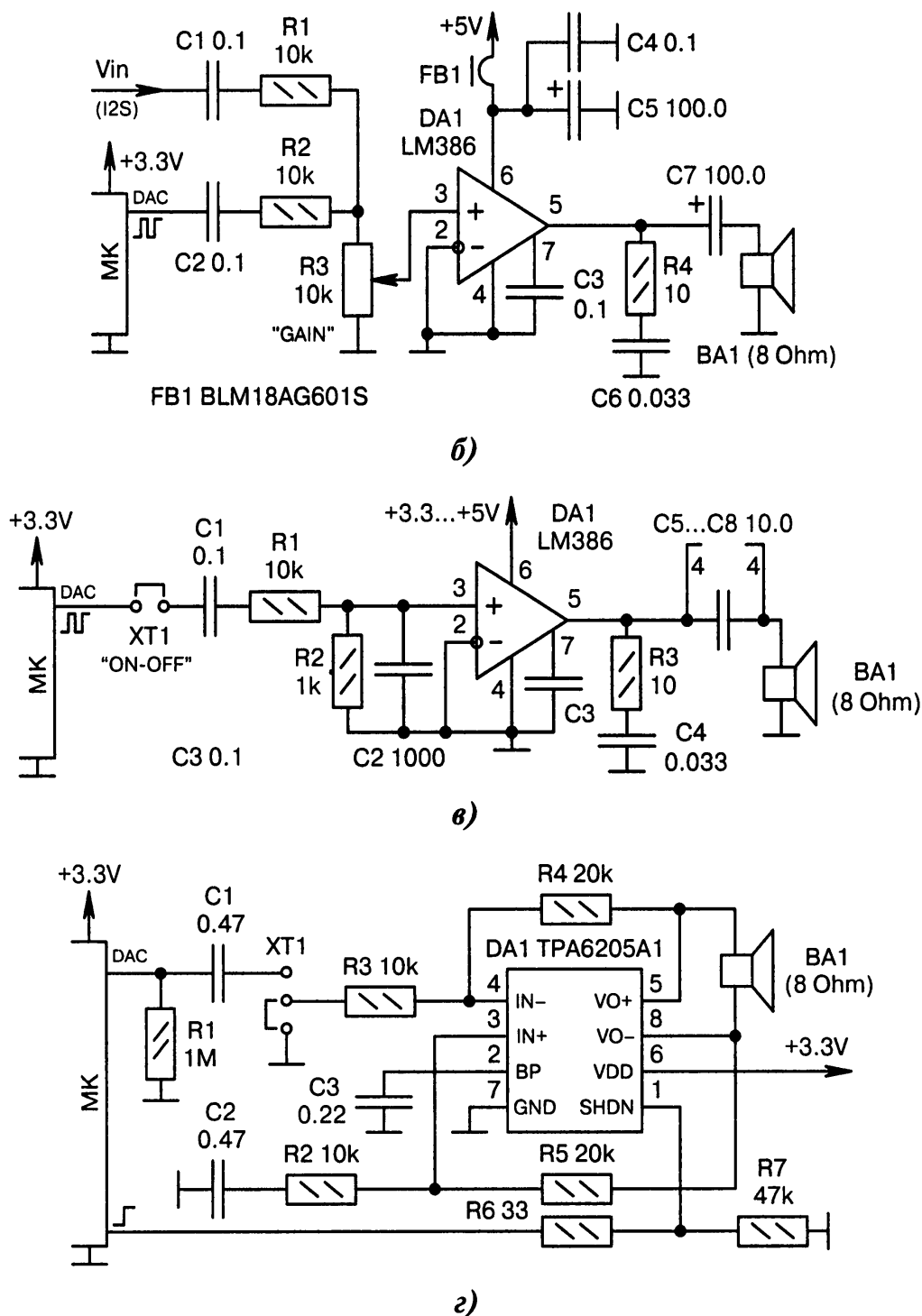


Рис. 5.15. Схемы подключения интегральных УНЧ к МК (окончание):

б) УНЧ на микросхеме *DA1* принимает сигналы с двух каналов: от МК (ЦАП или линия порта) и от внешнего источника звука *Vin*. Резистором *R3* регулируется громкость;

в) аналогично Рис. 5.15, б, но более просто. Выходные конденсаторы *C5...C8* керамические. Варианты: $C2 = 0$; $C4 = 220.0$;

г) мощность УНЧ на микросхеме *DA1* составляет 0.5 Вт при коэффициенте гармоник 0.07%. УНЧ содержит два канала. Через канал *IN-*, *VO+* (элементы *R3*, *R4*) звуковой сигнал усиливается, а через канал *IN+*, *VO-* (элементы *C2*, *R2*, *R5*) — «раскачивается». Дампером *XT1* звук можно включить/выключить аппаратно, а сигналом с нижнего выхода МК — программно. Для качественного звучания мощность динамика *BA1* должна быть не менее 1 Вт

5.3.5. Стереосуилители

Если проанализировать технические параметры современных МК, то можно заметить, что подавляющее большинство из них имеют два канала ЦАП. Прицел сделан на стереозвучание, и он себя оправдывает повышенным комфортом для слушателя.

В отладочных платах стереосуилители обычно нагружаются на стереотелефоны или малогабаритные звуковые колонки. Подключение производится через разъёмы, но в шилдах бывают и встроенные динамики (Рис. 5.16, а...в).

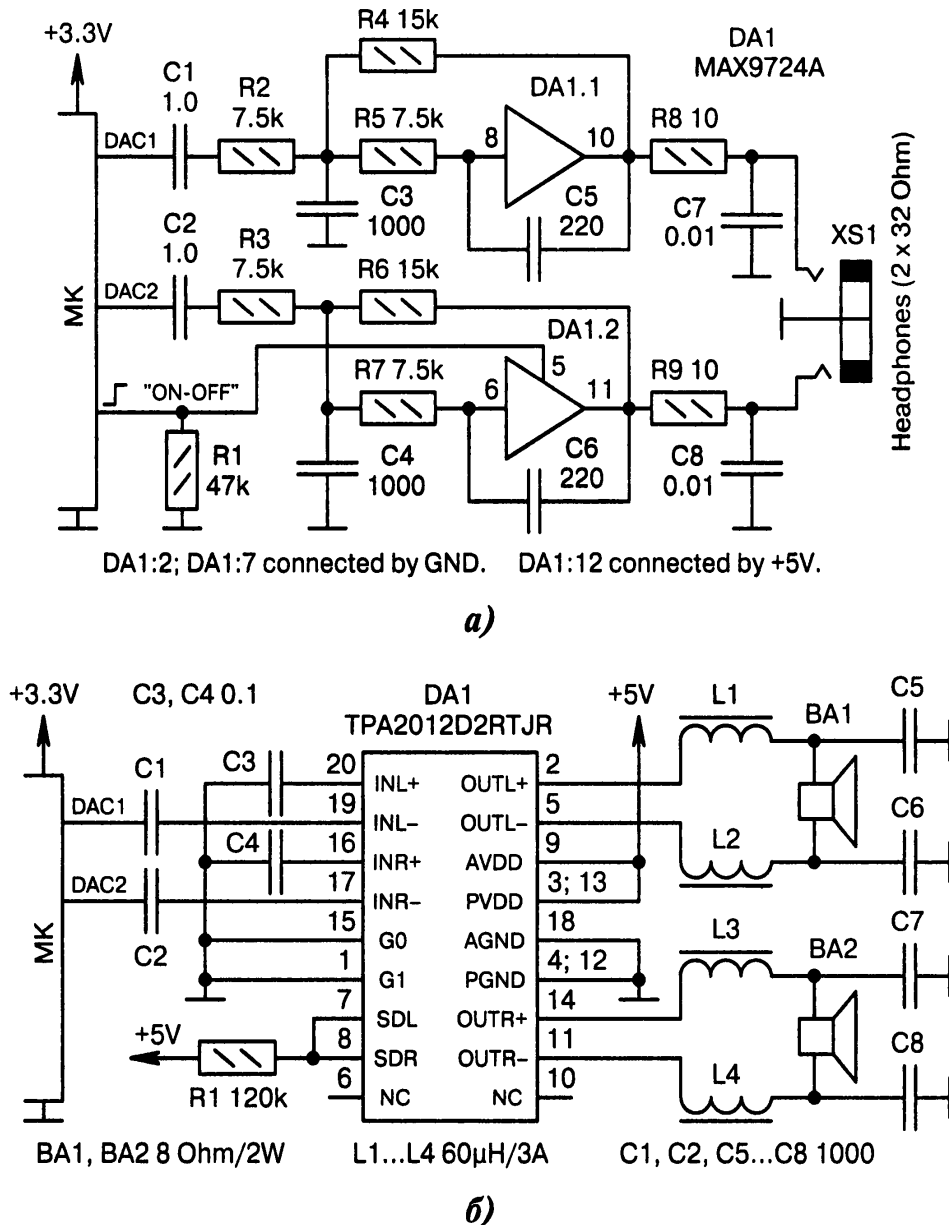


Рис. 5.16. Схемы подключения стереосуилителей к МК (начало):

а) DA1 — это УНЧ для стереонаушников с мощностью 60 мВт при коэффициенте искажений 0.02%. Отключение звука производится ВЫСОКИМ уровнем с нижнего выхода МК. Между выходами DA1:1 и DA1:3; DA1:4, DA1:9 и DA1:2 надо включить конденсаторы накачки 0.1 мкФ;

б) DA1 — импульсный УНЧ класса «D». Выходная мощность 2x1.4 Вт на нагрузке 8 Ом, полосу частот 20...20000 Гц, КНИ 0.14% при мощности 1 Вт. Цепь AGND следует подключить к аналоговому общему проводу ЦАП МК. Звук отключается замыканием DA1:7, DA1:8 на GND; Ⓞ

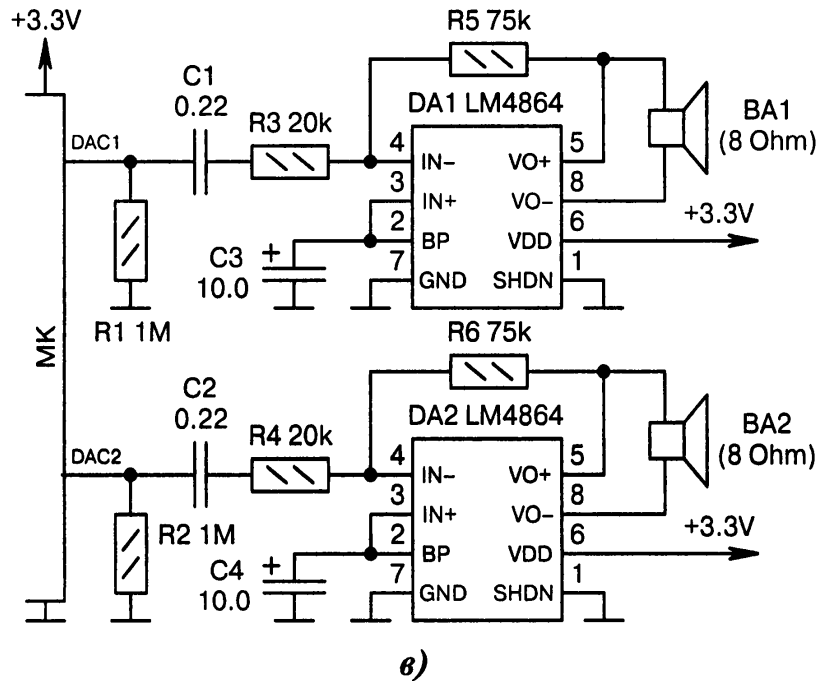


Рис. 5.16. Схемы подключения стереоусилителей к МК (окончание):

в) два отдельных УНЧ $DA1$, $DA2$ обеспечивают мощность 0.2 Вт при КНИ 1%. Каждый УНЧ работает через свой канал ЦАП. Усиление выставляется резисторами $R5$, $R6$. Питание может осуществляться от двух пальчиковых батарей 1.6 В типоразмера АА

5.3.6. Формирование сигналов через внутренний ЦАП МК

Главной проблемой при генерации звуковых (и не только) сигналов через канал ЦАП МК считается эффективная фильтрация гармоник, возникающих из-за того, что выходной сигнал является ступенчатым. Чем выше разрядность ЦАП, тем меньше амплитуда ступенек и тем проще осуществить фильтрацию сигнала.

Фильтры на выходе ЦАП чаще всего строятся на базе одной или нескольких RC -цепочек, образующих ФНЧ (Рис. 5.17, а...е).

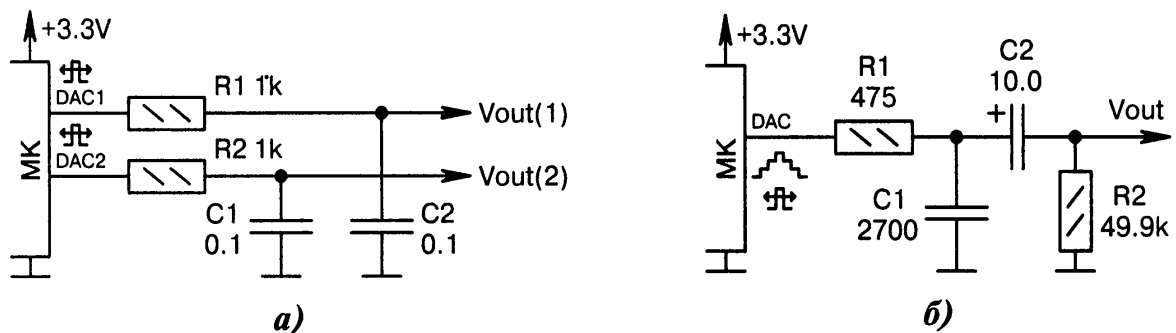
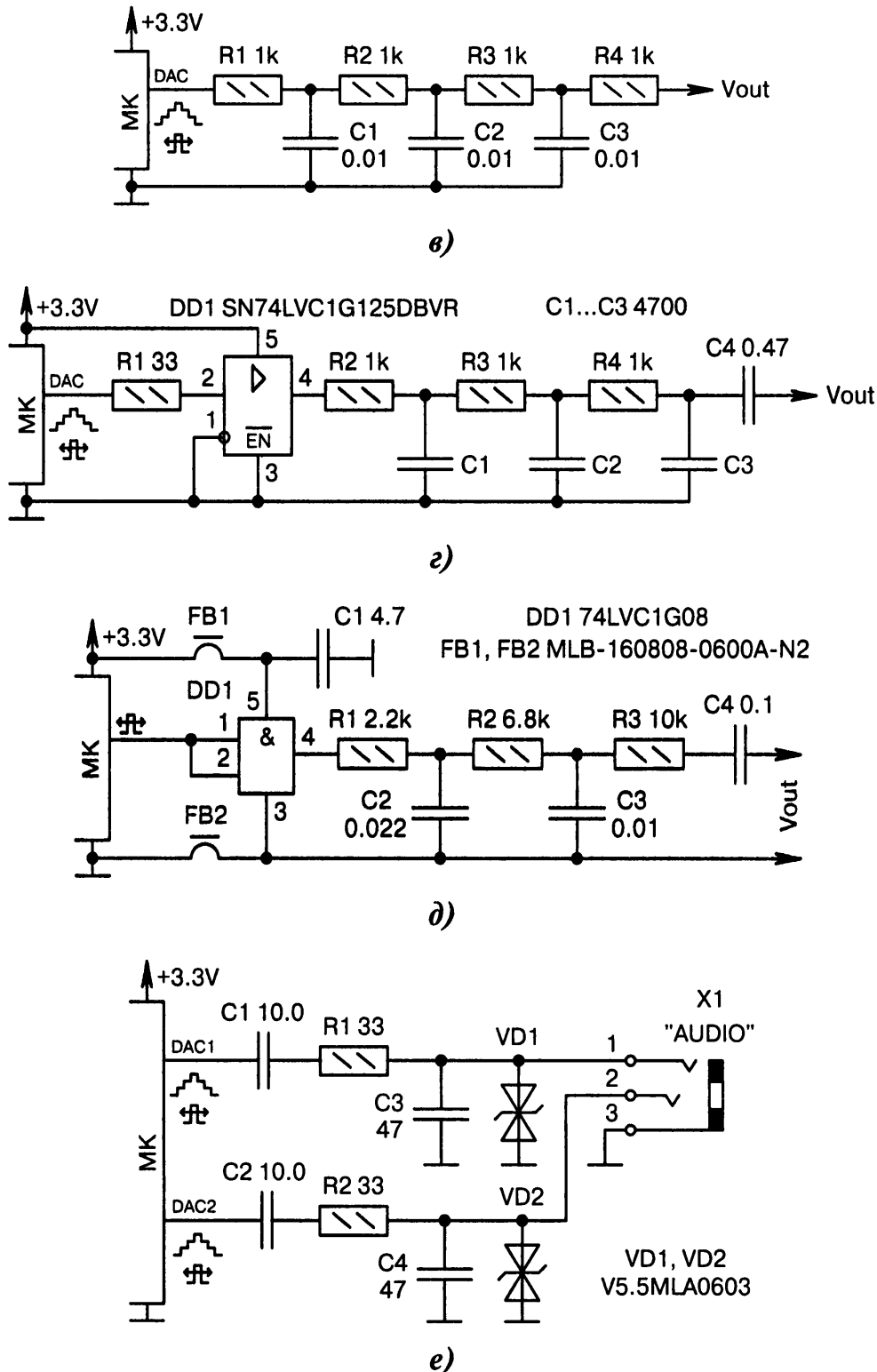


Рис. 5.17. Схемы подключения фильтров к внутренним ЦАП МК (начало):

а) простейшие однозвенные RC -фильтры для стерео-ЦАП или двух независимых каналов ШИМ. Чем больше сопротивление резисторов $R1$, $R2$ и выше ёмкость конденсаторов $C1$, $C2$, тем ниже частота среза ФНЧ;

б) ФНЧ на элементах $R1$, $C1$ дополнен ФВЧ на элементах $C2$, $R2$. Получается полосовой фильтр, не пропускающий постоянную составляющую; ☹



⊙ Рис. 5.17. Схемы подключения фильтров к внутренним ЦАП МК (окончание):

в) с выхода МК генерируется сигнал от ШИМ или от внутреннего ЦАП. Элементы $R1...R3$, $C1...C3$ образуют ФНЧ с частотой среза 3 кГц. Для уменьшения габаритов можно использовать сборки резисторов. Питание МК и цепь общего провода должны быть «аналоговыми»;

г) аналогично Рис. 5.17, в, но с буферным повторителем $DD1$ и конденсатором $C4$;

д) аналогично Рис. 5.17, г, но с фильтрацией питания буферного повторителя $DD1$;

е) сапрессоры $VD1$, $VD2$ защищают МК от повреждения статическим электричеством через контакты разъёма $X1$. Ёмкости сапрессоров суммируются с ёмкостями конденсаторов $C3$, $C4$

5.3.7. Подключение внешних ЦАП

Внутренние ЦАП имеются далеко не во всех МК, поэтому проблема подключения внешних ЦАП до сих пор является актуальной. Кроме того, применение внешних ЦАП в некоторых случаях позволяет улучшить технические параметры отладочной платы или увеличить число каналов преобразования (Рис. 5.18, а...в).

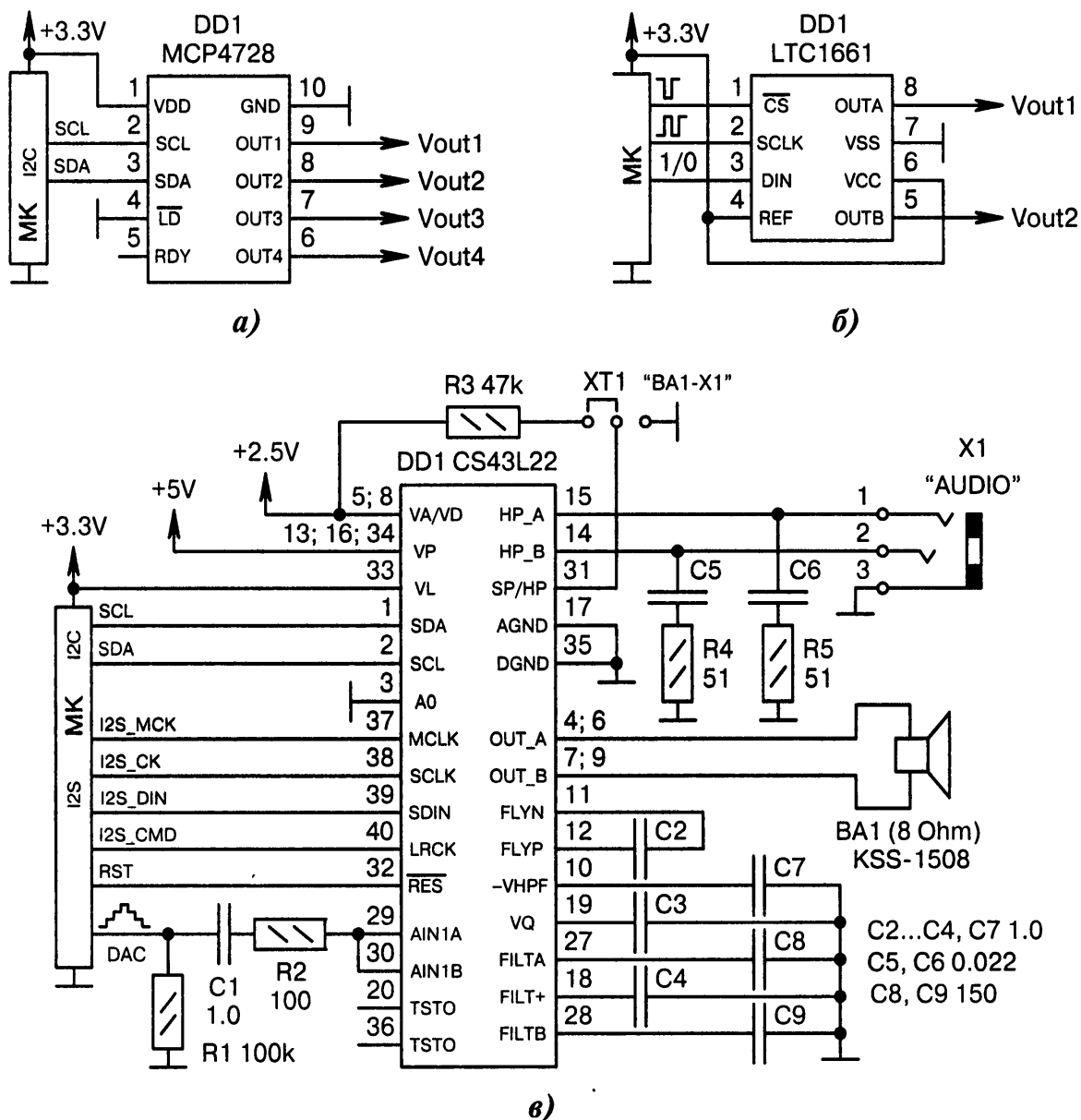


Рис. 5.18. Схемы подключения внешних ЦАП к МК:

а) подключение к МК четырёхканального 12-битного ЦАП *DD1* с буферизированными выходами *OUT1...OUT4*. Связь с МК осуществляется через интерфейс I²C;

б) *DD1* — это 10-битный двухканальный ЦАП с низким током потребления 1...60 мкА, выходными уровнями «rail-to-rail» и допустимой нагрузкой 1000 пФ по каждому выходу;

в) *DD1* — это дельта-сигма ЦАП с разрядностью 24 бита. Имеет УНЧ класса «D» мощностью 1.9 Вт, который джампером *XT1* подключается или к динамику *BA1*, или к стереонаушникам через разъём *X1*. Звуковой сигнал формируется через интерфейс I²S по сигналам *I2S_x* (частота дискретизации 96 кГц) и смешивается с сигналом *DAC* от внутреннего ЦАП МК. Установка режимов работы микросхемы *DD1* осуществляется через интерфейс I²C по сигналам *SCL*, *SDA*

5.4. Ключевые узлы

5.4.1. Преобразователи уровней

На Рис. 5.19, а...е показаны схемы преобразователей уровней 3.3/5 В, где от низкого напряжения питается МК, а от высокого напряжения — внешние узлы.

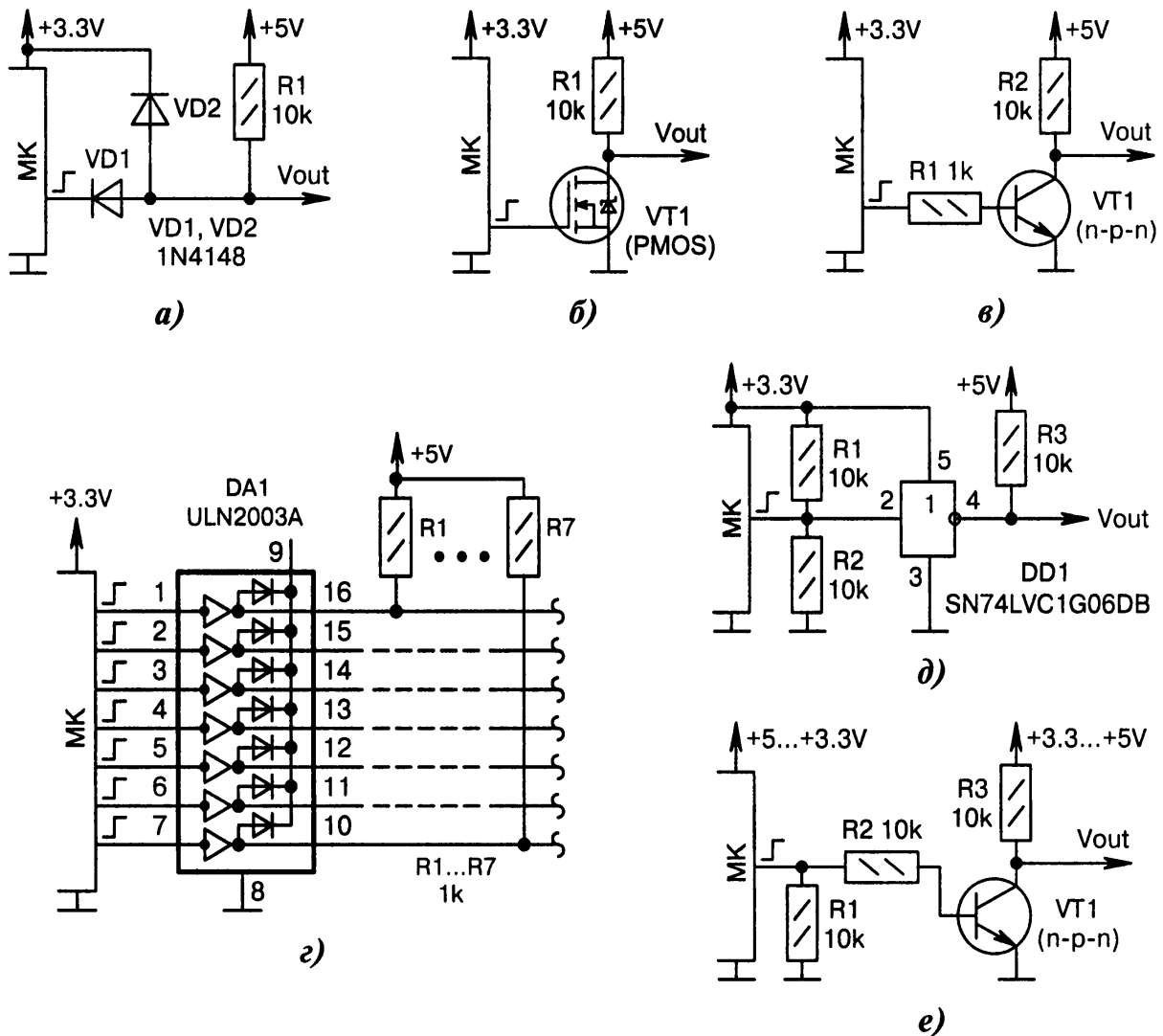


Рис. 5.19. Схемы подключения преобразователей уровней к МК:

а) согласование уровней 3.3/5 В при помощи диодов $VD1$, $VD2$. НИЗКИЙ уровень сигнала V_{out} составляет +0.7 В (диод $VD1$), а ВЫСОКИЙ уровень составляет +4.0 В (диод $VD2$);

б) согласование уровней 3.3/5 В при помощи ключа на полевом транзисторе $VT1$;

в) аналогично Рис. 5.19, б, но на биполярном транзисторе $VT1$;

г) согласование уровней 3.3/5 В при помощи транзисторных ключей, находящихся внутри микросхемы $DA1$. Выходы $DA1:10...DA1:16$ имеют открытые коллекторы, рабочий ток до 0.3 А;

д) согласование уровней 3.3/5 В при помощи малогабаритного логического элемента $DD1$ в корпусе SOT-23/5. Это повторитель напряжения с открытым стоком. Согласующие резисторы $R1$, $R2$ ставятся при высокой частоте импульсов и значительном удалении МК от $DD1$;

е) универсальная схема прямой 3.3/5 В и обратной 5/3.3 В трансформаций сигналов. Транзистор $VT1$ выполняет функцию ключа. Резистор $R1$ может отсутствовать

5.4.2. Узлы управления

На Рис. 5.20, а...и показаны схемы транзисторных и микросхемных коммутаторов и выключателей, управляемых от МК.

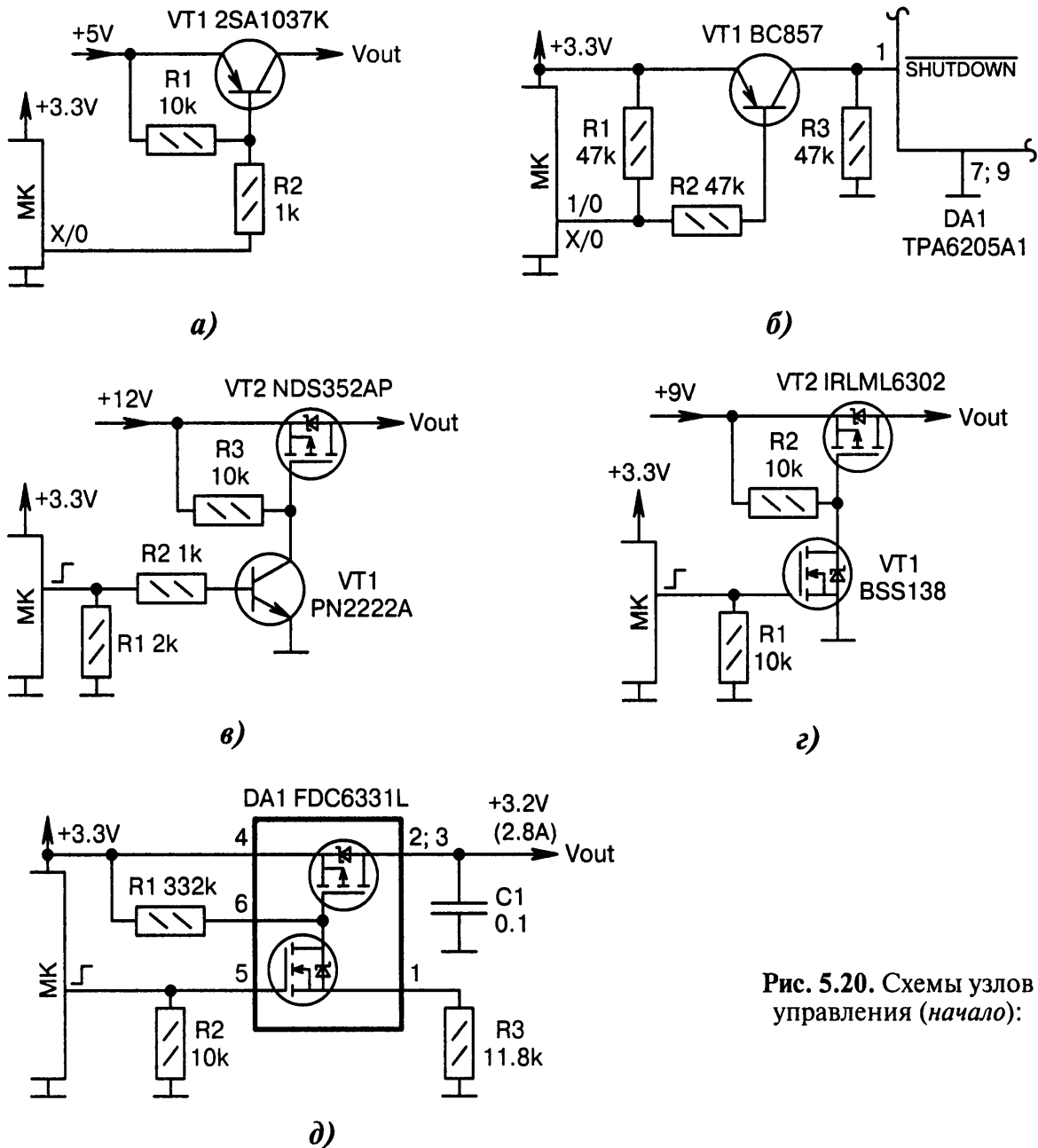


Рис. 5.20. Схемы узлов управления (начало):

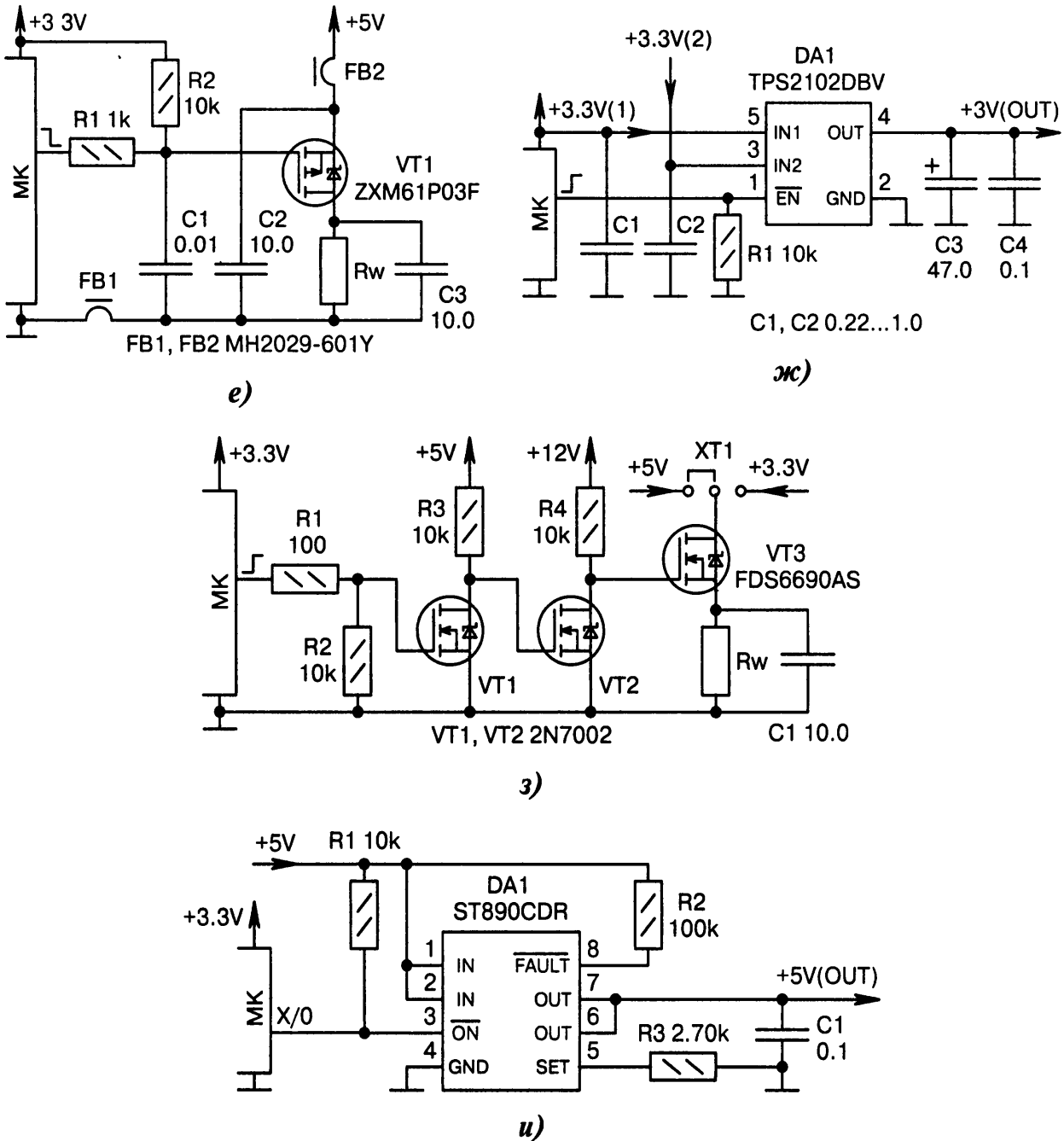
а) МК управляет транзисторным ключом *VT1*. Поскольку коммутируемое напряжение +5 В больше, чем напряжение питания МК, то используется выход с «истинно» открытым стоком. Максимальный ток нагрузки в цепи *Vout* зависит от коэффициента $h_{21э}$ транзистора *VT1*;

б) *DA1* — это УНЧ, работа которого запрещается НИЗКИМ уровнем на входе *DA1:1*. МК управляет транзистором *VT1* и после включения питания на время блокирует УНЧ, чтобы в громкоговорителе не было слышно треска и хрипов. Резистор *R1* закрывает *VT1* при сбросе МК;

в) МК управляет силовым транзистором *VT2* через ключ на транзисторе *VT1*;

г) аналогично Рис. 5.20, в, но с полевым транзистором *VT1*;

д) МК включает/выключает напряжение в цепи *Vout*, открывая два транзистора в сборке *VT1*. Резисторы *R1...R3* задают режим работы транзисторов по постоянному току; ☹



● Рис. 5.20. Схемы узлов управления (окончание):

е) подача питания в нагрузку Rw (в исходной схеме это аналоговый УНЧ) производится НИЗКИМ уровнем с выхода МК. Конденсаторы $C1...C3$ устраняют начальный звуковой «щелчок». Особенность схемы — разные напряжения питания МК и нагрузки;

ж) МК подключает к выходу $+3.3V(OUT)$ один из каналов питания: $+3.3V(1)$ или $+3.3V(2)$. Сопротивление между $DA1:5$, $DA1:4$ равно 0.25 Ом (0.5 А), между $DA1:3$, $DA1:4$ — 1.3 Ом (0.1 А);

з) управление 10-амперным транзистором $VT3$ осуществляется двумя ключами на транзисторах $VT1$, $VT2$. Напряжение +12 В подаётся на затвор транзистора $VT3$, чтобы он более полно открывался. Джемпер $XT1$ коммутирует питание в нагрузке Rw от источника +5 В или +3.3 В;

и) $DA1$ — это электронный ключ с регулируемым ограничением выходного тока. МК через линию порта с открытым стоком включает/выключает напряжение $+5V(OUT)$. Ограничение выходного тока (максимум 1.2 А) задаётся резистором $R3$ по формуле $I_x[\text{mA}] = 1376.4 / R3[\text{k}\Omega]$. При сопротивлении на схеме 2.70 кОм пороговое значение составляет 0.51 А

5.4.3. Генераторные узлы

На Рис. 5.21, а...в показаны схемы генераторных узлов с участием МК.

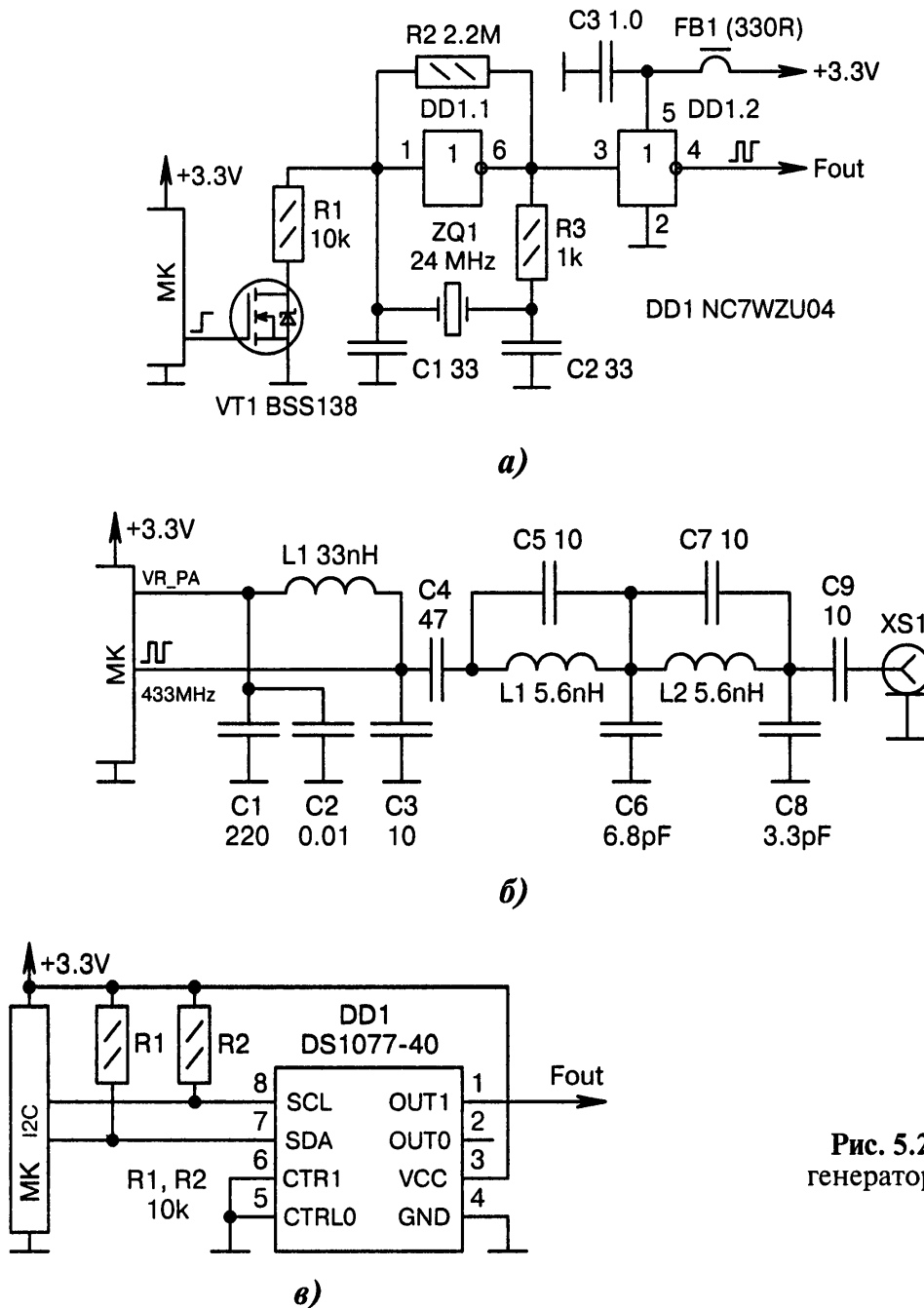


Рис. 5.21. Схемы генераторных узлов:

а) ВЫСОКИМ уровнем с выхода МК открывается транзистор *VT1* и останавливается работа задающего генератора с частотой 24 МГц, собранного на микросхеме *DD1*. Сигнал *Fout* можно использовать как внешний тактовый для других микросхем и узлов;

б) некоторые МК, например *MC12311* фирмы *NXP*, имеют управляемый выход ВЧ-сигнала в диапазоне 433 МГц. Сигнал перед подачей в антенну (разъём *XS1*) проходит через сложный полосовой фильтр, устраняющий гармоники вне полосы излучения. На выводе *VR_PA* устанавливается регулируемое постоянное напряжение, оптимизирующее выходную мощность;

в) *DD1* — это программируемый по шине I²C генератор импульсов с частотой от 4.87 кГц до 40 МГц. Точность настройки внутреннего RC-генератора составляет $\pm 0.5\%$, температурный дрейф $\pm 0.35\%$, ток потребления 15 мА. Последняя частота запоминается в EEPROM *DD1*

5.5. Силовая электроника

5.5.1. Механические и электронные реле

В отладочных платах реле обеспечивают гальваническую изоляцию внешних цепей. К МК они подключаются с минимальной обвязкой (Рис. 5.22, а...г).

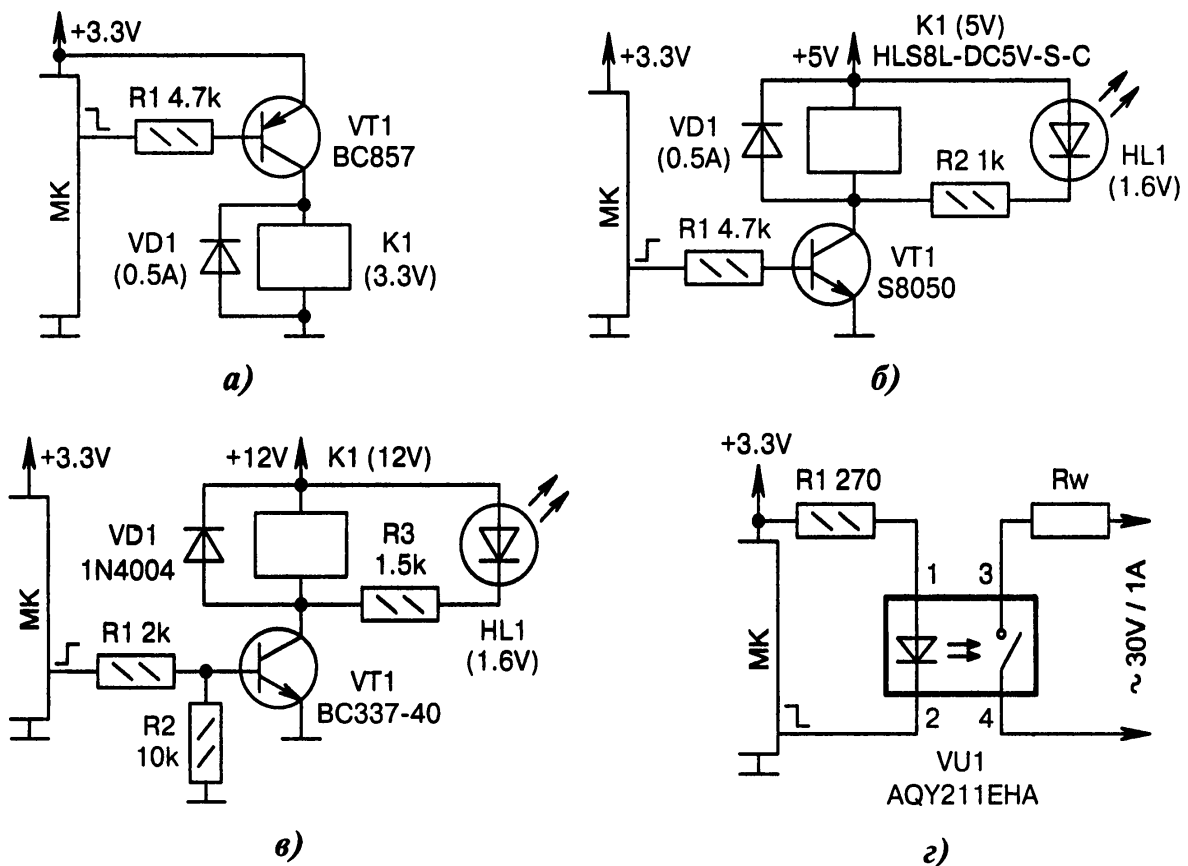


Рис. 5.22. Схемы подключения разных типов реле к МК:

а) рабочее напряжение реле $K1$ выбирается таким же, как и напряжение питания МК;

б) особенность — разное питание МК и реле $K1$, а также индикация включённого состояния реле при помощи светодиода $HL1$;

в) аналогично Рис. 5.22, б, но с более высоким напряжением питания реле $K1$ и с резистором $R2$, который не даёт срабатывать реле при начальном сбросе МК. Варианты: $R1 = 10k$, $R3 = 1k$, $VT1 = 2N2222$, $VD1 = 1N5817$;

г) $VU1$ — это твёрдотельное реле с оптическим барьером, допускающее нагрузку переменного или постоянного тока любой полярности на выводах $VU1:3$, $VU1:4$. Стандартный ток включения оптореле составляет 3 мА, выключения — 1.1 мА

5.6. Прочие схемы узлов вывода

На Рис. 5.23, а...о показаны прочие схемы узлов вывода МК, а именно нестандартные, необычные, одиночные и не поместившиеся в свои подразделы.

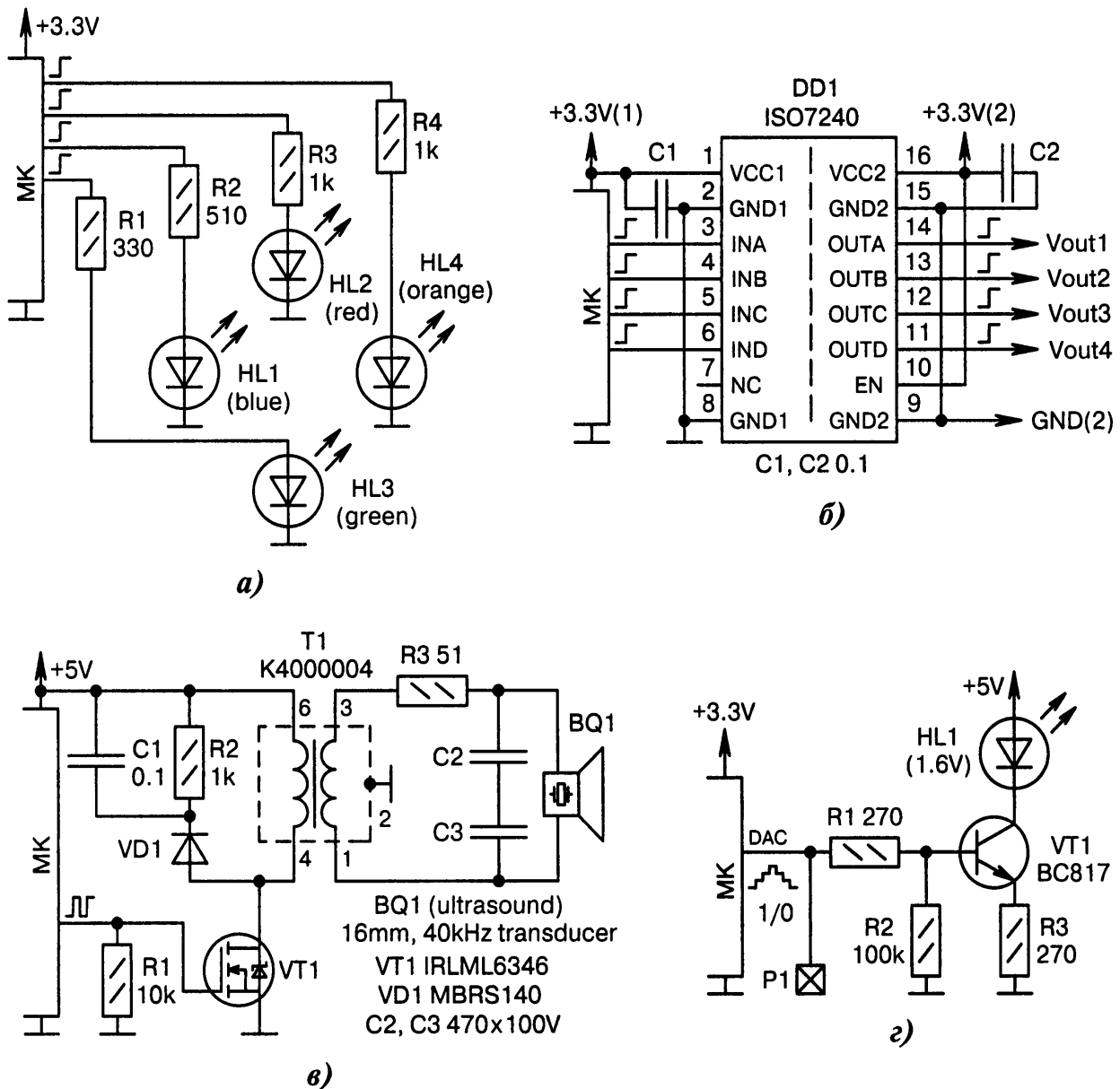


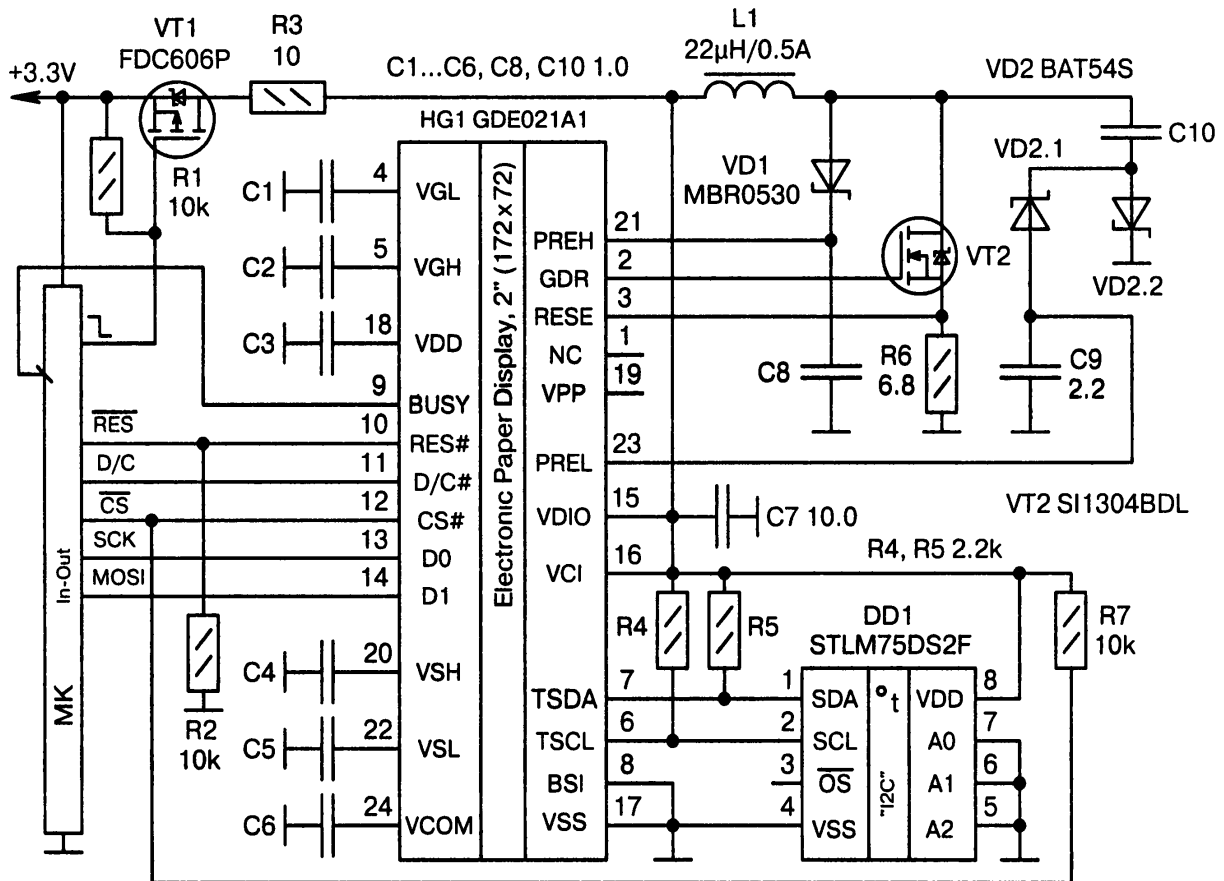
Рис. 5.23. Прочие схемы узлов вывода (начало):

а) разноцветная «крестовина» из светодиодов *HL1...HL4* указывает на четыре стороны света по двум перпендикулярным направлениям. Резисторы *R1...R4* имеют разные сопротивления, чтобы обеспечить примерно одинаковую яркость свечения индикаторов;

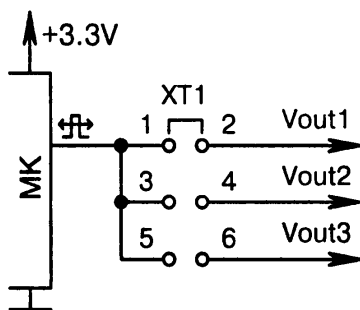
б) *DD1* — это неинвертирующий изолятор цифровых сигналов с кремниевым барьером. Скорость передачи данных до 25 Мбит/с. Конденсаторы *C1, C2* согласно даташиту должны соединяться с выводами *DD1* проводниками длиной не более 2 мм;

в) ультразвуковой излучатель *BQ1* и трансформатор *T1* настроены на одинаковую резонансную частоту 40 кГц. На выходе МК тоже формируются импульсы с частотой 40 кГц для достижения максимальной мощности излучения *BQ1*. Элементы *VD1, C1, R2* демпфируют первичную обмотку трансформатора *T1* и снижают выбросы напряжения;

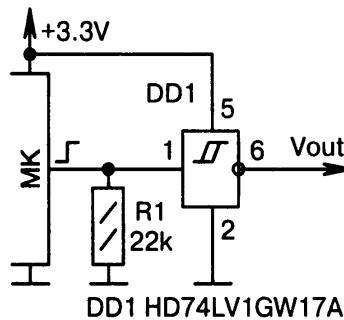
г) светодиод *HL1* является индикатором амплитуды сигнала ЦАП с выхода МК. Чем больше яркость, тем больше амплитуда. Усилитель на транзисторе *VT1* имеет высокое входное сопротивление, что позволяет выводить сигнал ЦАП на контакт *P1* без снижения амплитуды. Если линию МК настроить как обычный цифровой выход, то светодиод *HL1* превращается в дискретный двоичный индикатор: «светится» (ВЫСОКИЙ уровень) и «не светится» (НИЗКИЙ уровень); ☹



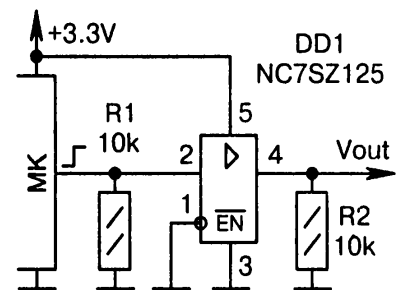
д)



е)



ж)



з)

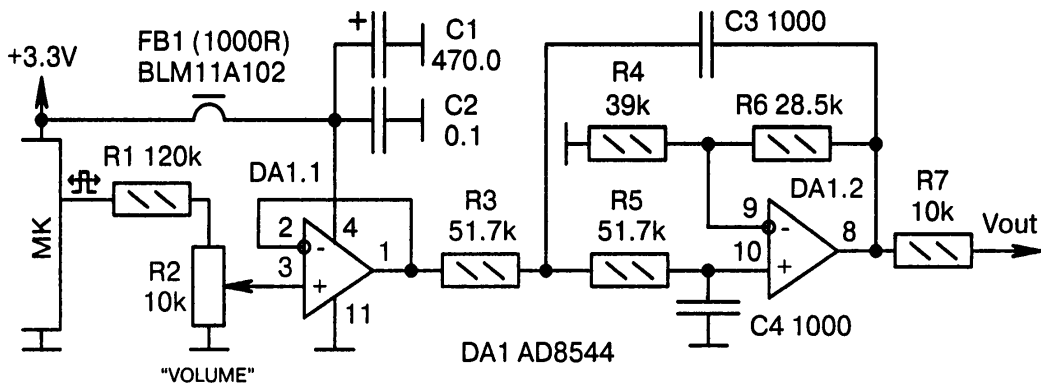
Рис. 5.23. Прочие схемы узлов вывода (продолжение):

д) *HG1* — это электрофоретический индикатор, по-другому, «электронные чернила», «электронная бумага» [5-6]. Конденсаторы *C1...C6* служат для «накачки» заряда. Индикатор включается НИЗКИМ уровнем с выхода МК. Элементы, находящиеся справа от индикатора, входят в типовую схему включения согласно даташиту. Напряжение питания 2.4...3.3 В, ток в режиме покоя 5...50 мкА, в режиме операции 8 мА. Индикатор корректирует свою работу в зависимости от температуры воздуха, для чего предназначен отдельный цифровой термодатчик *DD1*;

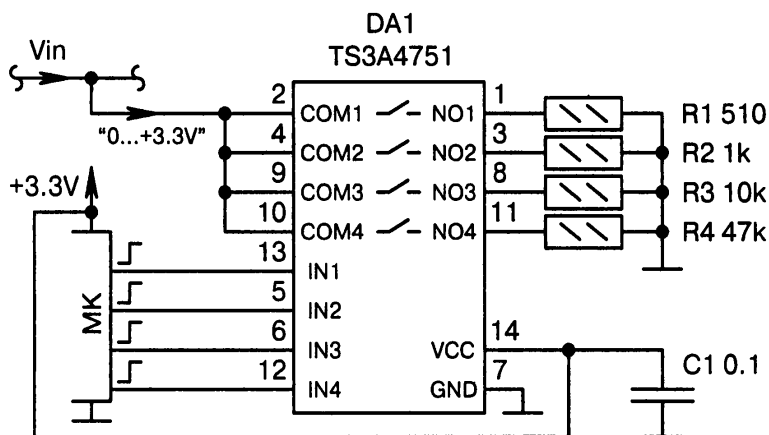
е) джампером *XT1* можно подавать сигнал с выхода МК на три разных направления;

ж) особенность — резистор «pull-down» на входе буферного триггера Шмитта *DD1*;

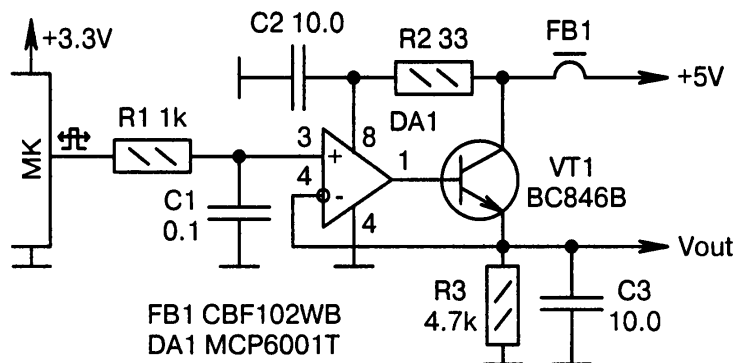
з) микросхема *DD1* (корпус SOT-23/5) служит повторителем цифрового сигнала. Резисторы *R1*, *R2* снижают «звон» на фронтах импульсов, что актуально при большом удалении микросхемы *DD1* от МК и от внешней нагрузки; ●



и)



к)



л)

● Рис. 5.23. Прочие схемы узлов вывода (продолжение):

и) схема выделения частоты модуляции из сигнала ШИМ: *DA1.1* — это повторитель напряжения, *DA1.2* — интегральный фильтр Чебышева второго порядка с частотой среза ФНЧ 6 кГц;

к) переменная резистивная нагрузка *R1...R4* подключается к цепи *Vin* с помощью транзисторных ключей микросхемы *DA1*. Последние открываются независимо друг от друга ВЫСОКИМИ уровнями с четырёх выходов МК. Длительно допустимый постоянный ток через один ключ не более 100 мА. Сопротивление одного ключа в открытом состоянии составляет 0.7 Ом, неидентичность сопротивлений ключей между собой не более 0.03 Ом;

л) изменяющиеся по скважности ВЧ-импульсы с выхода МК преобразуются в пропорциональное постоянное напряжение *Vout* за счёт фильтров *R1, C1, R3, C3*. Выход устройства защищён от КЗ, поскольку имеется обратная связь с эмиттера транзистора *VT1* на вход ОУ *DA1*; ●

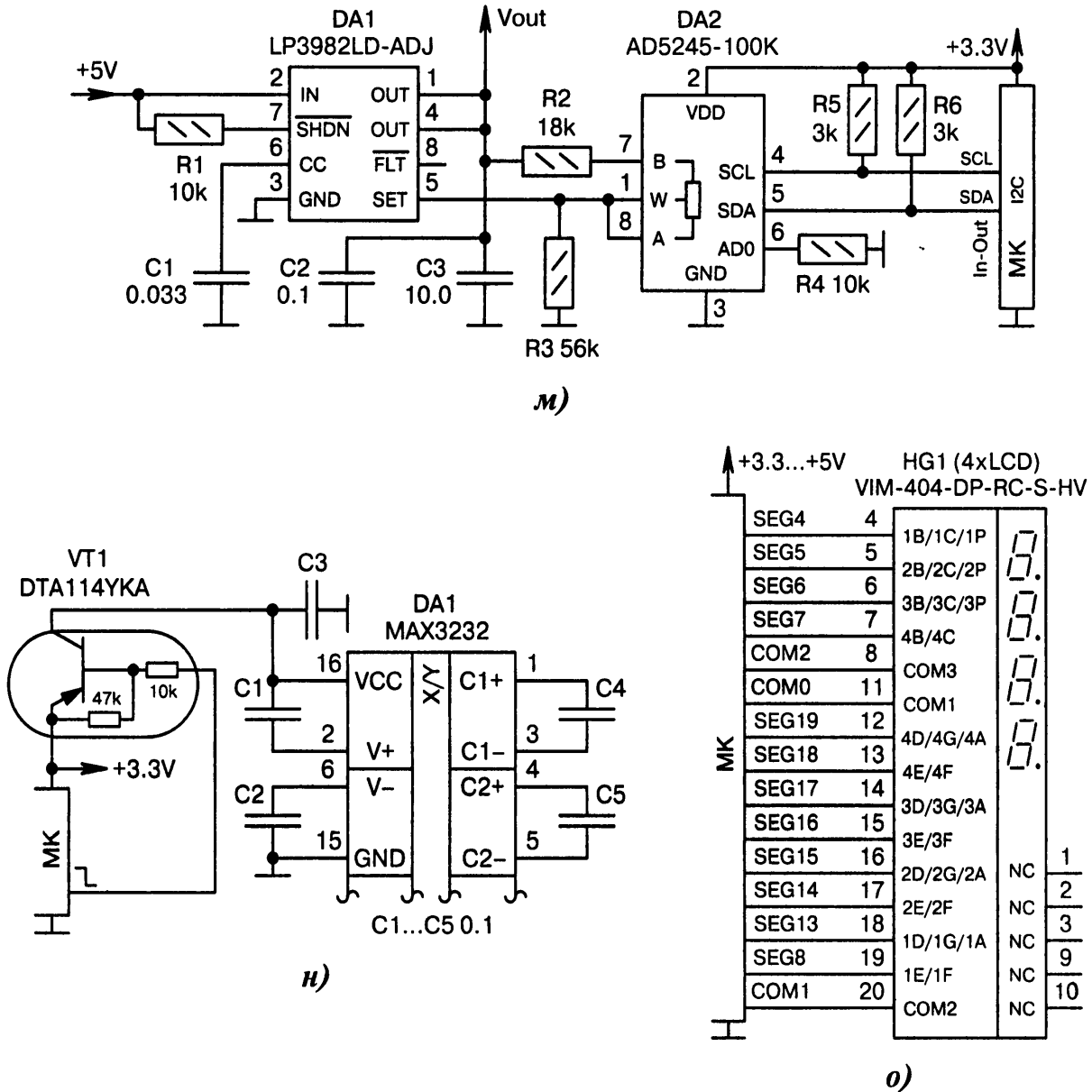


Рис. 5.23. Прочие схемы узлов вывода (окончание):

м) напряжение V_{out} регулируется программным способом при помощи «цифрового» потенциометра $DA2$. Его внутреннее переменное сопротивление включается в цепь обратной связи обычного стабилизатора напряжения $DA1$. Если соединить между собой выводы $DA2:2$ и $DA2:6$, то можно изменить логический адрес потенциометра на шине I²C;

н) $DA1$ — это низковольтный драйвер интерфейса RS-232. МК через «цифровой» транзистор $VT1$ включает/выключает питание драйвера. Выключение микросхемы $DA1$ полезно для экономии энергии, а также для устранения импульсных помех, которые она генерирует в цепь питания +3.3V от своего внутреннего «конденсаторного» DC/DC-преобразователя;

о) $HG1$ — это четырёхместный 7-сегментный ЖКИ с десятичными точками. Управление ведётся методом мультиплексирования, когда разные группы сегментов активируются многоуровневыми сигналами $COM1...COM3$. МК должен поддерживать на аппаратном уровне интерфейс подключения многоместных ЖКИ, например как в Zilog S3F8S5A

Список использованных источников и литературы к главе 5

- 5-1. Гавриков, В. Управление дисплеями: микроконтроллеры STM8L со встроенным ЖКИ-интерфейсом / Вячеслав Гавриков // Новости электроники. — 2014. — № 2. — С. 34-40.
- 5-2. Chip-On-Glass (COG) for LCD modules [Электронный ресурс] / NXP, 2012. — Режим доступа: http://www.nxp.com/documents/white_paper/NXP_COG_WhitePaper.pdf (англ.). — 14.04.2017.
- 5-3. Подключение цветного LCD с сенсорным экраном к микроконтроллеру [Электронный ресурс] / «@32bit_me», 2012. — Режим доступа: <https://geektimes.ru/post/257210/>. — 14.04.2017.
- 5-4. Технологии ЖК-панелей [Электронный ресурс] / Максим Проскурня, 2016. — Режим доступа: <http://lcdtech.info/data/lcd.technologies.htm>. — 14.04.2017.
- 5-5. PMOLED (Passive Matrix OLED): introduction and basics [Электронный ресурс] / OLED-Info, 2017. — Режим доступа: <http://www.oled-info.com/pmoled> (англ.). — 14.04.2017.
- 5-6. Конструкция E-ink экрана [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://e-ink-reader.ru/e-ink_technology.html. — 14.04.2017.

СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННЫХ УЗЛОВ ВВОДА/ВЫВОДА

*Два против одного составляют войско.
(Лакская поговорка)*

6.1. Измерительные узлы

На входы МК при проведении измерений поступают аналоговые и цифровые сигналы, при этом они могут стробироваться через свои же выходные порты. Такая комбинированная работа имеет ряд преимуществ (Рис. 6.1, а...г).

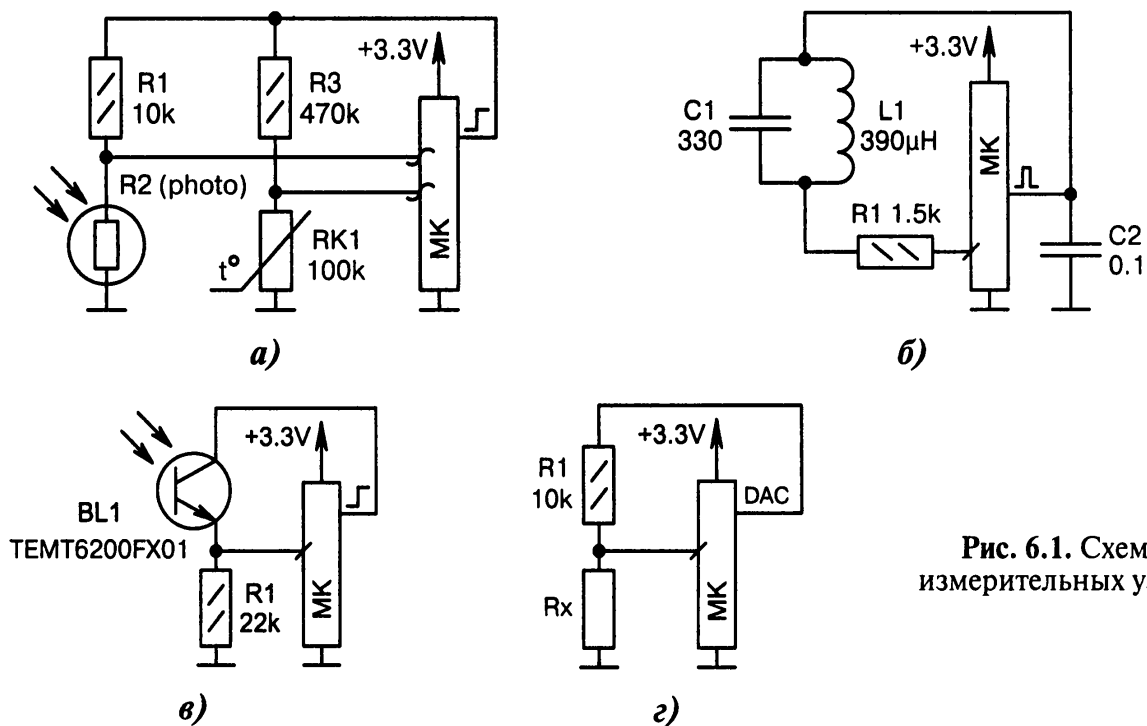


Рис. 6.1. Схемы измерительных узлов:

а) от одной выходной линии МК получают питание два датчика (можно больше). В данном случае это датчики освещённости $R2$ и температуры $RK1$. Достоинство — экономия энергии;

б) индуктивно-ёмкостный датчик ближнего действия. На выходе МК формируется импульс, которым возбуждаются затухающие колебания в контуре $L1, C1$. МК принимает этот сигнал через линию входа и измеряет время затухания колебаний, которое будет изменяться при поднесении к катушке $L1$ металлического предмета на близкое расстояние;

в) датчик освещённости на SMD-фототранзисторе $BL1$ (типоразмер 0805) активируется ВЫСОКИМ уровнем с выхода МК. Длина волны 450...610/910 нм, темновой ток 50 нА;

г) регулируя напряжение ЦАП, можно сузить/расширить диапазон измерения датчика Rx

6.2. Схемы узлов с обратной связью

Обратная связь — это в равной мере как техническое, так и философское понятие. Без обратной связи невозможно добиться устойчивого функционирования аппаратуры. Без неё же нельзя построить социально ориентированное общество. И в том, и в другом случаях необходимо постоянно корректировать свои действия, подстраиваясь под изменяющиеся обстоятельства. Микроконтроллерные узлы не исключение, и они тоже нуждаются в обратной связи (Рис. 6.2, а...в).

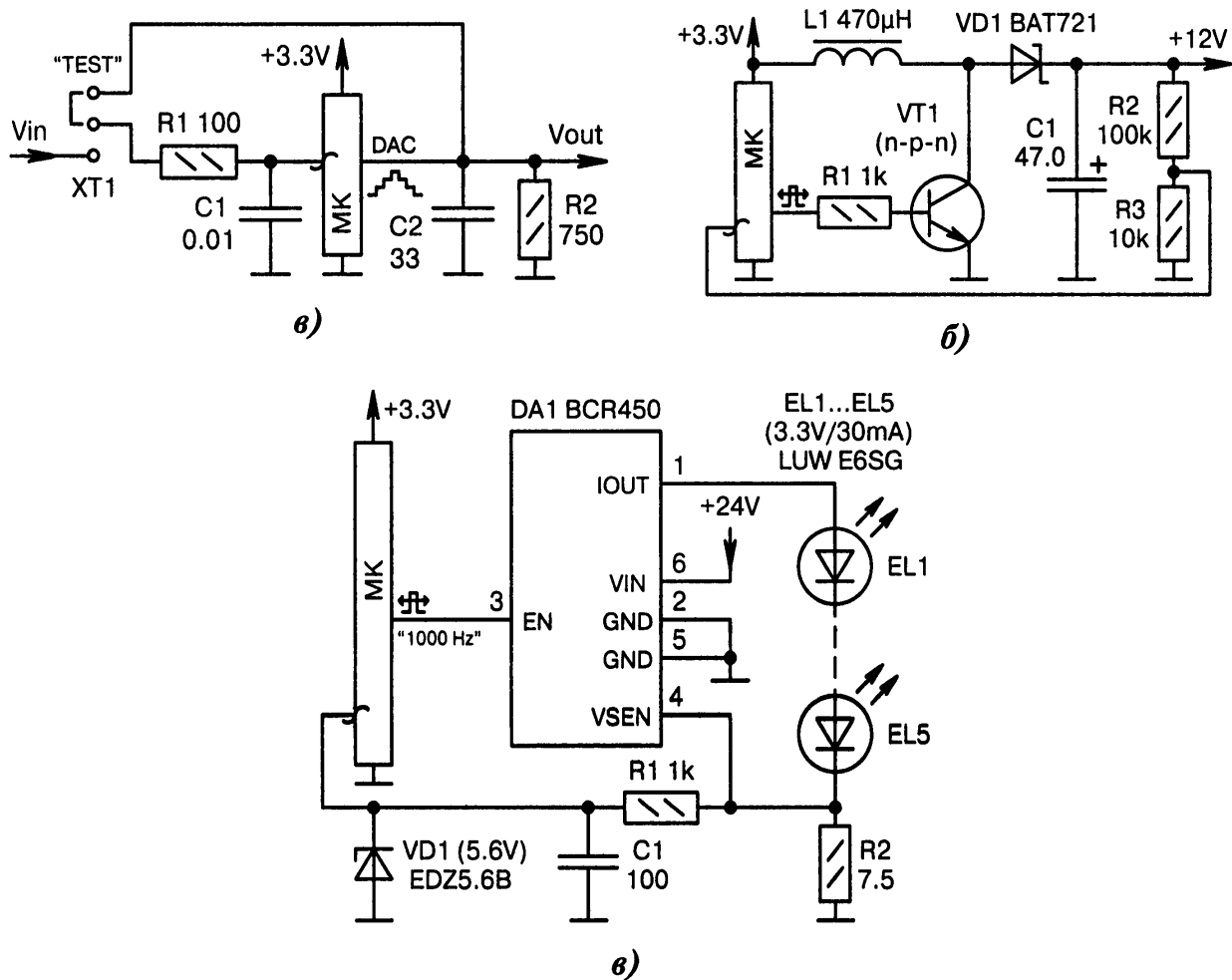


Рис. 6.2. Схемы узлов с обратной связью:

а) если джампер *XT1* установлен в нижнее положение, то на вход АЦП МК поступает сигнал *Vin*, а на выходе ЦАП генерируется сигнал *Vout*. В верхнем положении джампера *XT1* организуются тестовый заворот и измерение реального уровня сигнала ЦАП через канал АЦП;

б) маломощный источник высокого напряжения +12 В, используемый для программирования AVR- и PIC-контроллеров. Ключ на транзисторе *VT1* открывается с частотой несколько десятков кГц. Выходное напряжение регулируется скважностью импульсов ШИМ. Обратная связь осуществляется через делитель напряжения на резисторах *R2*, *R3* и канал АЦП;

в) *DA1* — это генератор постоянного тока для сверхъярких светодиодов *EL1...EL5*. Ток через светодиоды зависит от скважности импульсов ШИМ с выхода МК и сопротивления резистора *R2*. Ток не должен превышать 90 мА. Сигнал обратной связи через фильтр *R1*, *C1* поступает в МК, где после оцифровки дается команда подстройки в ту или иную сторону скважности импульсов ШИМ. Стабилитрон *VD1* защищает МК при аварии от всплесков высокого напряжения

6.3. Двухнаправленное прохождение сигналов

На Рис. 6.3, а...е показаны схемы, обеспечивающие многоканальное двухнаправленное прохождение цифровых сигналов между МК и внешним миром.

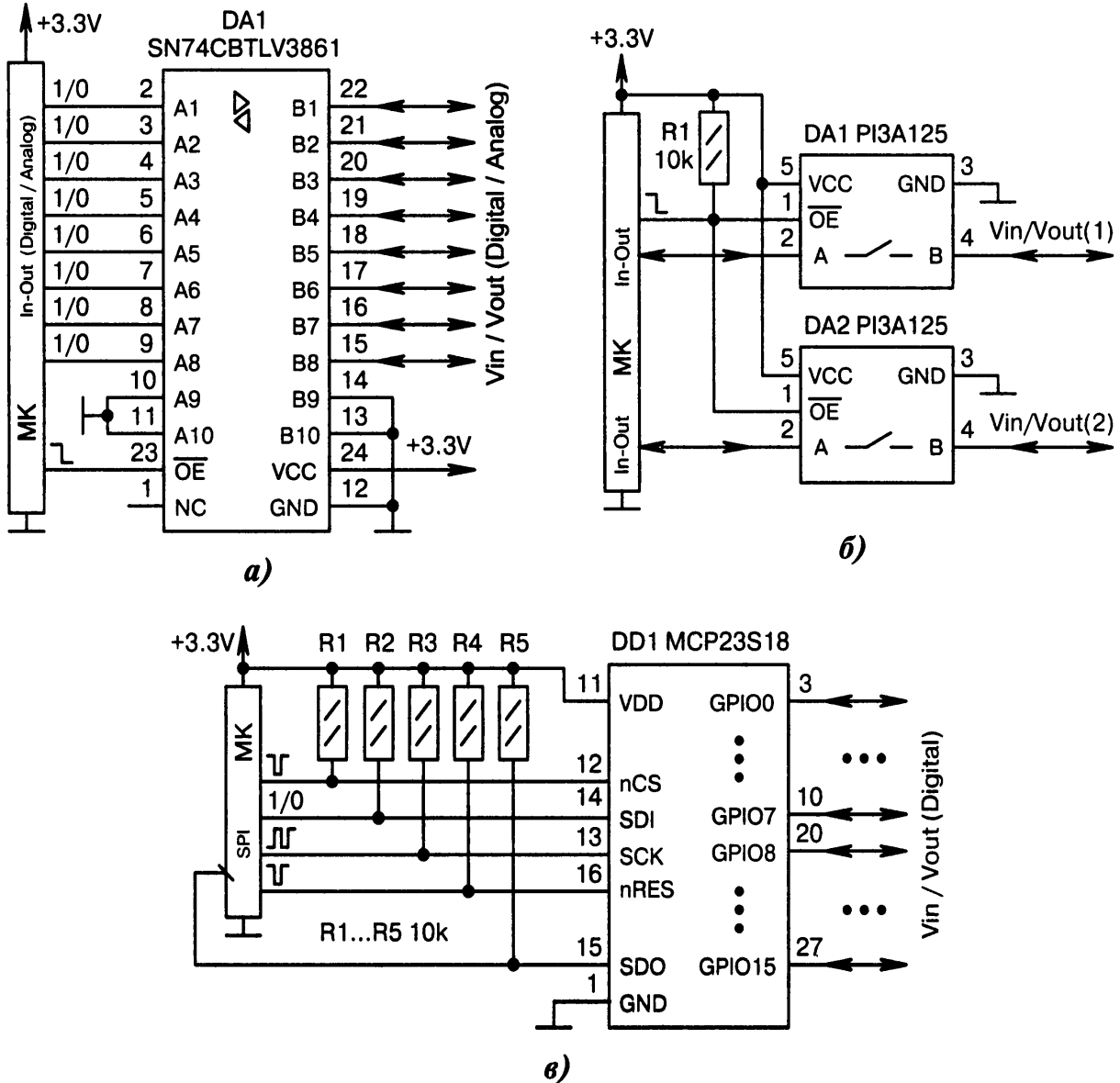


Рис. 6.3. Схемы двухнаправленного прохождения цифровых сигналов (начало):

а) двухнаправленные ключи в микросхеме *DA1* имеют сопротивление не более 5 Ом в открытом состоянии. Не задействованные в работе выходы *A9*, *A10*, *B9*, *B10* микросхемы *DA1* для снижения помех и наводок соединяются с общим проводом;

б) двухнаправленная передача данных разрешается НИЗКИМ уровнем с верхнего выхода МК. Управление осуществляется синхронно в двух каналах. Сопротивление ключей в микросхемах *DA1*, *DA2* составляет 6 Ом, максимальная частота 250 МГц. Резистор *R1* закрывает ключи во время сброса МК. Если нужно, чтобы ключи открывались во время сброса, то верхний вывод резистора *R1* следует отключить от питания и соединить с общим проводом *GND*;

в) *DD1* — это расширитель цифровых портов, управляемый по шине SPI с тактовой частотой до 10 МГц. Выходы *GPIO0*...*GPIO15* микросхемы *DD1* имеют открытые стоки с допустимой нагрузкой 25 мА. Входы *GPIO0*...*GPIO15* имеют «pull-up» резисторы сопротивлением 50 кОм; ☹

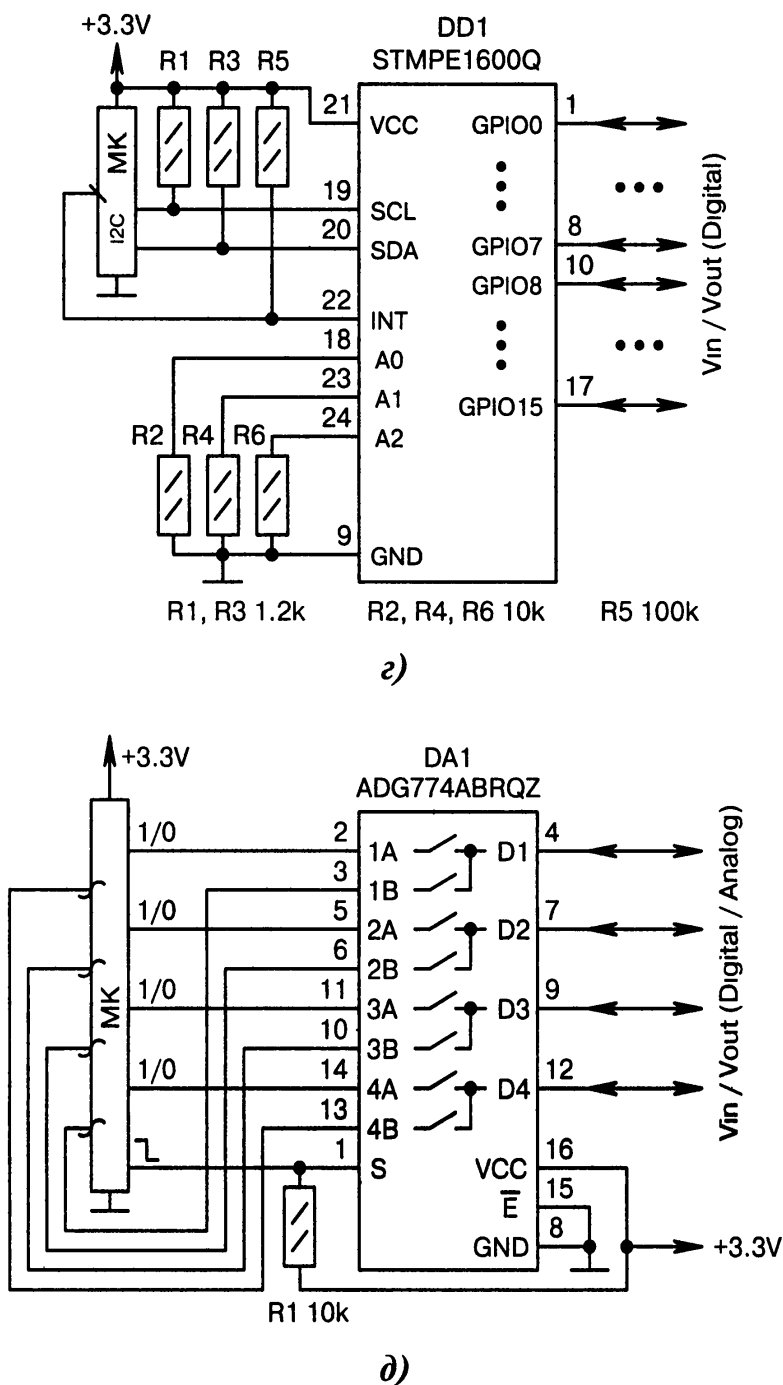


Рис. 6.3. Схемы двунаправленного прохождения цифровых сигналов (продолжение):

г) *DD1* — это расширитель 16 цифровых портов с управлением по шине I²C. Ток нагрузки каждой линии не должен превышать 8 мА. Выход *INT* можно использовать для программируемых оповещений. Резисторы *R2*, *R4*, *R6* задают логический адрес микросхемы *DD1* на общей шине. Для изменения адреса можно соединить верхние выводы резисторов *R2*, *R4*, *R6* с питанием +3.3 В. Варианты: *DD1* = CAT9554YI (8 входов/выходов), *R1* = *R3* = 1k, *R5* = 10k;

д) в микросхеме *DA1* содержатся двунаправленные ключи на полевых транзисторах, которые подключают цепи *D1...D4* к линиям *1A...4A* (выходы МК) и *1B...4B* (входы МК). Для коммутации режимов «вход–выход» используется логический уровень с нижней линии МК. Входные и выходные сигналы МК могут быть как цифровые двухуровневые, в том числе ШИМ, так и аналоговые, подаваемые на АЦП и снимаемые с ЦАП; ☹

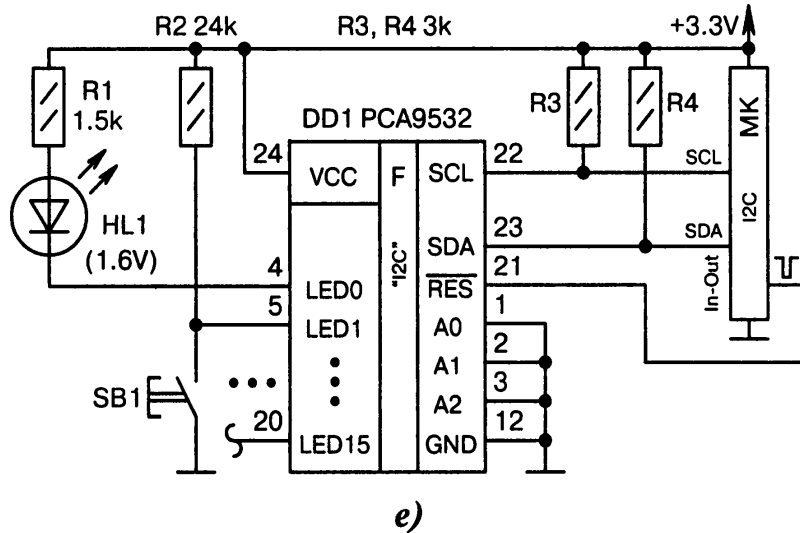


Рис. 6.3. Схемы двухнаправленного прохождения цифровых сигналов (окончание):

е) *DD1* — это расширитель цифровых портов с интерфейсом I²C, оптимизированный для диммирования светодиодов (плавного регулирования их яркости [6-1]). Поскольку расширитель портов *DD1* двухнаправленный, то к линиям *LED0...LED15* могут подключаться не только светодиоды, но и кнопки, например *SB1*. Определение входов и выходов производится программно

6.4. Двухнаправленные конвертеры уровней

Проблему согласования логических уровней гипотетически можно было бы решить раз и навсегда, если перевести все электронные устройства на единый стандарт напряжения питания. Однако пока это фантастика. Ещё долгое время будут находиться в эксплуатации микросхемы (устройства, платы, датчики), рассчитанные на разные логические уровни сигналов.

Двухнаправленные конвертеры уровней имеют свои особенности. Их можно выполнить на полевых и биполярных транзисторах, на одно- и многоканальных буферных микросхемах. Конвертеры уровней бывают гальванически изолированными (Рис. 6.4, а...в) и гальванически не изолированными (Рис. 6.5, а...з).

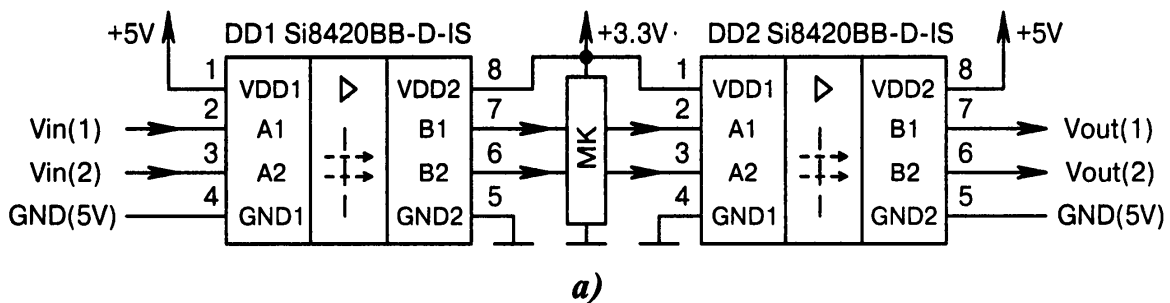
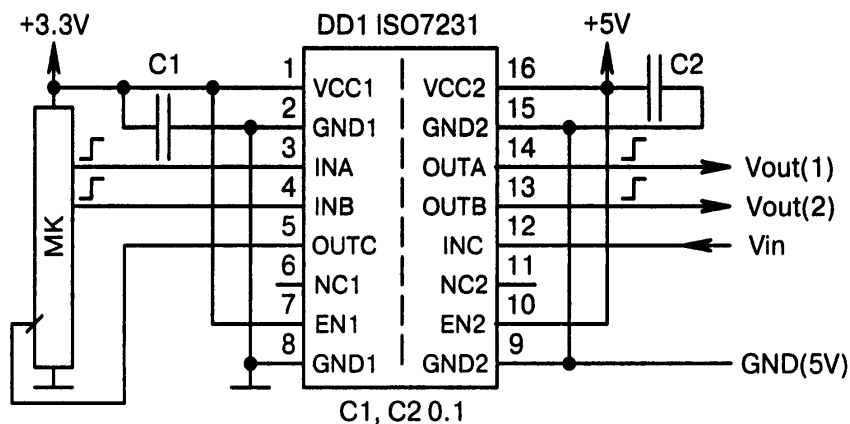
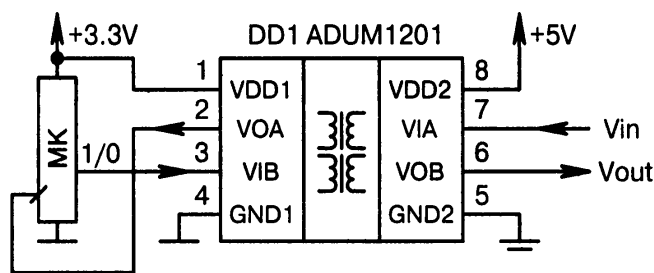


Рис. 6.4. Схемы гальванически изолированных двухнаправленных конвертеров уровней (начало):

а) конвертор логических уровней выполнен на «цифровых изоляторах» *DD1*, *DD2*. Скорость передачи данных до 150 Мбит/с, прочность изоляции 5 кВ. Источники питания +3.3 В и +5 В могут быть как с разобщёнными, так и с общими «землями»;



б)

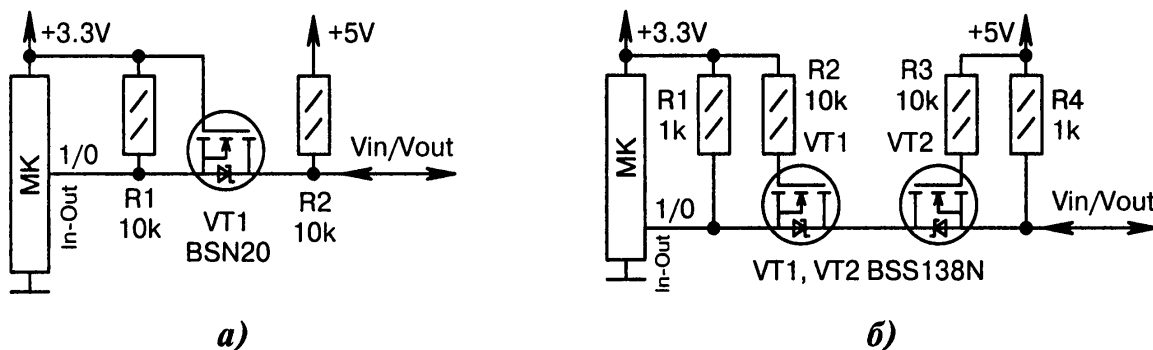


в)

Рис. 6.4. Схемы гальванически изолированных двунаправленных конверторов уровней (окончание):

б) *DD1* — это трёхканальный «цифровой изолятор», выполненный по технологии ёмкостного изолирующего барьера [6-2]. Имеются два канала в одну и один канал в другую сторону. Скорость передачи данных в зависимости от типа микросхемы *DD1* составляет 25 или 150 Мбит/с;

в) *DD1* — это двухканальный изолятор цифровых сигналов с внутренней трансформаторной развязкой. Скорость передачи данных до 25 Мбит/с



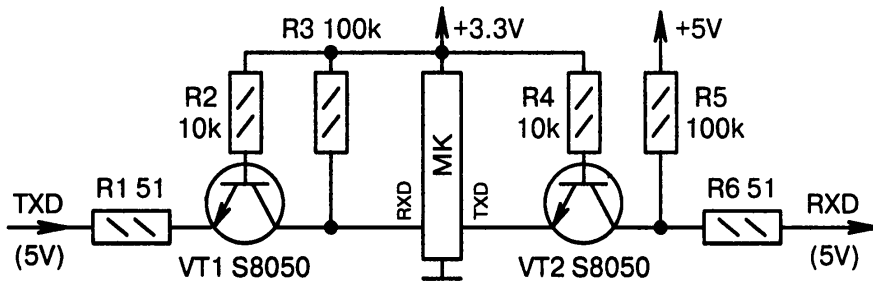
а)

б)

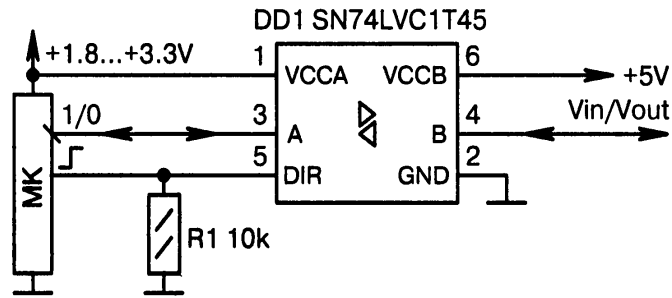
Рис. 6.5. Схемы двунаправленных конверторов уровней (начало):

а) двунаправленное согласование уровней 3.3/5 В на полевом транзисторе *VT1* и нагрузочных резисторах *R1*, *R2*. Варианты: $R1 = R2 = 4.7k$, питание +2.8 В вместо +3.3 В;

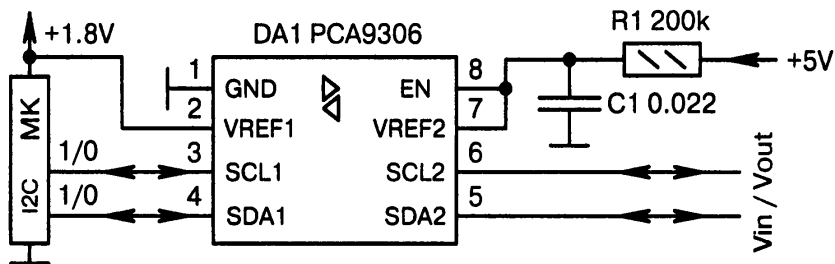
б) два встречно включённых транзистора *VT1*, *VT2* обеспечивают полную развязку сигналов при пропадании одного из питающих напряжений. Если соединяются два МК, то резисторы *R1* и *R4* можно заменить встроенными «pull-up» резисторами; ☉



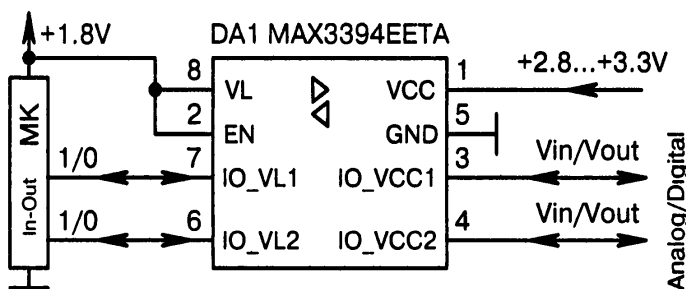
б)



в)



г)



д)

Рис. 6.5. Схемы двухнаправленных конвертеров уровней (продолжение):

в) аналогично Рис. 6.5, б, но на биполярных транзисторах;

г) согласование логических уровней 1.8...3.3/5 В. Направление передачи данных зависит от сигнала на нижнем выходе МК: из «А» в «В» (ВЫСОКИЙ), из «В» в «А» (НИЗКИЙ). Резистор $R1$ может отсутствовать. Он задаёт направление из «В» в «А» при сбросе МК. Варианты: $R1 = 100k$; $DD1 = TXS0101$; $DD1 = SN74LVC2T45DCU$ (2 канала); $DD1 = 74LVC8T245PW$ (8 каналов, инверсный сигнал переключения \overline{OE} вместо DIR);

д) микросхема $DA1$ согласует уровни сигналов интерфейса I²C (можно и обычных сигналов) на частоте до 400 кГц. Внутри $DA1$ содержатся два ключа на полевых транзисторах с сопротивлением каналов 1...140 Ом, что зависит от напряжений $VREF1$, $VREF2$. Варианты: $DA1 = GTL2002$;

е) внутри микросхемы $DA1$ размещаются два полевых транзистора и четыре резистора по аналогии с Рис. 6.5, б. Именно из-за этого микросхема обозначается как $DA1$, а не $DD1$; ☉

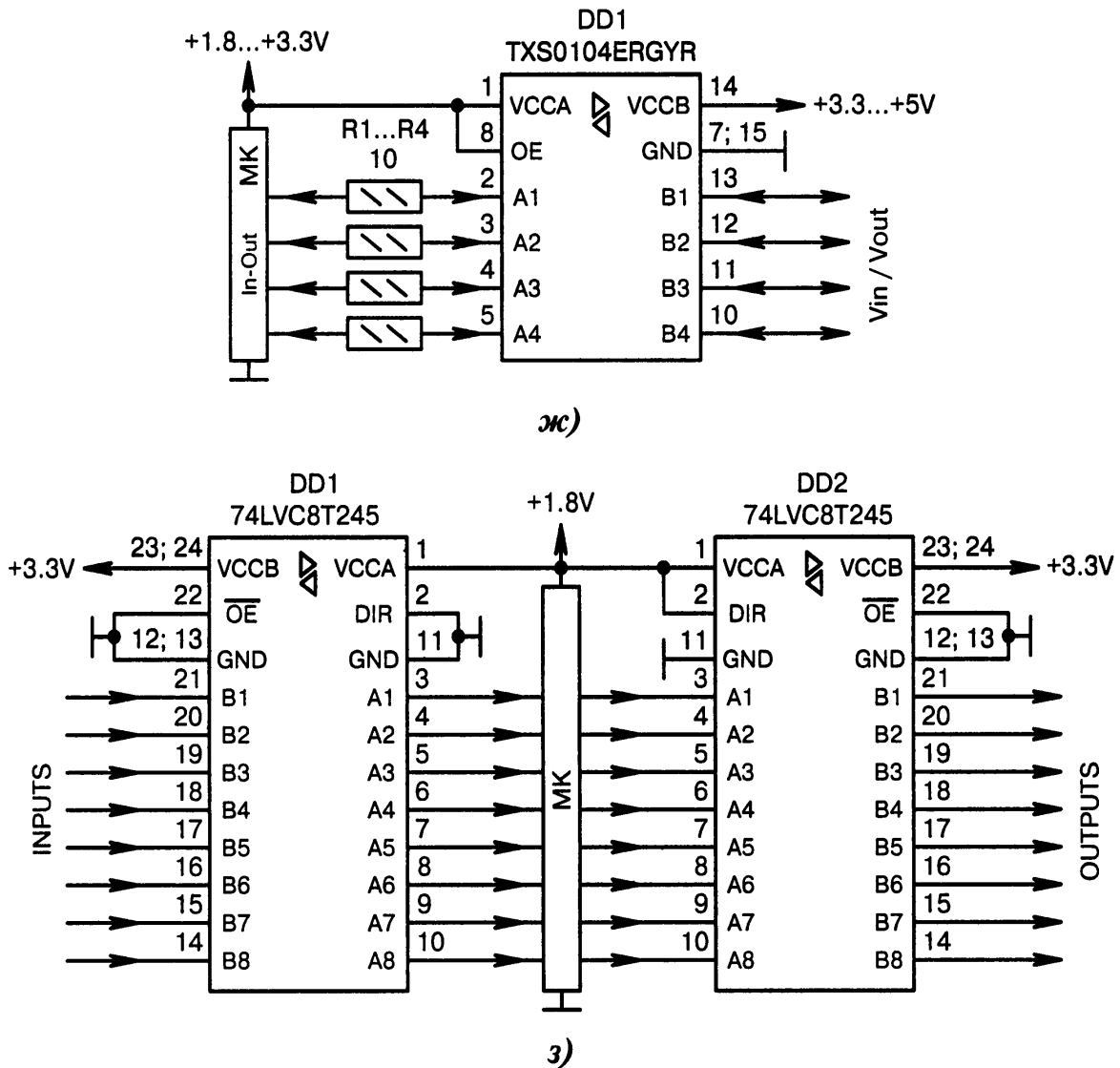


Рис. 6.5. Схемы двунаправленных конверторов уровней (окончание):

ж) микросхема *DD1* рассчитана на передачу цифровых (и только) сигналов. Антизвонные резисторы $R1...R4$ сглаживают форму импульсов. Варианты: *DD1* = TXS0102DCUR (2 канала); *DD1* = TXS0108EPW (8 каналов); между выводами *DD1:8* и *DD1:1* устанавливается резистор сопротивлением 10 кОм, что позволяет при необходимости отключать буферные элементы соединением выводов *OE* и *GND* микросхемы *DD1*;

з) направление передачи цифровых данных в буферных логических микросхемах *DD1*, *DD2* определяется уровнем на входе *DIR*: из «А» в «В» (ВЫСОКИЙ), из «В» в «А» (НИЗКИЙ). Варианты: *DD1* = SN74LVC2T45DCUT (2 канала); *DD1* = SN74LVC16T245DGGR (16 каналов)

6.5. Опрос тастатуры

Тастатура представляет собой набор кнопок, расположенных квадратной или прямоугольной матрицей. Используется в телефонных номеронабирателях и контрольно-испытательной аппаратуре [6-3]. Тастатуру, как правило, устанавливают на самодостаточные отладочные платы, позволяющие вводить данные и их же отображать на экране табло в автономном режиме, т. е. без компьютера.

Кнопки тастатуры содержат цифры от 0 до 9, вспомогательные символы, а также латинские буквы. Схемные решения подключения тастатуры к МК можно использовать и для обычных кнопок и переключателей. В частности, кнопки, изображённые на Рис. 6.6, а, б, физически могут размещаться в одну длинную линию или объединяться в два-три компактных блока.

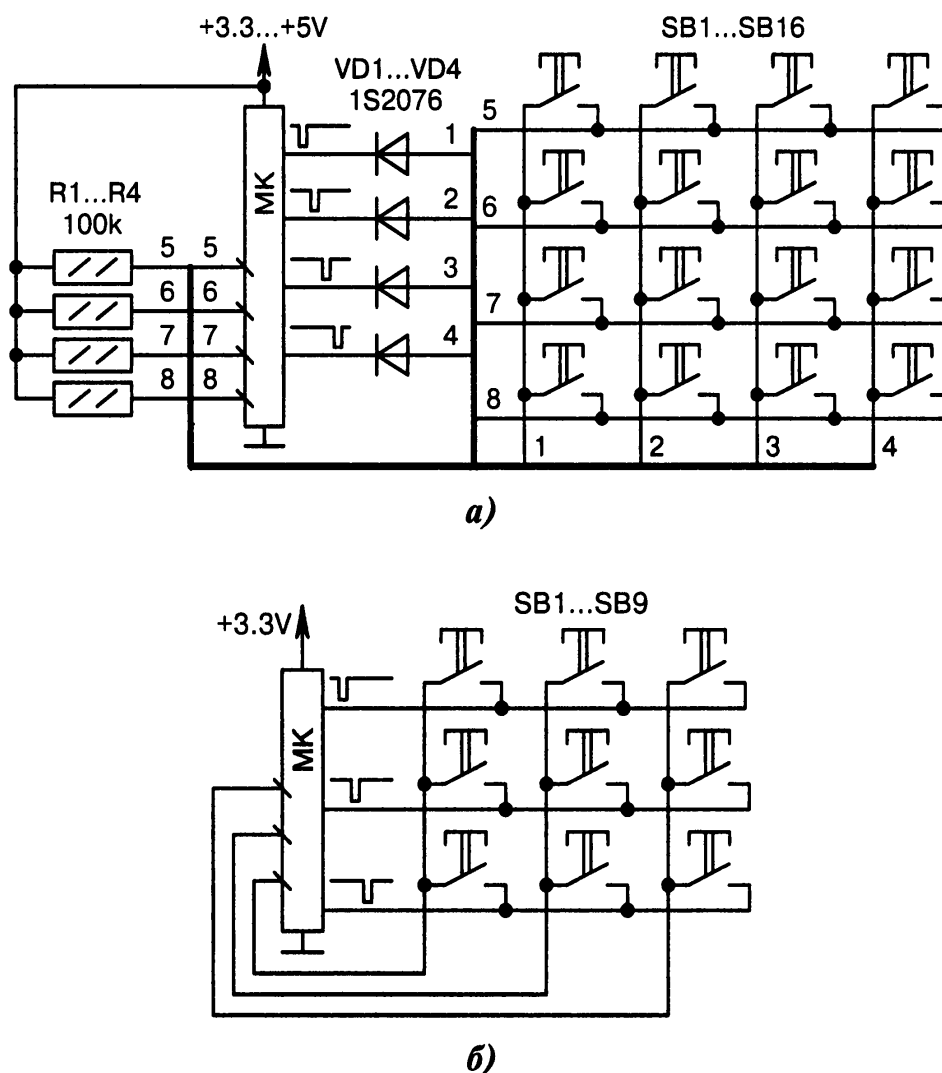


Рис. 6.6. Схемы опроса тастатуры с использованием входов и выходов МК:

а) опрос тастатуры, состоящей из 16 кнопок $SB1...SB4$, производится «бегущими» нулями с четырёх выходов МК. Резисторы $R1...R4$ поддерживают ВЫСОКИЕ уровни на входах МК. Нажатие одной кнопки приводит к появлению НИЗКОГО уровня на соответствующем входе. Диоды $VD1...VD4$ не дают соединиться линиям МК при нажатии нескольких кнопок одновременно;

б) аналогично Рис. 6.6, а, но максимально просто и без защиты от одновременного нажатия кнопок, расположенных в вертикальных столбцах (линии МК будут соединяться друг с другом)

6.6. Прочие схемы узлов ввода/вывода

На Рис. 6.7, а...г показаны электрические схемы узлов ввода/вывода, которые полезны для практики, но не попали по разным причинам в свои подразделы.

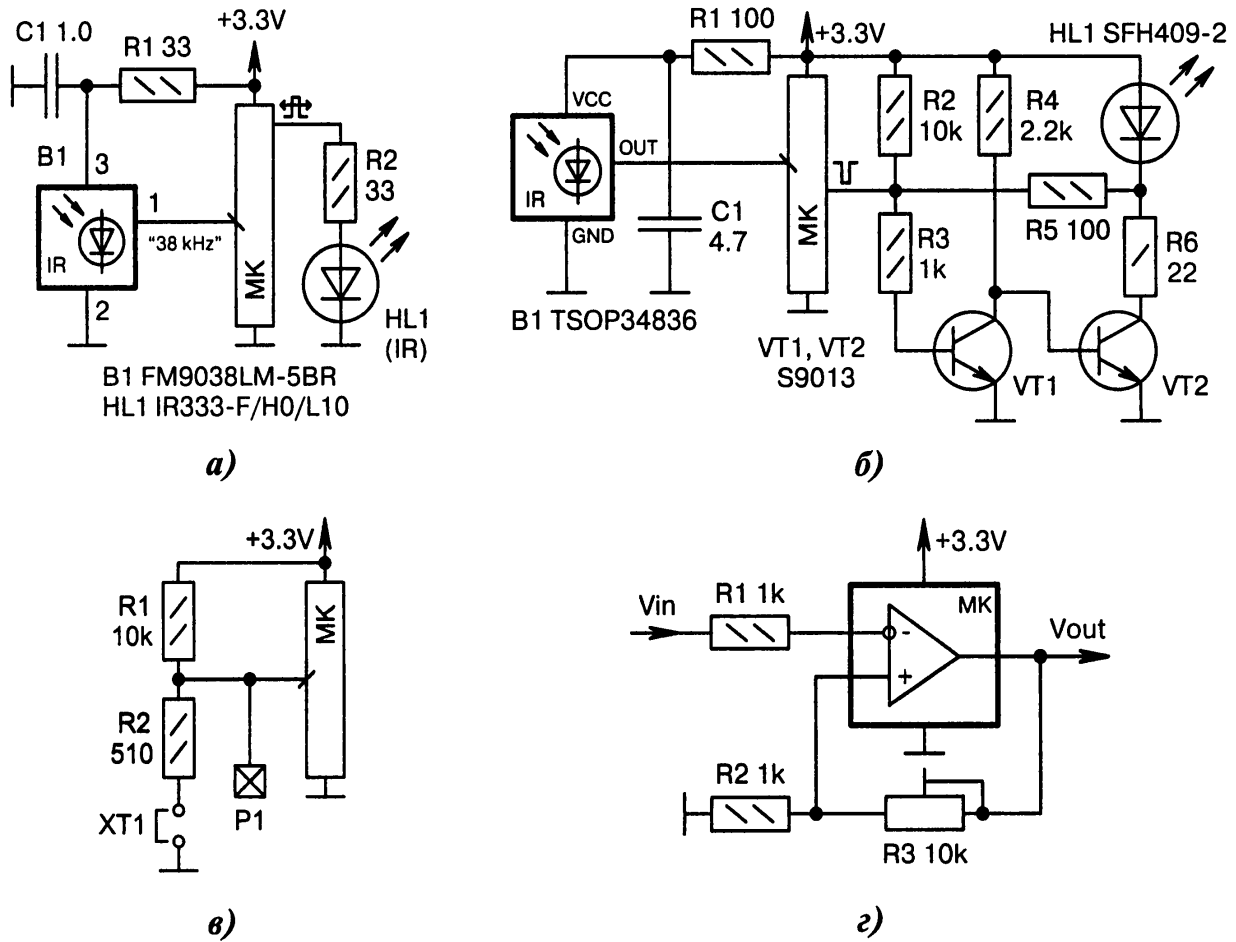


Рис. 6.7. Прочие схемы узлов ввода/вывода:

а) ИК-трансивер состоит из приёмника *B1* (частота модуляции 38 кГц) и передатчика *HL1* (ШИМ-сигнал 38 кГц, ток не более 100 мА). Частоту модуляции выходного сигнала можно устанавливать отличной от 38 кГц, например 30, 33, 36, 37, 40 или 56 кГц [6-4], тогда устройство из повторителя (усилителя, удлинителя) превращается в частотный конвертер ИК-сигналов;

б) аналогично Рис. 6.7, а, но с другой схмотехникой ИК-трансивера. *B1* — это интегральный фотомодуль, настроенный на приём импульсов с частотой заполнения 36 кГц. *HL1* — это излучающий ИК-диод, импульсный ток через который определяется резистором *R6*. Резистор *R5* служит для повышения быстродействия. Он обеспечивает начальный ток при НИЗКОМ уровне на выходе МК и разряжает ёмкость диода при его ВЫСОКОМ уровне;

в) если линия МК находится в режиме входа, то джампером *XT1* можно устанавливать на ней НИЗКИЙ/ВЫСОКИЙ логический уровень. Если линия МК находится в режиме выхода, то сигнал генерируется на внешний контакт *P1*. Поскольку резистор *R2* имеет достаточно большое сопротивление, то в режиме выхода МК при замкнутом джампере *XT1* он практически не подсаживает порт;

г) пример использования аналоговых входов и выходов для МК, который содержит внутренний ОУ. Входное напряжение *V_{in}* должно быть положительным и не превышать напряжения питания, т. е. должно укладываться в диапазон 0...+3.3 В. Коэффициент усиления ОУ регулируется резистором *R3* в пределах 1...11. Формула для расчёта выходного напряжения в зависимости от входного $V_{out}[B] = V_{in}[B] \cdot (1 + (R3[кОм] / R2[кОм]))$

Список использованных источников и литературы к главе 6

- 6-1. Диммирование мощных светодиодов [Электронный ресурс] / «asdus», 2013. — Режим доступа: <http://forum.sxem.net/index.php?/topic/124987-диммирование-мощных-светодиодов/>. — 14.04.2017.
- 6-2. Руководство проектировщика систем с гальванической развязкой [Электронный ресурс] / «elektors.ru», 2013. — Режим доступа: <http://elektors.ru/radioelektronika/ostalnoe/1477-rukovodstvo-proektirovschika-sistem-s-galvanicheskoy-razvyazkoy.html>. — 14.04.2017.
- 6-3. Тастатура [Электронный ресурс] / БСЭ, сост. Л. Я. Эйдельман. — Режим доступа: <http://bse.sci-lib.com/article109110.html>. — 14.04.2017.
- 6-4. Модули-приёмники ИК-сигнала TSOP [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://eschema.ru/?p=2684>. — 14.04.2017.

СХЕМЫ ИНТЕРФЕЙСНЫХ УЗЛОВ

*Всякая вещь хороша на своем месте.
(Русская пословица)*

7.1. COM-порт

Разъём подключения COM-порта в современных компьютерах является атавизмом, но его по старинке всё ещё ставят в некоторые отладочные платы в расчёте на «а вдруг». Например, если понадобится состыковаться с нестандартным устройством или с «древним» промышленным компьютером (Рис. 7.1, а...л).

Парадокс в том, что отладочные платы с COM-портом часто встречаются в солидных фирменных комплексах премиум-класса. Но удивление пройдёт, если вспомнить, что одним из требований к пятизвёздочным отелям до сих пор является наличие у них... факсимильного аппарата. Параллели налицо.

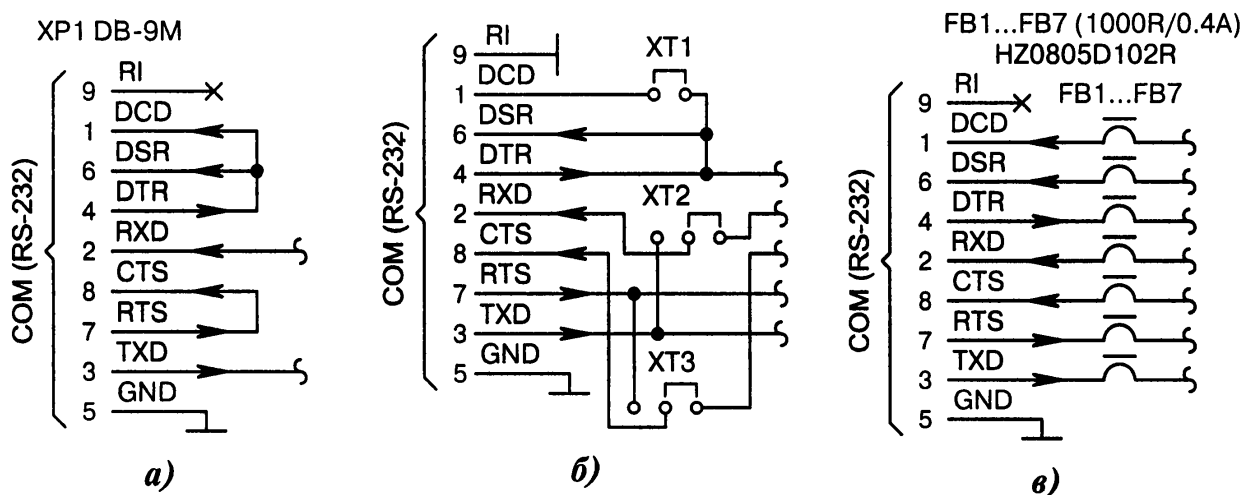


Рис. 7.1. Схемы подключения сигналов COM-порта к МК (начало):

а) стандартный заворот управляющих сигналов на 9-контактном разъёме COM-порта. Заворот может отсутствовать, что зависит от используемого ПО в компьютере;

б) тестирование исправности COM-порта компьютера производится организацией заворотов сигналов $DCD - DSR$, $RXD - TXD$, $RTS - CTS$ через джамперы $XT1...XT3$. Варианты: один или несколько джамперов могут отсутствовать;

в) ферритовые «бусинки» $FB1...FB7$ снижают уровень помех, которые излучаются длинным соединительным кабелем. Фильтрация производится как на приёме от компьютера в МК, так и на передаче от МК в компьютер. Варианты: отсутствие одного или нескольких фильтров; ☹

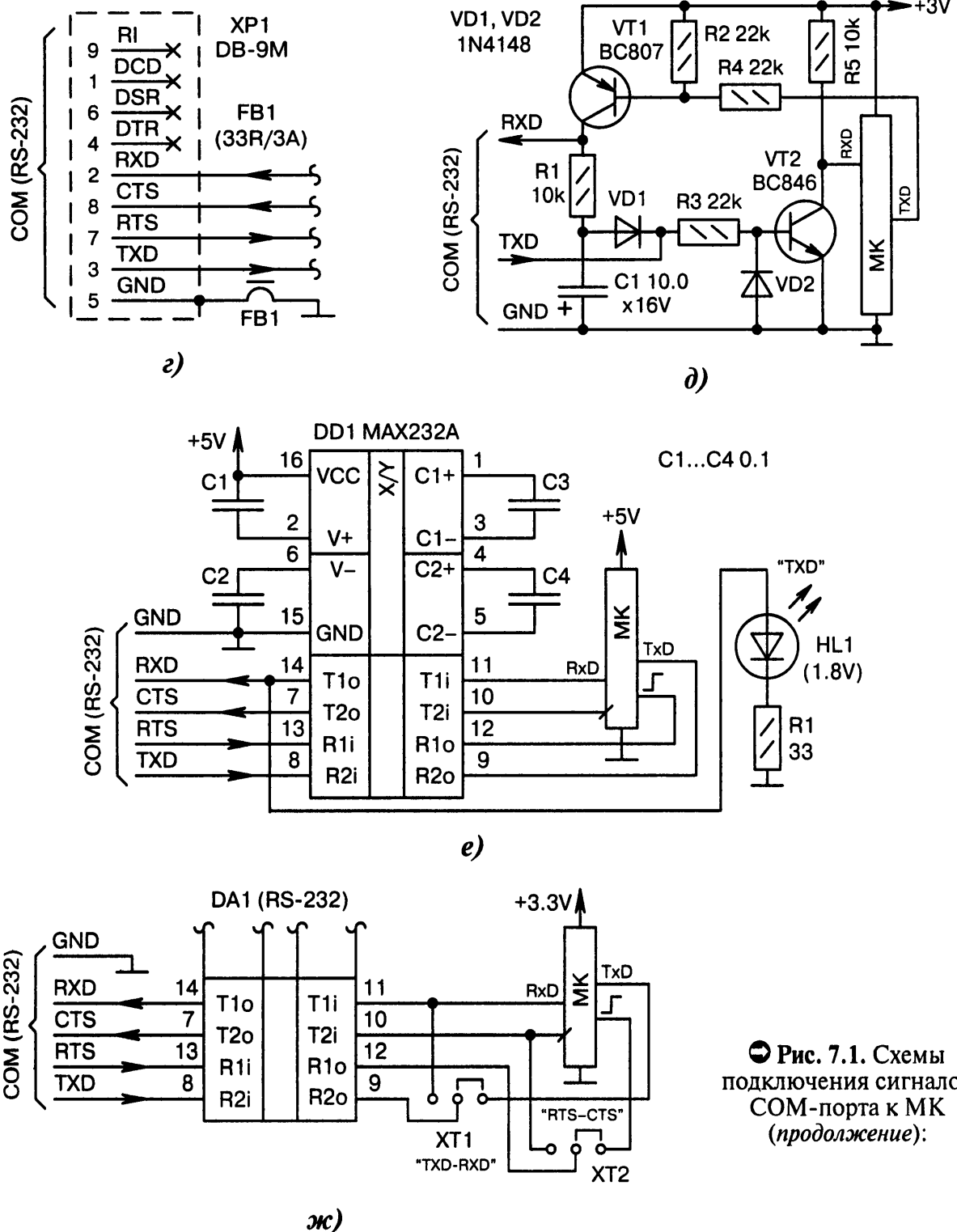


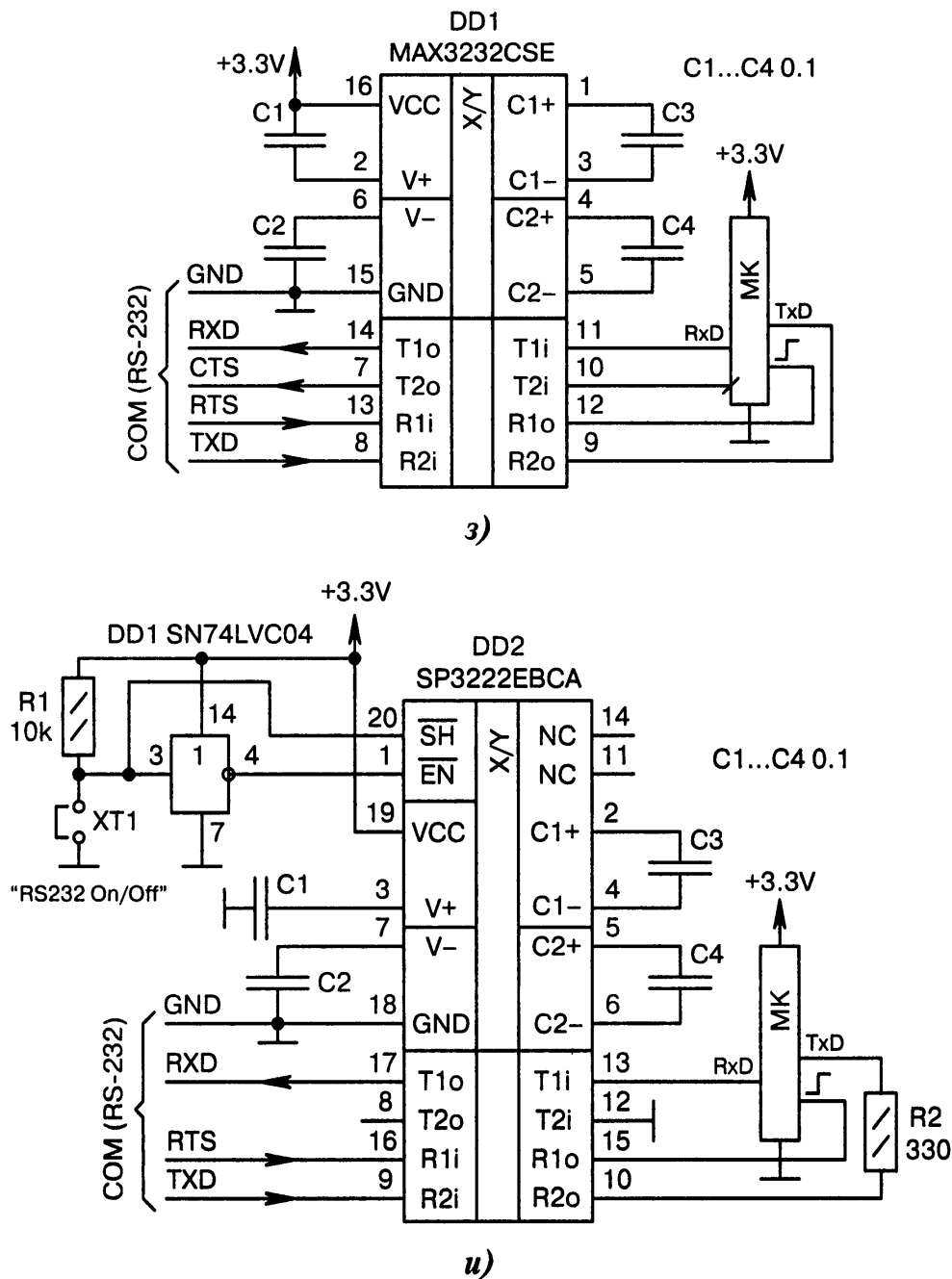
Рис. 7.1. Схемы подключения сигналов COM-порта к МК (продолжение):

г) экран разъёма *XP1* соединяется с его «земляным» выводом *GND* и далее через ферритовый фильтр *FB1* с общим проводом устройства. Это снижает уровень помех;

д) низковольтная двухтранзисторная схема сопряжения с COM-портом. При приёме данных по цепи *RXD* необходимо в цепи *TXD* в компьютере выставлять отрицательное напряжение;

е) драйвер RS-232 *DA1* рассчитан на работу с питанием +5 В. Особенность — наличие индикатора *HL1*. В исходном состоянии на линии *RXD* кабеля устанавливается отрицательный уровень, светодиод *HL1* не горит. Он загорается только при передаче данных от МК в компьютер;

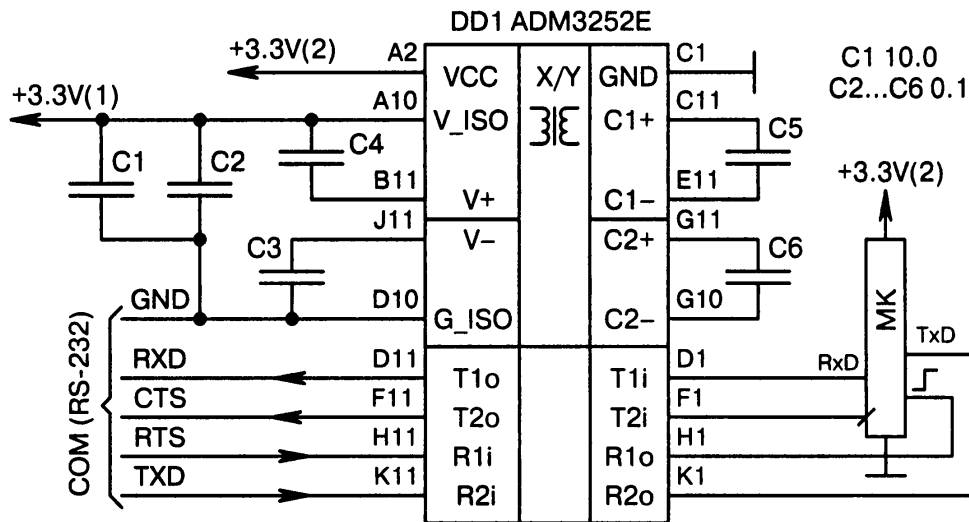
ж) заворот сигналов COM-порта производится после (а не до) драйвера *DA1*. Джемперы *XT1*, *XT2* отключают линии МК во время заворота, чтобы не происходил конфликт уровней; ●



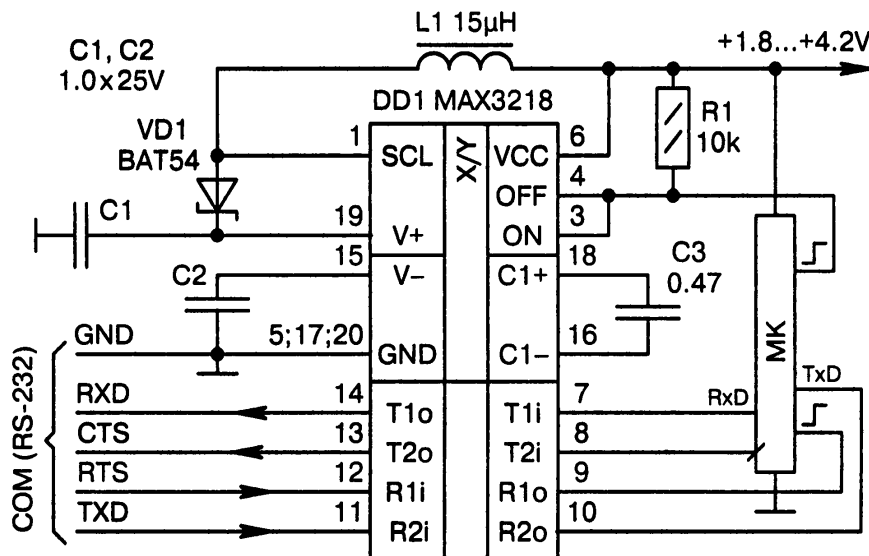
⊖ Рис. 7.1. Схемы подключения сигналов COM-порта к МК (продолжение):

з) аналогично Рис. 7.1, е, но с другим драйвером, рассчитанным на пониженное напряжение питания +3.3 В. Варианты: $DD1 = ILC3232$; $DD1 = ADM3202ARUZ$; $DD1 = LTC1386CS$; $DD1 = SP385ECA$ (корпус SOP-20), $C1...C4 = 1.0$; $DD1 = ADM3315E$ (3 входа, 3 выхода); $DD1 = TRS3386ECPW$ (2 входа, 3 выхода); $DD1 = MAX3245CAI$ (расширенный набор сигналов COM-порта, 5 входов, 3 выхода);

и) микросхема $DD2$ имеет входы \overline{EN} и \overline{SH} , соответственно, для разрешения и запрета работы драйвера COM-порта. Поскольку управляющие уровни этих сигналов одинаковые, то в схему вводится инвертор $DD1$, позволяющий упростить коммутацию режимов и вместо двух использовать один джампер $XT1$. Резистор $R2$ полезен при высоких скоростях передачи данных 300...400 кбит/с. Микросхема $DD2$ выпускается фирмой STMicroelectronics, для продукции которой характерно подключение накопительного конденсатора $C1$ не к источнику питания, как на Рис. 7.1, з, а к общему проводу GND . Варианты: $DD2 = ST3232CD$, $R2 = 0$; ⊖



к)



л)

● Рис. 7.1. Схемы подключения сигналов COM-порта к МК (окончание):

к) *DD1* — это гальванически изолированный драйвер COM-порта. Скорость передачи данных до 460 Кбит/с, корпус BGA. Амплитуда выходных сигналов *RXD*, *CTS* составляет ± 5 В на нагрузке 3 кОм. Цепь *G_ISO* микросхемы *DD1* не соединяется с общим проводом МК;

л) особенность — возможность функционирования микросхемы *DD1* в широком диапазоне напряжений, в том числе при сверхнизком питании +1.8 В. Уровни выходных сигналов *RXD*, *CTS* составляют ± 6 В (скорость 120 кбод) благодаря встроенному DC/DC-преобразователю. Он содержит транзисторный ключ внутри *DD1*, а также элементы *L1*, *VD1*, *C1* снаружи. Преобразователь напряжения включается/отключается логическим уровнем с верхнего выхода МК

7.2. Интерфейс RS-485

RS-485 является весьма востребованным интерфейсом в отладочных платах. Через него к МК подключаются удалённые сетевые устройства (Рис. 7.2, а...в).

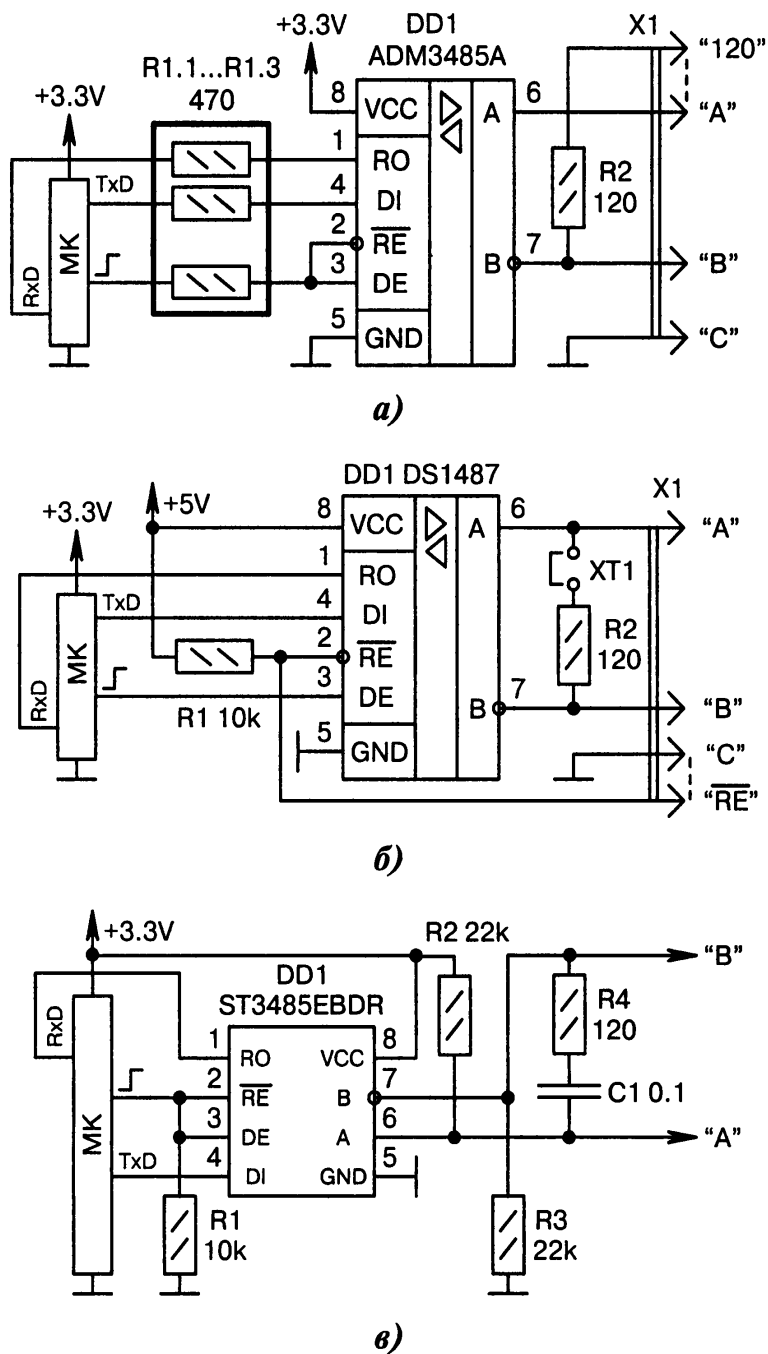


Рис. 7.2. Схемы подключения драйверов RS-485 к МК:

а) *DD1* — это низковольтный драйвер RS-485. Нагрузочный резистор *R2* (по-другому «терминатор») подключается к линии связи путём закорачивания в разъёме *X1* контактов «A» и «120». Резисторы в сборке *R1.1...R1.3* выполняют согласующую функцию, хотя могут и отсутствовать. Их применение, в частности, может быть оправдано разводкой печатной платы, когда проще провести связь через «лишние» резисторы в сборке, чем обводить их снаружи;

б) пятивольтовый драйвер RS-485 *DD1* управляется от трёхвольтового МК, вход *RXD* которого должен быть толерантным к повышенному напряжению. Дампер *XT1* подключает нагрузку 120 Ом, если плата находится в конце линии связи. Замыканием цепей \overline{RE} и *C* на разъёме *X1* включается режим постоянного прослушивания сигналов с шины RS-485. Без замыкания этих цепей МК передаёт информацию в линию при ВЫСОКОМ уровне на своём нижнем выходе;

в) особенность — нагрузка *R4* подключается не напрямую к линиям «A», «B», а через разделительный конденсатор *C1*. Варианты: резисторы *R2...R4* включаются через джамперы

7.3. Интерфейс RS-422

RS-422 в первом приближении можно считать разновидностью интерфейса RS-485, что объясняет их совместное применение (Рис. 7.3, а, б).

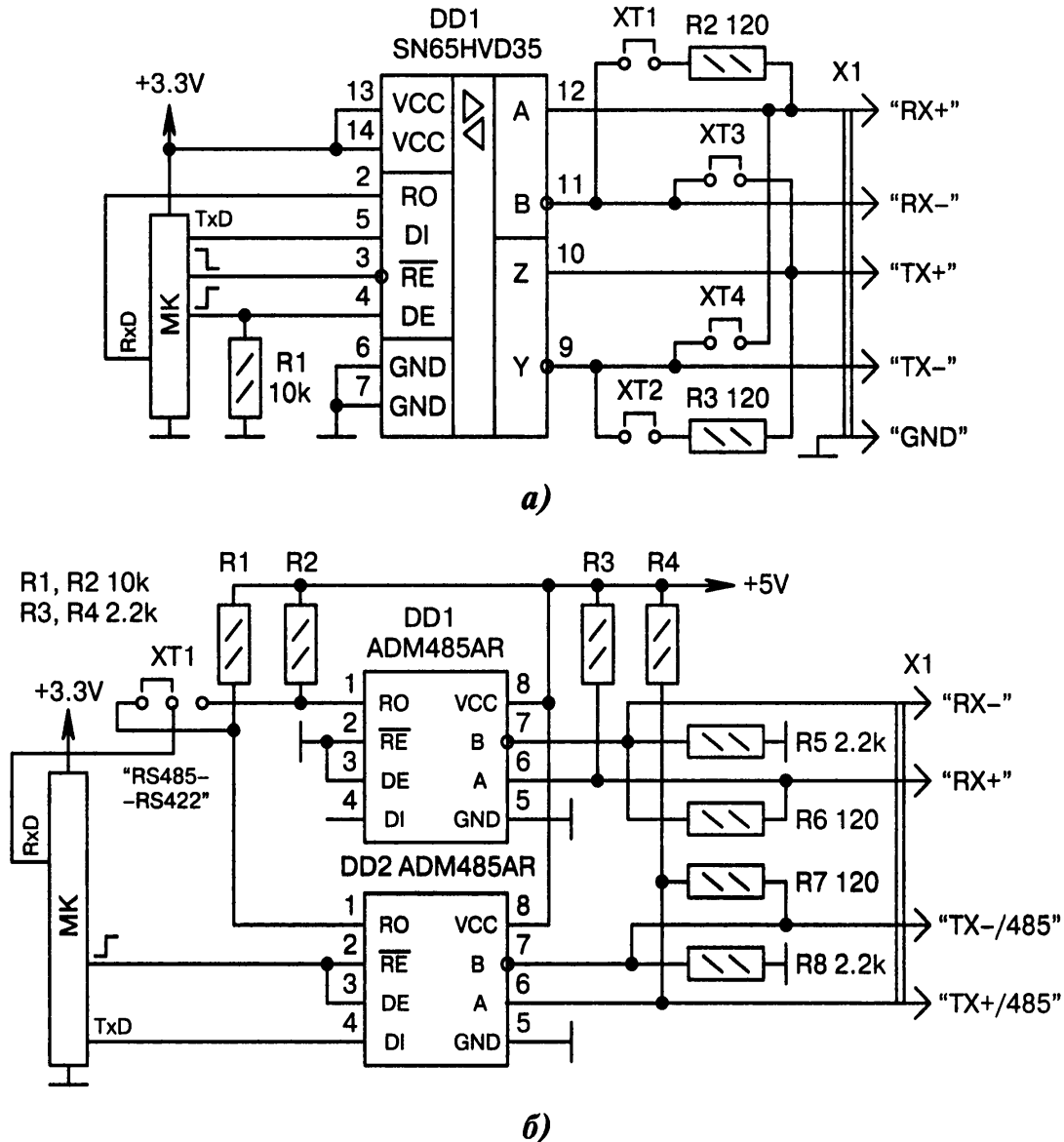


Рис. 7.3. Схемы подключения драйверов RS-422/RS-485 к МК:

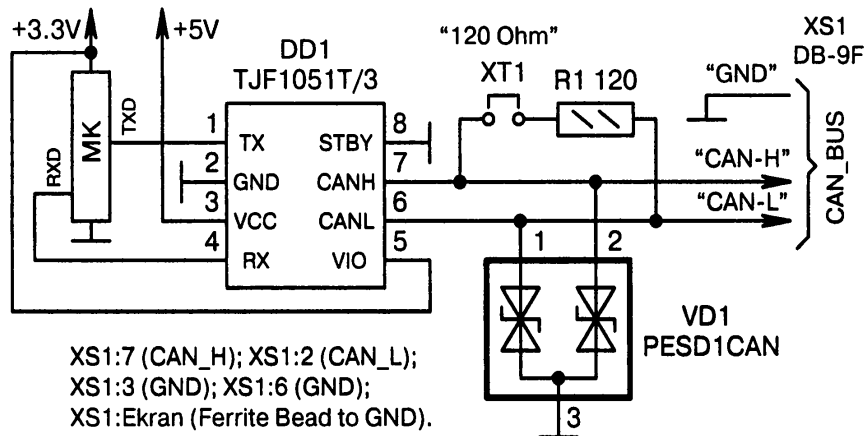
а) микросхема *DD1* — это универсальный двунаправленный драйвер RS-422/RS-485 с максимальной скоростью 1 Мбит/с. Дамперы *XT1...XT4* по-разному устанавливаются в режимах RS-422 и RS-485. В частности, дамперы *XT1*, *XT2* обеспечивают подключение нагрузки 120 Ом на оконечной стороне в режиме RS-422. В режиме RS-485 ставится только один из этих дамперов. Дамперы *XT3*, *XT4* присутствуют в режиме RS-485 и отсутствуют в режиме RS-422. Сигналы \overline{RE} и *DE* в режиме RS-485 должны иметь одинаковую (а не разную) полярность. Резистор *R1* предотвращает случайную генерацию импульсов в соединительную линию при сбросе МК;

б) два драйвера RS-485 *DD1*, *DD2* используются для организации четырёхпроводного интерфейса RS-422 (дампер *XT1* вправо) и двухпроводного интерфейса RS-485 (дампер *XT1* влево). Вход *RxD* МК должен быть толерантным к напряжению 5 В. Резисторы *R3...R8* организуют необходимое смещение в линиях связи. Варианты: *DD1* = *DD2* = SP485E

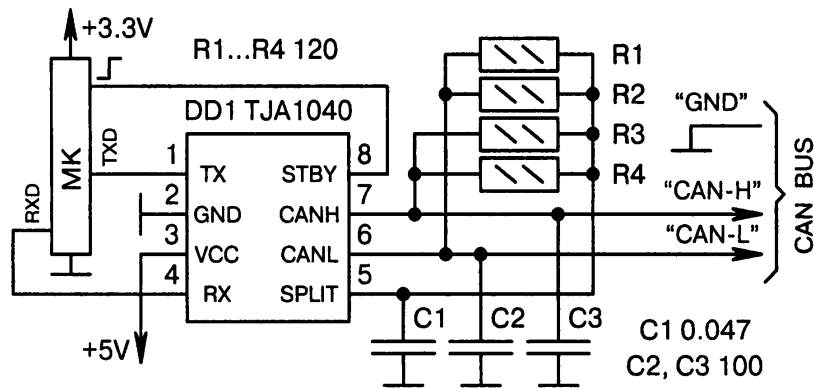
7.4. Интерфейс CAN

Интерфейс CAN часто называют «автомобильным» из-за его широкого применения в системах управления автомобилями. К его достоинствам относятся высокая помехозащищённость и толерантное разрешение споров на общей шине.

К отладочным платам интерфейс CAN имеет самое непосредственное отношение, учитывая значительное число автомобилистов, которые хотели бы конструировать различные микроконтроллерные устройства, полезные для своего «железного коня» (Рис. 7.4, а...н).



а)

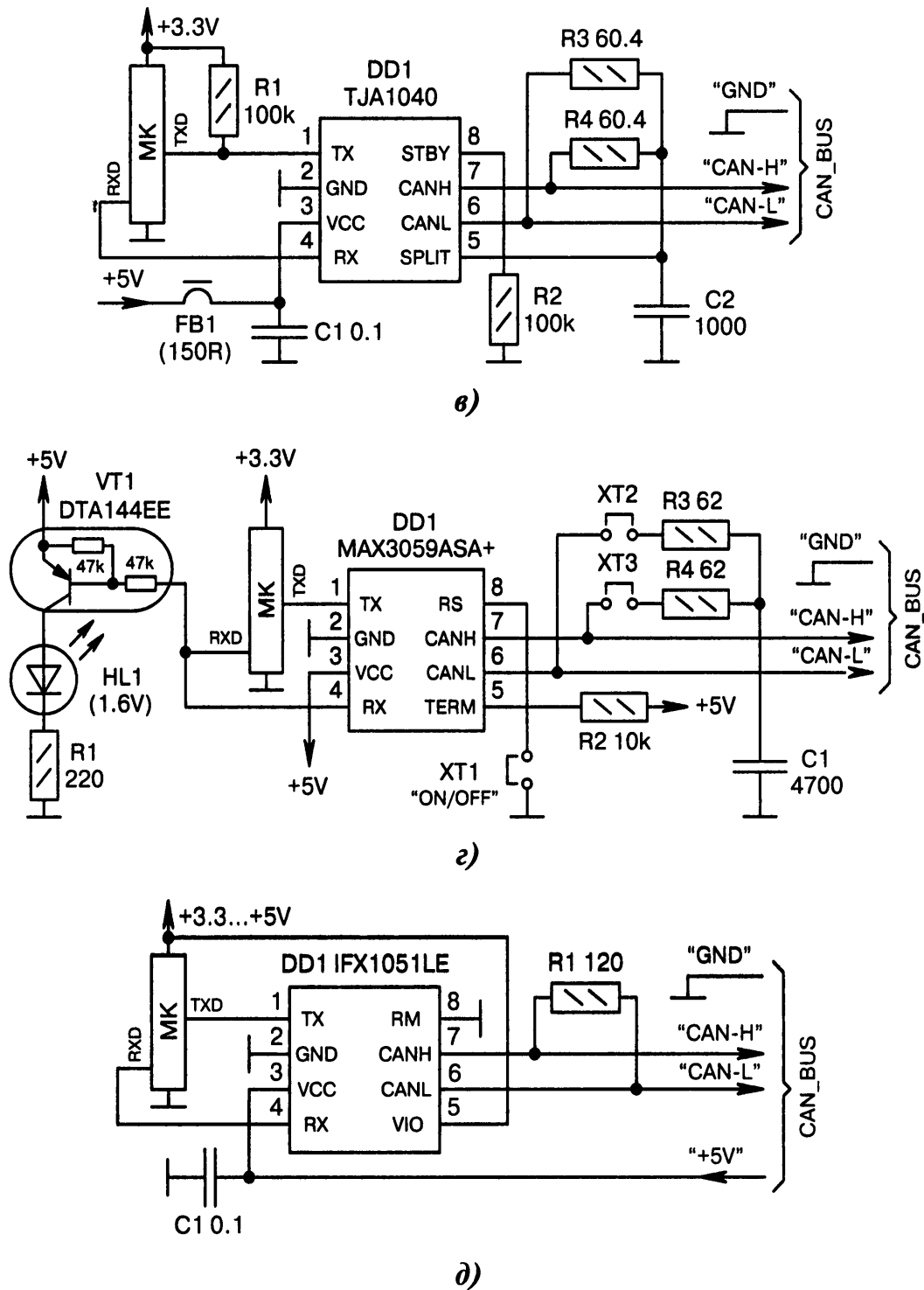


б)

Рис. 7.4. Схемы подключения драйверов CAN к МК (начало):

а) микросхема *DD1* — это физический драйвер интерфейса CAN (2 Мбит/с). В программе МК должен быть прописан протокол всех этапов соединения и обмена информацией. Питание МК должен быть прописан протокол всех этапов соединения и обмена информацией. Питание *VIO* +3.3 В относится к цепям *TX*, *RX* микросхемы *DD1*. Питание *VCC* +5 В относится к выходной части драйвера *CANH*, *CANL*. Сборка защитных стабилитронов *VD1* специально разработана для шины CAN и защищает её от статического электричества и всплесков напряжения. Такая сборка может быть установлена в любую другую схему CAN. Варианты: *DD1* = TLE6250GV33, при этом на вывод *VCC* подаётся питание +3.3 В вместо +5 В; *DD1* = L9616; *VD1* = ESDCAN24-2BLY;

б) для нормальной работы выходной части интерфейса CAN микросхемы *DD1* (1 Мбит/с) требуется лишь один источник питания +5 В. Вывод *SPLIT* формирует напряжение для средней точки сигналов *CANH*, *CANL*. ВЫСОКИМ уровнем с верхнего выхода МК можно перевести микросхему *DD1* в ждущий режим с низким потреблением тока; ☹

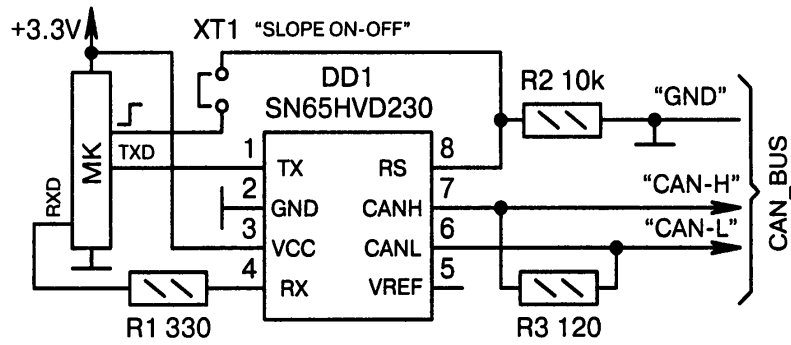


⊖ Рис. 7.4. Схемы подключения драйверов CAN к МК (продолжение):

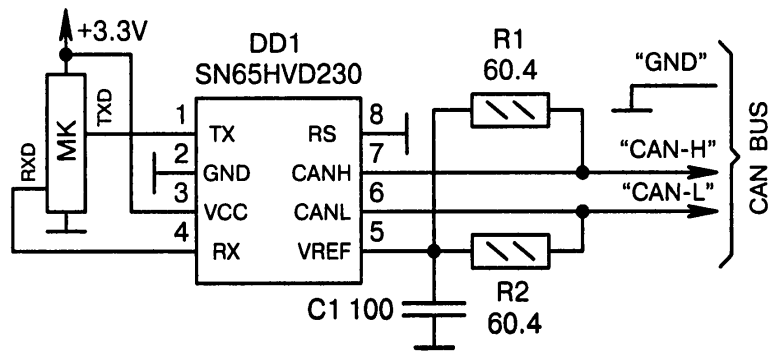
в) аналогично Рис. 7.4, б, но максимально упрощённо. Варианты: $FB1 = 0$, $C2 = 0.1$, $R1$ отсутствует, $R2 = 0 \dots 10k$; $DA1 = TLE6251DS$; $DA1 = TJA1041T$, $C2 = 56$, $R1 = 4.7k$;

г) особенность — светодиодная индикация поступающего в МК сигнала элементами $VT1$, $R1$, $HL1$. Таким же образом может индицироваться сигнал передачи, если подключить аналогичный узел к цепи TXD МК. Дампером $XT1$ активируется приёмопередатчик CAN, скорость обмена данными 1 Мбит/с. Удаление джампера отключает драйвер $DD1$. Джамперы $XT2$, $XT3$ подключают нагрузку 120 Ом ($R3$, $R4$) параллельно информационным проводам линии связи;

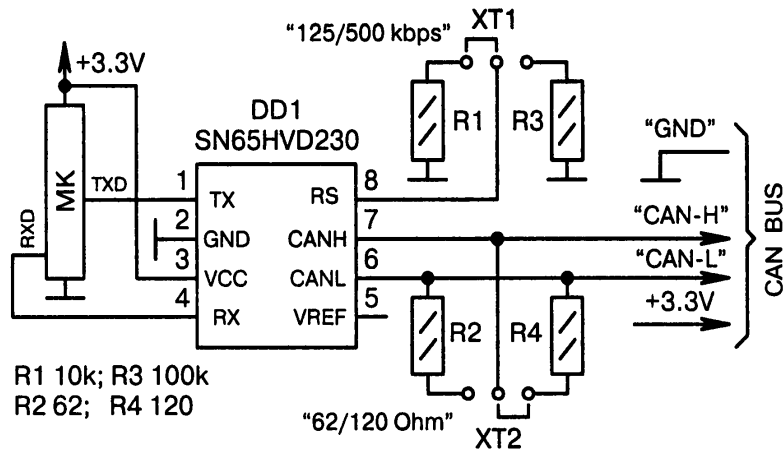
д) силовая часть драйвера $DD1$ (2 Мбит/с) питается от внешнего источника +5 В (вывод VCC). Остальные узлы микросхемы $DD1$ питаются от того же источника, что и МК (вывод VIO); ⊖



е)



ж)



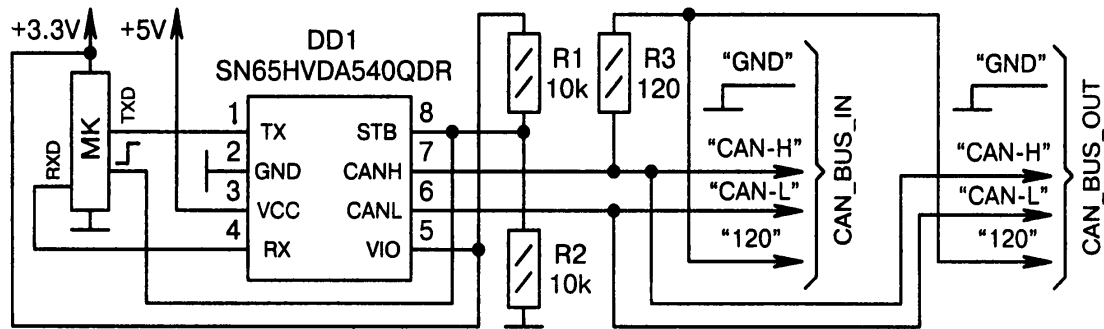
з)

⊖ Рис. 7.4. Схемы подключения драйверов CAN к МК (продолжение):

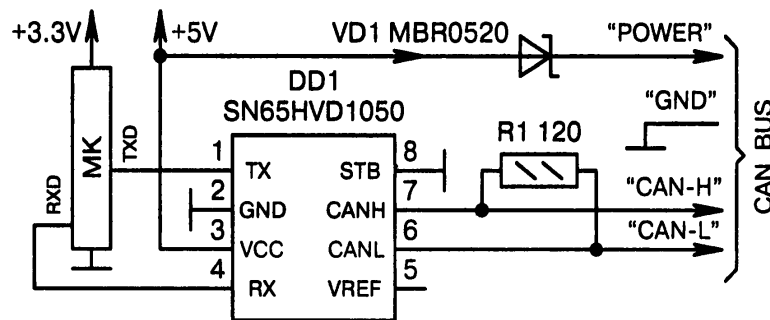
е) для драйвера CAN на микросхеме *DD1* требуется один источник питания, причём с пониженным напряжением +3.3 В. Если джампер *XT1* замкнут, то сигналом с верхнего выхода МК можно включить быстрый режим CAN или спящий режим передатчика. Если джампер *XT1* удалить, то ограничивается скорость нарастания/спада импульсов в линии связи, что способствует снижению электромагнитных помех. Варианты: $R1 = 0...1k$;

ж) аналогично Рис. 7.4, в, но с использованием драйвера CAN, для работы которого требуется один источник питания +3.3 В. Внутренний ИОН микросхемы *DD1* (вывод *VREF*) поддерживает стабильное напряжение для средней точки сигналов *CANH*, *CANL*;

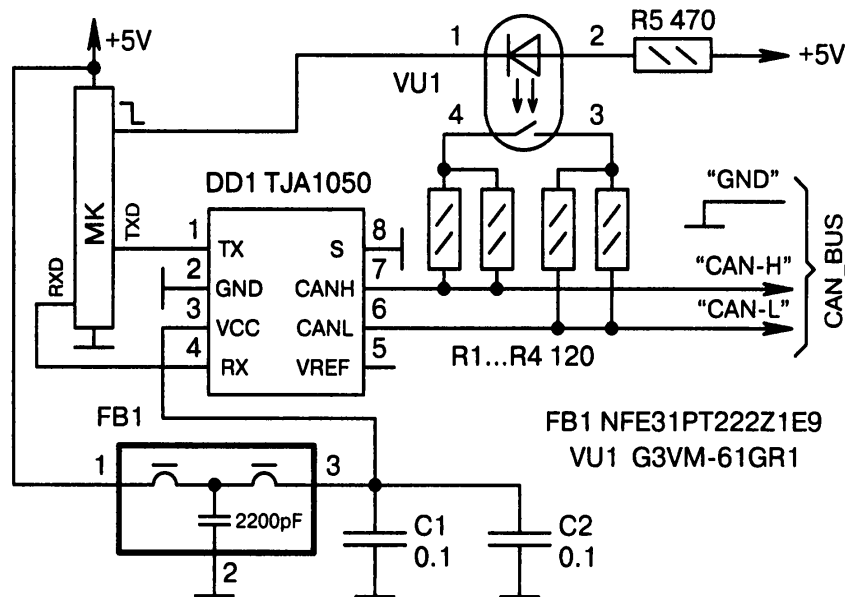
з) джампером *XT1* выбирается скорость передачи информации по шине CAN. Джампером *XT2* переключается сопротивление нагрузки: «пополам» (*R2*) или «оптимально» (*R4*); ⊖



и)



к)



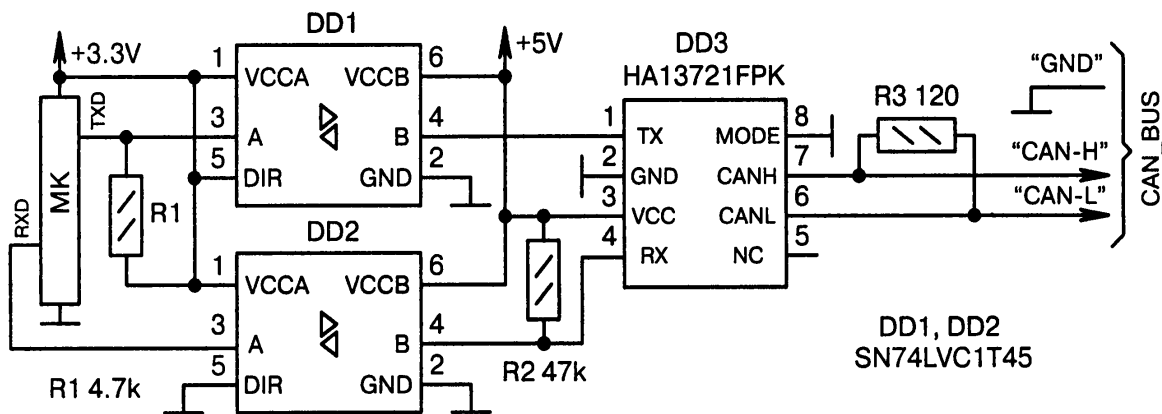
л)

⊖ Рис. 7.4. Схемы подключения драйверов CAN к МК (продолжение):

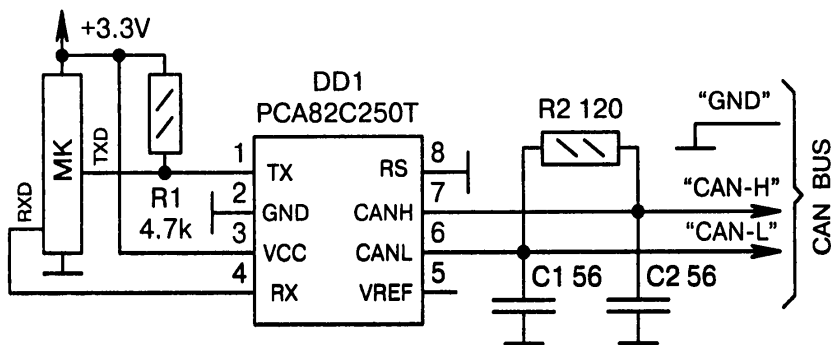
и) *DD1* — это драйвер CAN с входом *STB*, переводящим его в спящее состояние. Управляет процессом МК, выставляя ВЫСОКИЙ уровень на нижнем выходе. В схеме имеются запараллеленные разъёмы — один входной *_IN* и один выходной *_OUT*. Нагрузочный резистор *R3* подключается к шине CAN замыканием контактов «120» и «CAN-L» на одном из двух разъёмов;

к) *DD1* — это драйвер CAN, оптимизированный для защиты выходов от всплесков напряжения и КЗ между проводами. Диод *VD1* предотвращает подачу высокого напряжения извне;

л) нагрузка 120 Ом (резисторы *R1...R4*) подключается к шине CAN через оптотару *VU1* при НИЗКОМ уровне на верхнем выходе МК, и наоборот. Резисторы *R1...R4* включаются параллельно для повышения точности, а не для увеличения рассеиваемой мощности; ⊖



м)



н)

Рис. 7.4. Схемы подключения драйверов CAN к МК (окончание):

м) особенность — корректное преобразование уровней 3.3/5 В при помощи микросхем *DD1*, *DD2*. Направление передачи сигналов определяется потенциалами на выводах *DD1:5*, *DD2:5*. Варианты: *DD1* = R2A25416;

н) особенность — согласующие конденсаторы *C1*, *C2* и «pull-up» резистор *R1*. Максимальная скорость драйвера CAN составляет 1 Мбит/с. Варианты: *DD1* = MCP2551, *C1* = *C2* = 0

7.5. Интерфейс «1-Wire»

Через интерфейс «1-Wire» к МК подключаются датчики (Рис. 7.5, а, б).

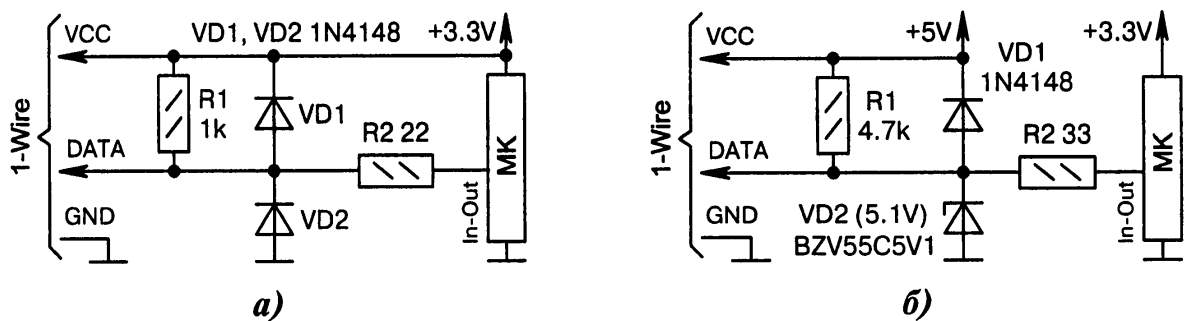


Рис. 7.5. Схемы подключения интерфейса «1-Wire» к МК:

а) подключение к МК термодатчиков или ключей iButton. Резистор *R1* служит нагрузкой, диоды *VD1*, *VD2* защищают МК от всплесков напряжения, резистор *R2* сглаживает импульсы;

б) особенность — стабилитрон *VD2* вместо нижнего защитного диода. Входная линия МК должна выдерживать повышенное напряжение +5 В, которое поступает через резисторы *R1*, *R2*

7.6. Интерфейс I²C

В отладочных платах обычно используется не фирменный интерфейс I²C Philips, а совместимые с ним двухпроводные интерфейсы (Рис. 7.6, а...в). Однако название «I²C» стало нарицательным и прочно вошло в лексикон эмбеддеров.

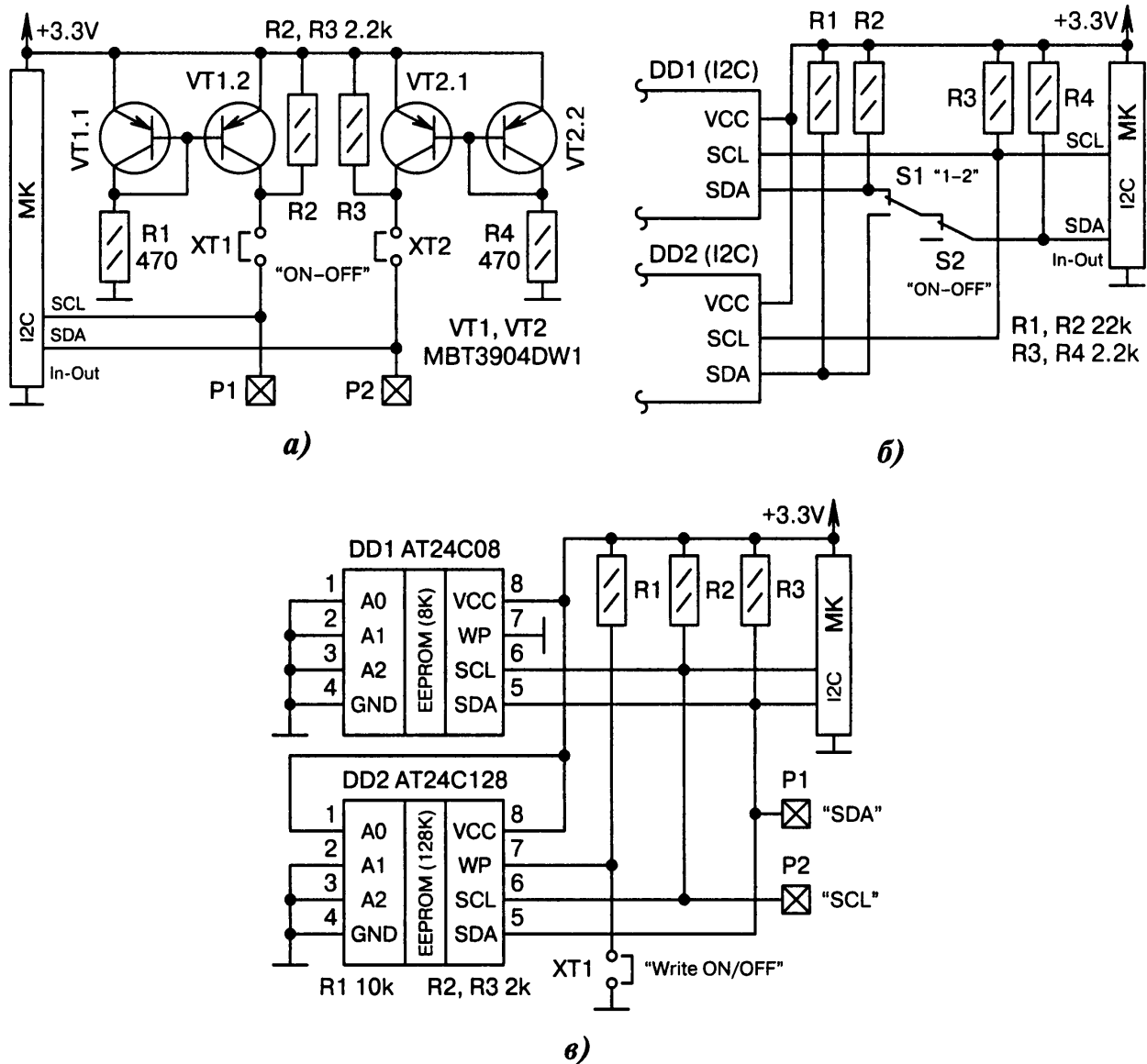


Рис. 7.6. Схемы подключения узлов с интерфейсом I²C к МК:

а) терминальными нагрузками шин *SCL*, *SDA* интерфейса I²C служат источники тока, выполненные на транзисторных сборках *VT1*, *VT2*. Это повышает крутизну фронта генерируемых сигналов, что полезно при большой длине линии связи. Джемперы *XT1*, *XT2* можно удалить, если где-то в сети I²C уже установлены терминальные нагрузки;

б) переключателем *S1* к МК подключается одна из микросхем *DD1*, *DD2* с интерфейсом I²C. Переключателем *S2* полностью блокируется работа канала I²C. Резисторы *R1*, *R2* нужны, чтобы выводы *DD1:SDA*, *DD2:SDA* не «висели в воздухе» в нижнем положении переключателя *S2*;

в) аппаратное разделение адресов на шине I²C производится с помощью разной комбинации логических уровней на выводах *A0...A2* микросхем памяти *DD1*, *DD2*. Микросхему *DD2* можно защитить от записи удалением джемпера *XT1*

7.7. Интерфейс S/PDIF

Интерфейс S/PDIF применяется в тех отладочных платах, где МК обладает высокой производительностью. Электрические схемы подключения к МК будут разными для выходов (Рис. 7.7, а, б) и для входов (Рис. 7.7, в, г).

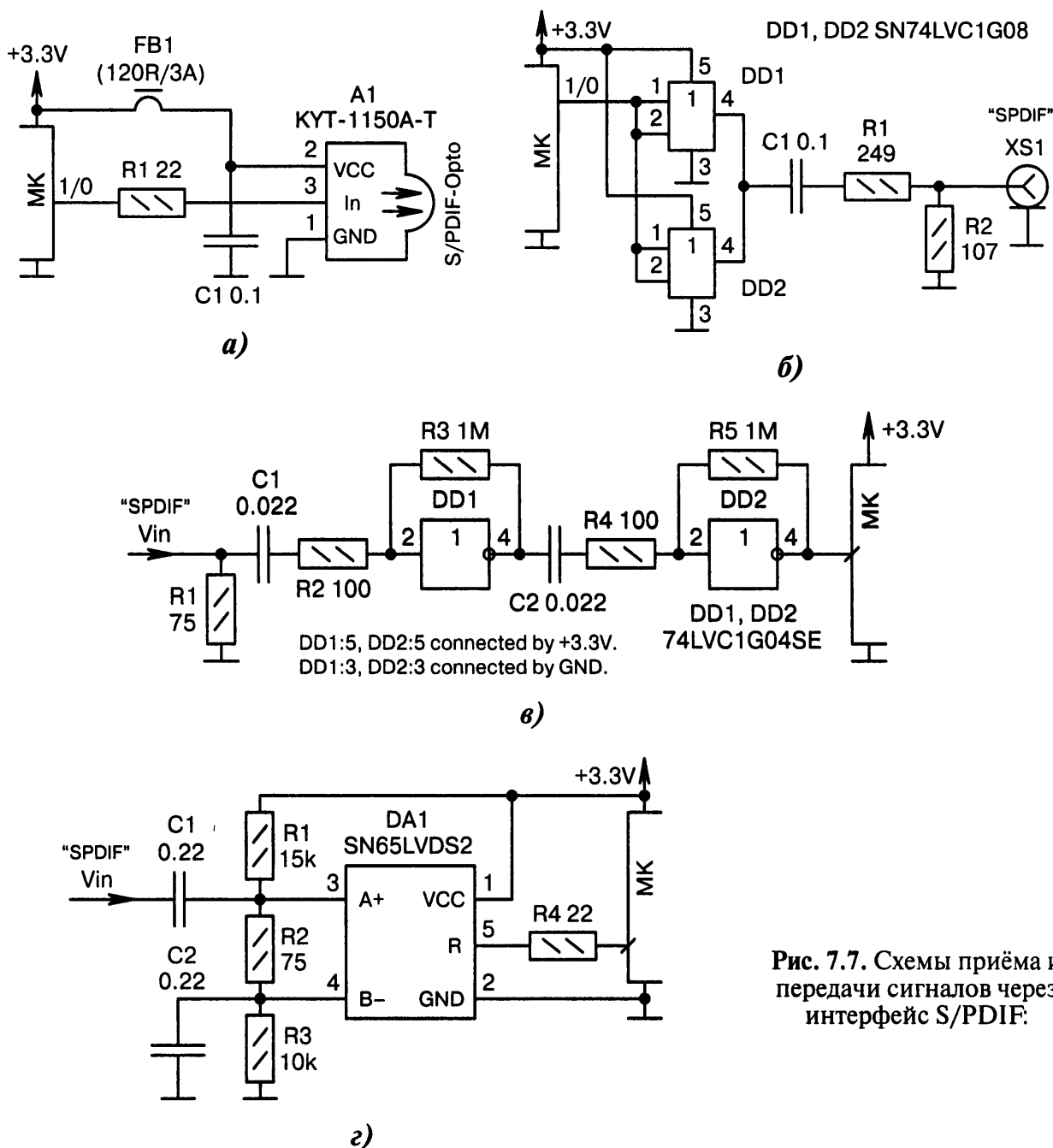


Рис. 7.7. Схемы приёма и передачи сигналов через интерфейс S/PDIF:

а) *A1* — это передающий оптомодуль стандарта S/PDIF. Резистор *R1* снижает колебательный «звон» на фронтах ВЧ-импульсов, генерируемых с выхода МК;

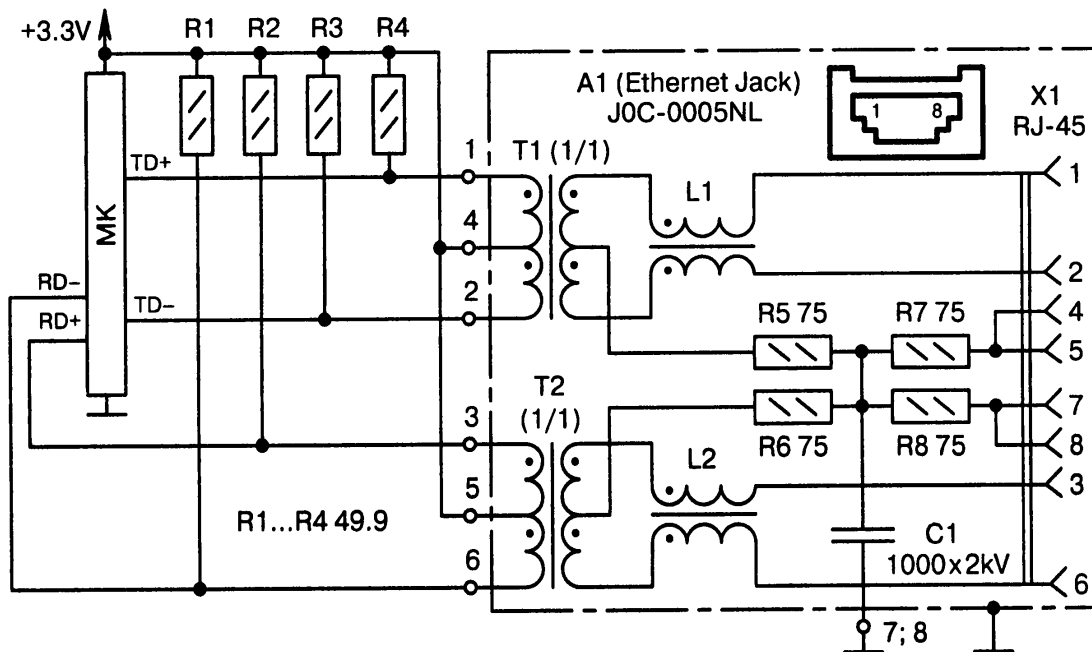
б) для передачи сигналов S/PDIF через коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом используются два запараллеленных логических элемента *DD1*, *DD2* (корпус SOT-23/5);

в) логические элементы *DD1*, *DD2* работают в аналоговом режиме ввиду отрицательной обратной связи через резисторы *R3*, *R5*. Усиление определяется отношением *R2*:*R3* и *R4*:*R5*;

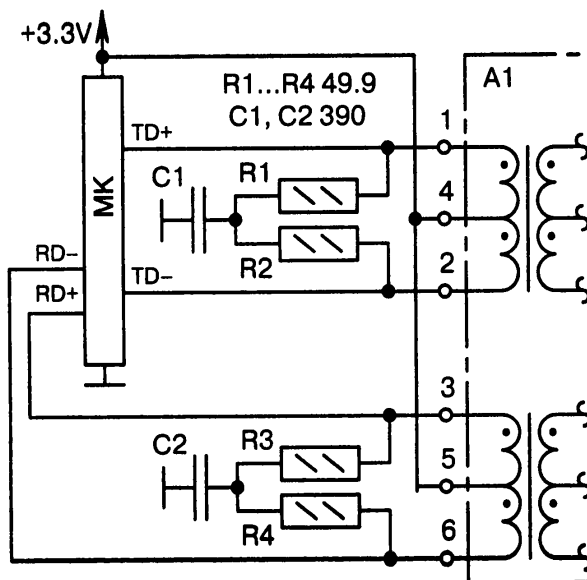
г) приём сигналов S/PDIF через дифференциальный усилитель микросхемы *DA1*

7.8. Интерфейс Ethernet

Если МК не имеет встроенного контроллера Ethernet, то для его замены используют общедоступные микросхемы ENC28J60 (10 Мбит/с) или ENC624J600 (10/100 Мбит/с). Однако такие варианты в отладочных платах применяются редко, поэтому рассматриваться будут современные быстродействующие МК с встроенным контроллером Ethernet (Рис. 7.8, а...д).



а)

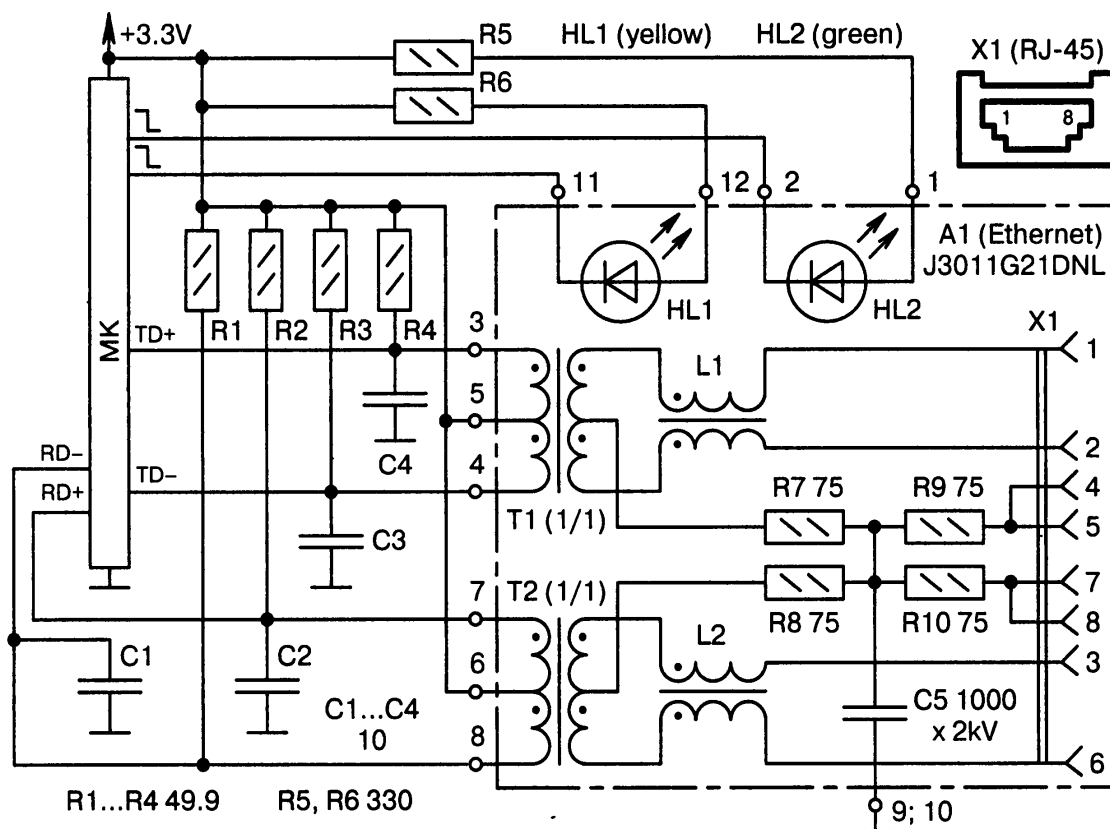


б)

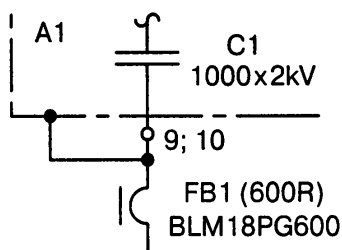
Рис. 7.8. Схемы подключения входных и выходных цепей Ethernet к МК (начало):

а) МК имеет встроенный контроллер Ethernet с входами $RD-$, $RD+$ и выходами $TD+$, $TD-$. К ним подключается унифицированный блок трансформаторов $A1$ с разъемом RJ-45. Согласующие резисторы $R1...R4$ должны быть близкими к 50 Ом. Варианты: $A1 = \text{Würth } 7499010211A$;

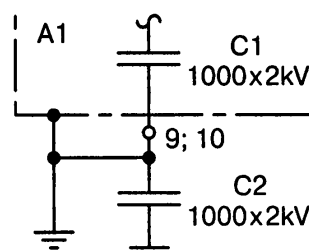
б) аналогично Рис. 7.8, а, но с другим включением согласующих резисторов $R1...R4$. Такое решение встречается в схемах с МК Nuvoton IP101A; ☹



в)



г)



д)

Рис. 7.8. Схемы подключения входных и выходных цепей Ethernet к МК (окончание):

в) блок трансформаторов *A1* содержит встроенные светодиоды *HL1* (жёлтый) и *HL2* (зелёный), которые управляются от МК и индицируют процессы приёма и передачи информации. Конденсаторы *C1...C4* согласующие, они улучшают форму генерируемых импульсов;

г) фильтрация импульсных помех на «землю» при помощи ферритовой «бусинки» *FB1*;

д) если металлический экран блока трансформаторов *A1* должен соединяться с защитной «землёй», а не с общим проводом, то для развязки вводится разделительный конденсатор *C2*

7.9. Интерфейс JTAG

Интерфейс JTAG применяется для интеллектуальной отладки программного обеспечения, а также для программирования МК. Аппаратная поддержка интерфейса находится внутри контроллера, режимы активируются через регистры специальных функций. Разъёмы подключения JTAG унифицированные и содержат 10 или 20 контактов (Рис. 7.9, а...в).

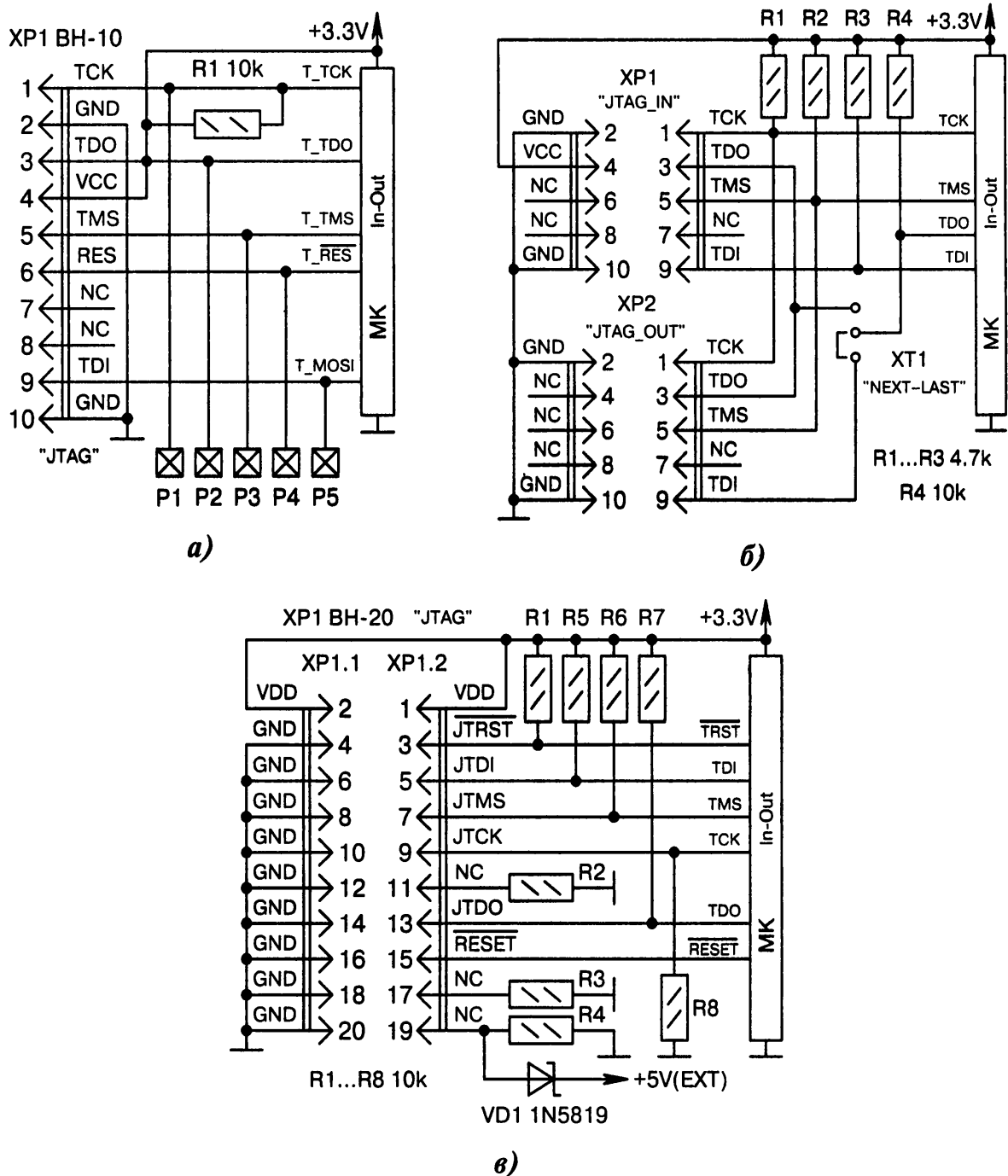


Рис. 7.9. Схемы подключения разъемов интерфейса JTAG к МК:

а) стандартная раскладка контактов разъема *XS1*, к которому подключается отладчик (программатор) интерфейса JTAG. При отключении отладчика линии МК могут использоваться как обычные двунаправленные порты ввода/вывода *P1...P5*;

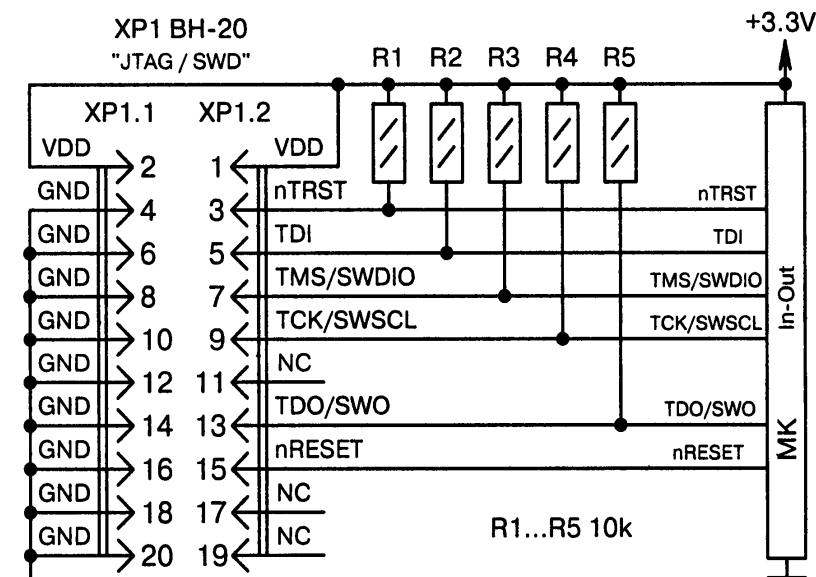
б) два (а не один) разъема JTAG ставятся для того, чтобы каскадировать несколько отладочных плат или внешних устройств. Разъем *XP1* входной *_IN*, разъем *XP2* выходной *_OUT*. К выходному разъему *XP2* подключается кабель, идущий к входному разъему следующей отладочной платы и т. д. Дампер *XT1* ставится в нижнее положение на всех платах, кроме последней в цепочке. Там он переводится в верхнее положение;

в) контакты разъема *XP1:11*, *XP1:17*, *XP1:19* не подключаются к МК, но через них внешний контроллер JTAG может проверить факт подстыковки кабеля к разъему *XP1* или подать дополнительное питание *+5V(EXT)* через диод Шоттки *VD1*. Варианты: *R4 = 100k*

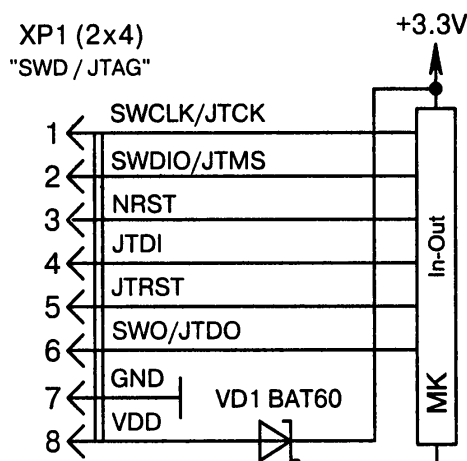
7.10. Интерфейс SWD

Интерфейс SWD (Serial Wire Debug) задумывался в качестве упрощённой альтернативы интерфейсу JTAG. Он содержит меньшее число сигналов, основными из которых являются *SWCLK* (тактовый), *SWDIO* (информационный). Дополнительно также можно использовать отладочный сигнал *SWO* [7-1].

Интерфейс SWD, так же как и JTAG, используется для отладки и программирования МК. Более того, разъёмы SWD и JTAG часто делают совмещёнными (Рис. 7.10, а, б).



а)



б)

Рис. 7.10. Схемы подключения совмещённых разъёмов SWD/JTAG к МК:

а) на 20-контактный разъём *XP1* одновременно выводятся сигналы интерфейсов JTAG и SWD. Линии МК — это цифровые порты, функции которых переназначаются программно через альтернативные регистры. Варианты: *R5* отсутствует;

б) для интерфейса JTAG используются контакты *XP1:1...XP1:7*, а для интерфейса SWD — контакты *XP1:1...XP1:3*, *XP1:6*, *XP1:7*. Цепь *VDD* в разъёме *XP1* не обязательная, но через неё и диод Шоттки *VD1* может подаваться внешнее питание +3.3 В для автономной работы МК

7.11. Интерфейс LIN

Интерфейс LIN (Local Interconnect Network) ISO 17987 [7-2], применяется в некоторых отладочных платах в дополнение к интерфейсу CAN (Рис. 7.11, а...е).

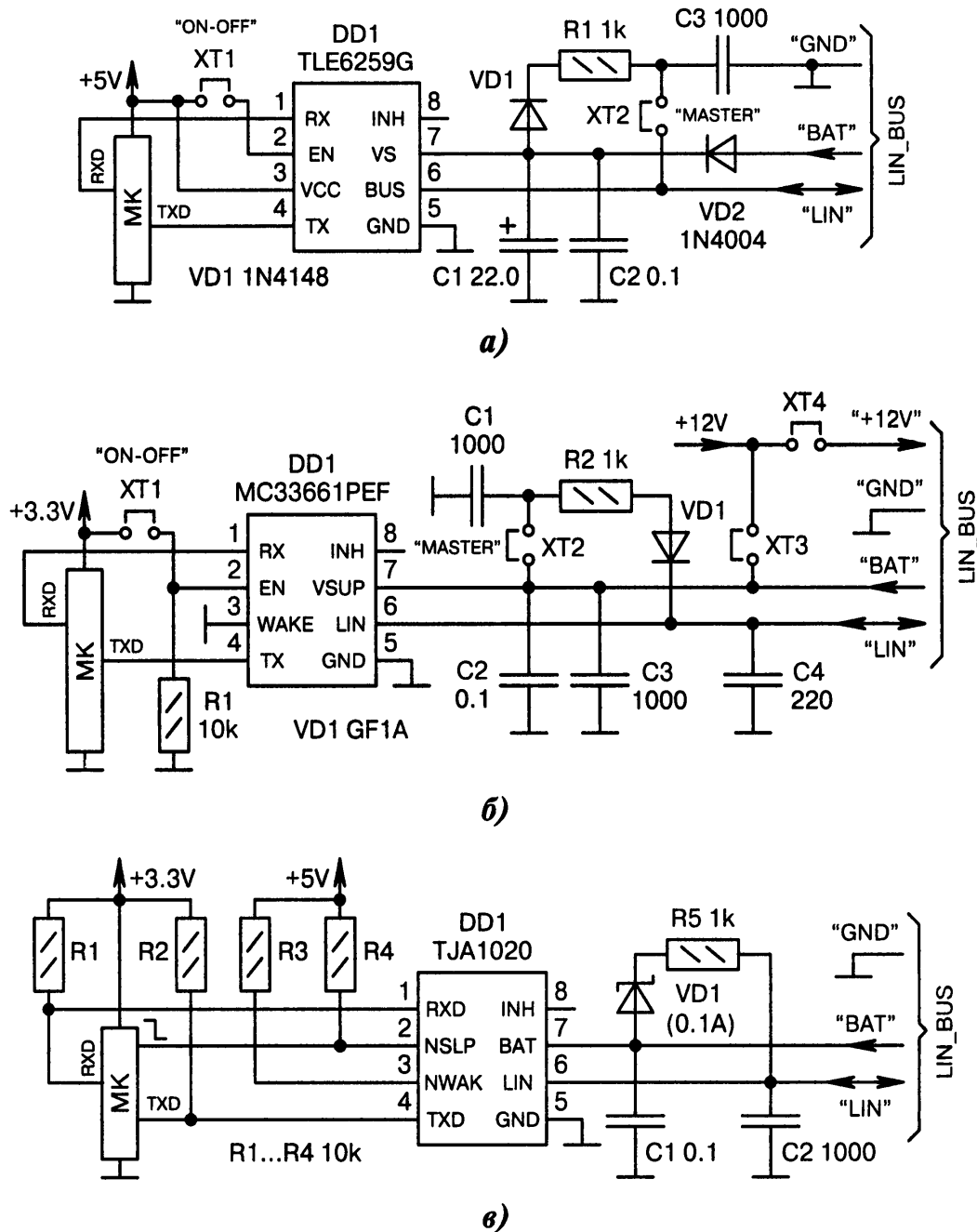
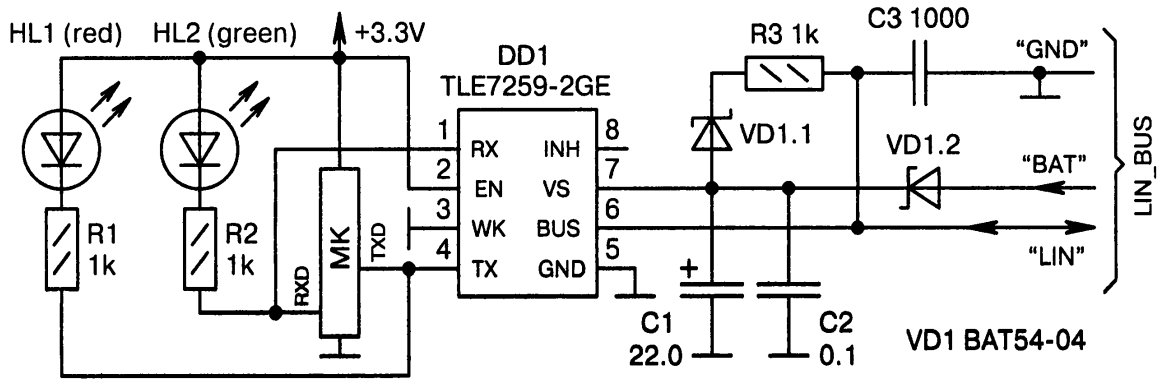


Рис. 7.11. Схемы подключения драйверов интерфейса LIN к МК (начало):

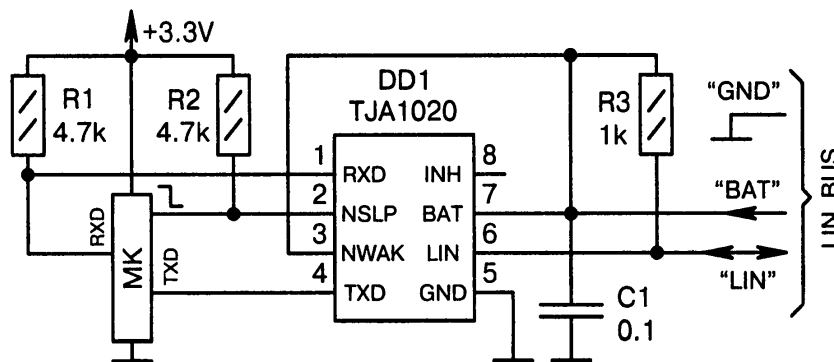
а) *DD1* — это драйвер интерфейса LIN. Его работа активируется джампером *XT1*. Джампер *XT2* определяет сетевую работу в режимах «ведомый» или «ведущий». В цепь *BAT* подаётся напряжение от внешней батареи/аккумулятора 12 В;

б) аналогично Рис. 7.11, а, но с другим драйвером *DD1* и джамперами *XT3*, *XT4*, позволяющими подавать питание +12 В в цепи *BAT* и +12V. Варианты: $R2 = 3.3k$, $VD1 = BAT54$, $C4 = 0$;

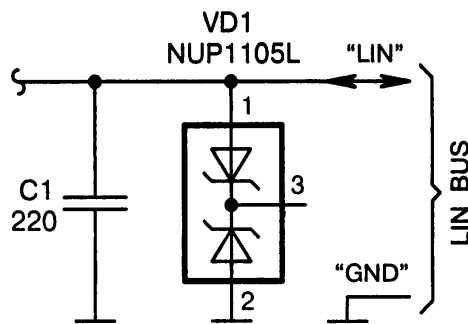
в) драйвер LIN *DD1* работает только в режиме «ведущий» («мастер»). Входы *DD1:2*, *DD1:4* имеют внутри «pull-down» резисторы 125...800 кОм, выход *DD1:1* выполнен с открытым стоком. НИЗКИМ уровнем с верхнего выхода МК микросхема *DD1* переводится в ждущий режим; ☹



а)



б)



в)

Рис. 7.11. Схемы подключения драйверов интерфейса LIN к МК (окончание):

г) аналогично Рис. 7.11, а, но с более современной версией микросхемы *DD1*, отсутствием джамперов и светодиодной индикацией сигналов передачи *HL1* и приёма *HL2*;

д) аналогично Рис. 7.11, а, но более просто. Наличие резистора *R3* определяет режим работы «ведущий», отсутствие — «ведомый». В схеме не предусмотрены защитные диоды, поэтому необходимо следить за полярностью подаваемого извне напряжения в цепь *BAT*;

е) сборка сапрессоров *VD1* разработана специально для защиты шин LIN/CAN

7.12. Часы реального времени RTC

На Рис. 7.12, а...г показаны схемы подключения к МК внешних микросхем, организующих счёт реального времени (RTC — Real Time Clock). Особый интерес здесь представляют способы организации бесперебойного питания часов.

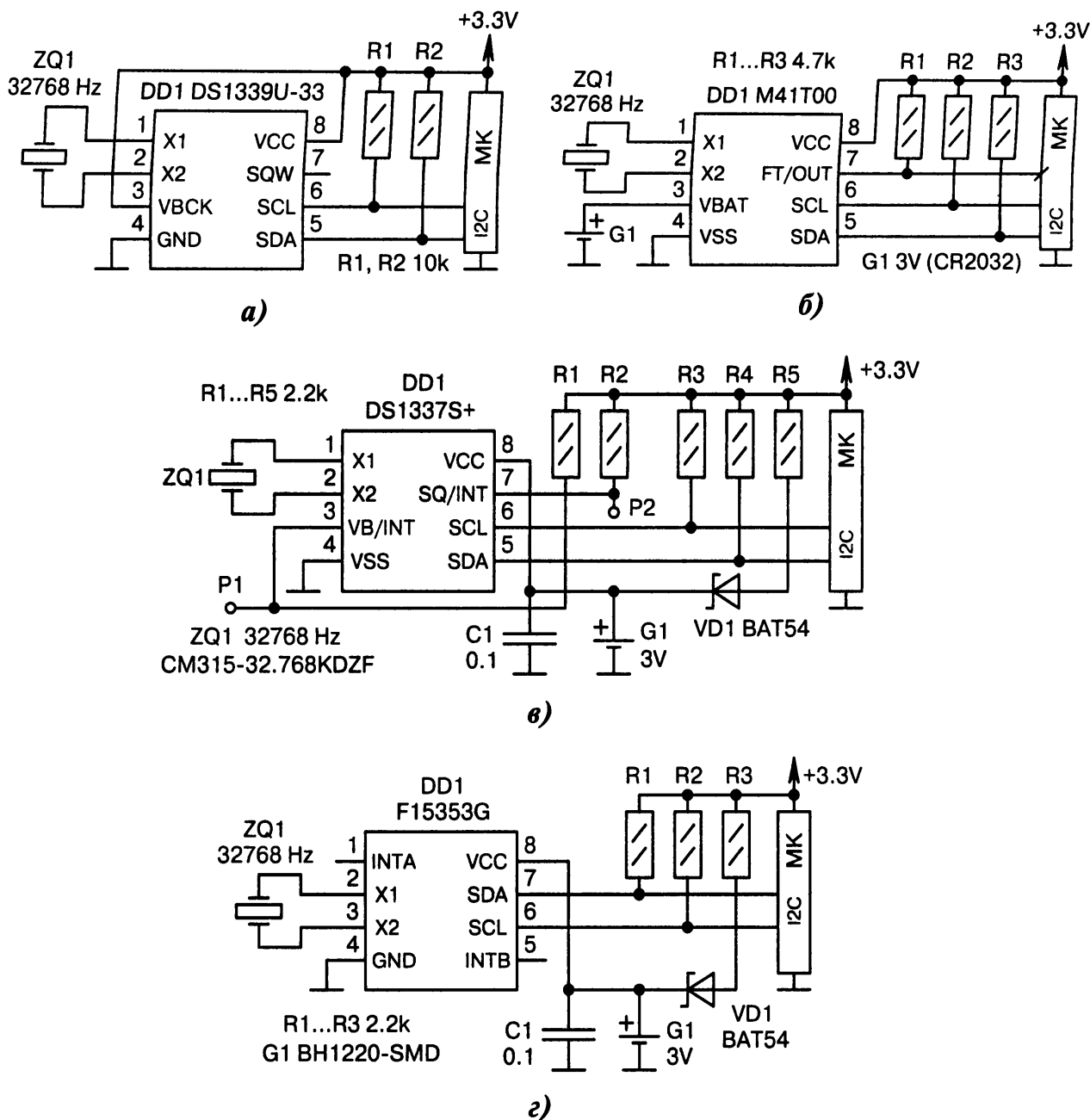


Рис. 7.12. Схемы подключения внешних микросхем RTC к МК:

а) *DD1* — это микросхема часов реального времени, управляемая по шине I²C. Внешняя батарея не используется, поскольку вывод *VBACK* соединяется с общим питанием;

б) аналогично Рис. 7.12, а, но с другим типом *DD1*, резервной батареей *G1* и возможностью автокалибровки времени. Калибровка заключается в том, что МК измеряет частоту 512 Гц на выводе *FT/OUT* микросхемы *DD1* и программно подстраивает её управляющий регистр. Это позволяет добиться точности ± 5 с в месяц при температуре $+25^\circ\text{C}$. Варианты: *DD1* = ISL12081B8Z;

в) микросхема часов реального времени *DD1* питается от источника +3.3 В через резистор *R5* и диод *VD1* или от батареи *G1* при пропадании питания. В последнем случае ход часов не прерывается, ток покоя 1.5 мкА. На контактных площадках *P1*, *P2* можно осциллографом наблюдать сигналы прерывания *INT* или использовать их для управления внешними устройствами;

г) аналогично Рис. 7.12, в, но с другой микросхемой *DD1*. Каналы прерывания *INTA*, *INTB* не используются. Особенность — очень низкий ток покоя микросхемы *DD1*, который составляет всего лишь 0.55 мкА. Диод *VD1* не даёт разрядиться батарее *G1* через цепь питания +3.3 В

7.13. Интерфейс IrDA

Интерфейс IrDA (Infra red Data Association [7-3]) часто называют «инфракрасным» за его способность осуществлять связь в ИК-диапазоне (Рис. 7.13, а...е).

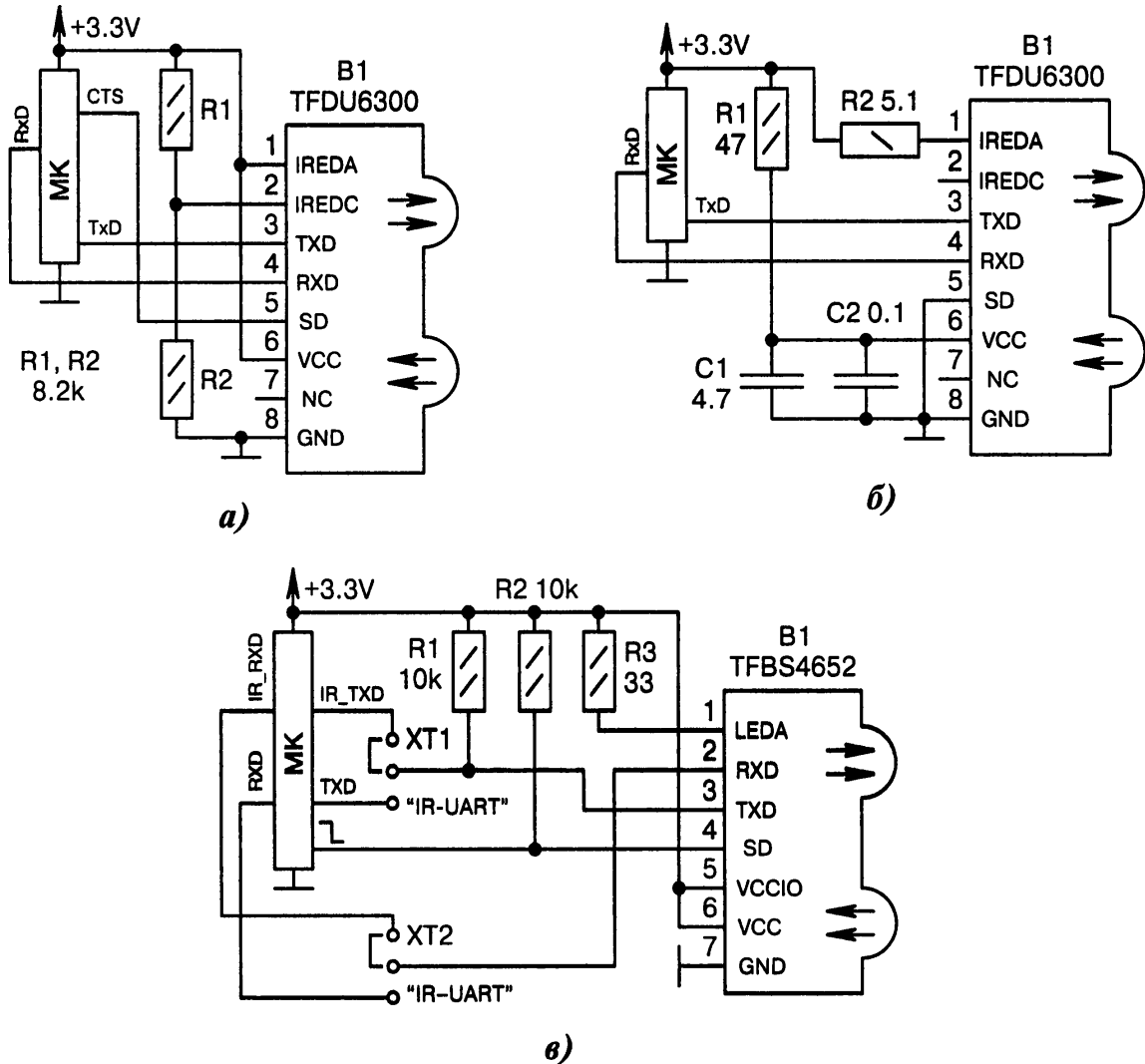


Рис. 7.13. Схемы подключения трансиверов IrDA к МК (начало):

а) передающий ИК-диод находится между выводами $B1:1$ (анод) и $B1:2$ (катод), при этом к катоду внутри модуля $B1$ подключается транзисторный драйвер. Токоограничивающий резистор для ИК-диода не требуется, поскольку питание меньше 3.6 В. Приёмная часть находится внутри ИК-модуля, выходным сигналом является RXD . Модуль можно выключить сигналом CTS ;

б) аналогично Рис. 7.13, а, но с другим типом модуля $B1$ и без перехода в режим «Shutdown», т. к. вывод SD соединяется с общим проводом GND . Ток ИК-диода ограничивается резистором $R2$. Резистор $R1$ совместно с конденсатором $C1$ образует накопительную цепочку по питанию;

в) $B1$ — это инфракрасный приёмопередатчик интерфейса IrDA. Скорость обмена данными составляет 9.6...115.2 кбит/с на расстоянии 20...50 см, длина волны 880...900 нм. Дамперами $XT1$, $XT2$ синхронно выбирается один из двух каналов передачи/приёма: IRDA или UART. Сигналом ВЫСОКОГО уровня с нижнего выхода МК модуль $B1$ отключается по входу SD . Резисторы $R1$, $R2$ не позволяют «висеть в воздухе» входам $B1$ при сбросе МК. Резистор $R3$ оптимизирует ток потребления и излучаемую мощность. Для напряжения +3.3 В в даташите рекомендуется его сопротивление 36 Ом. Варианты: $B1 = \text{HSDL-3209-021}$, $R3 = 27$, без $XT1$ и $XT2$; ☹

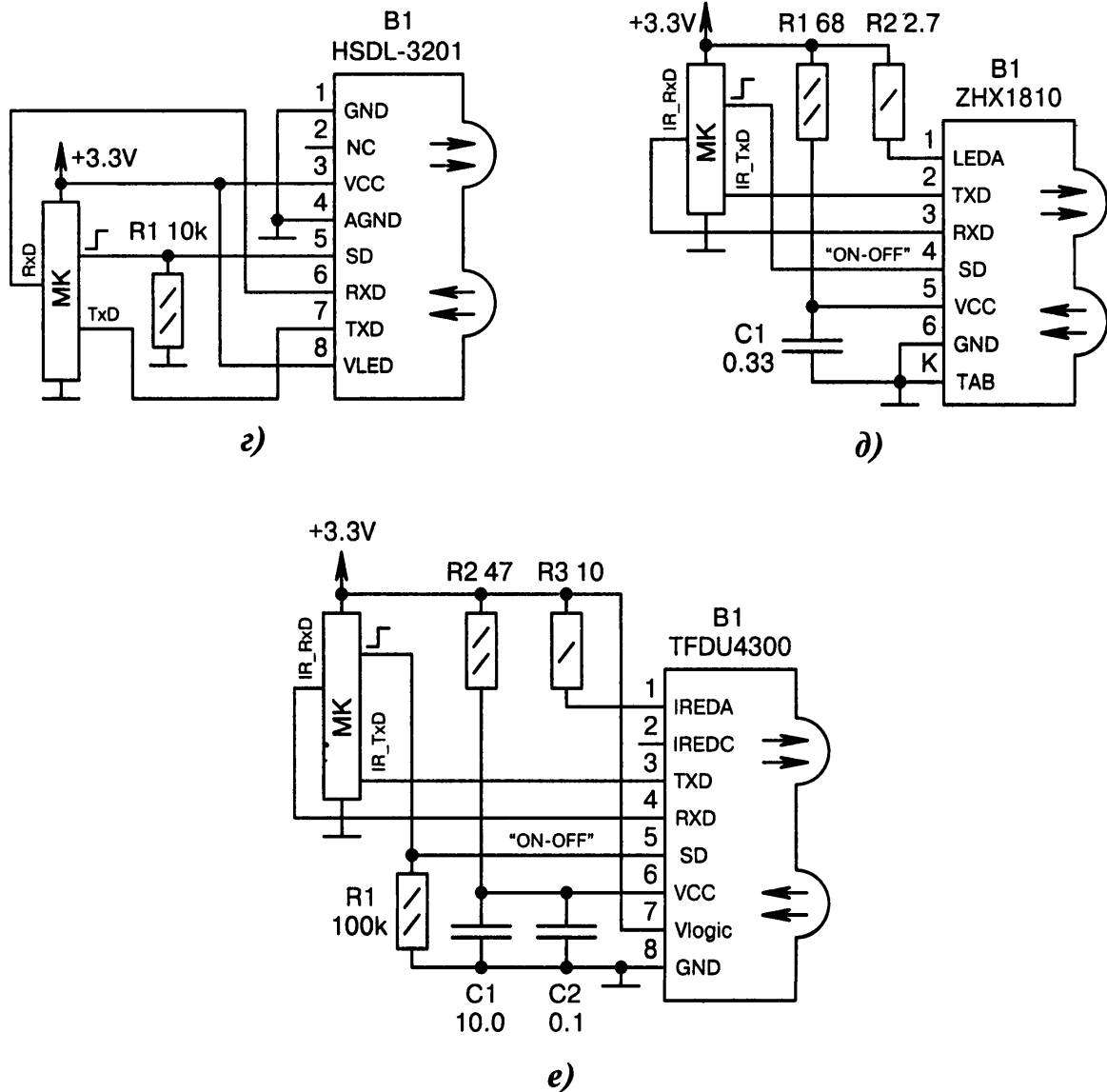


Рис. 7.13. Схемы подключения трансиверов IrDA к МК (окончание):

г) ИК-трансивер *B1* обеспечивает беспроводной обмен данными на скорости 115.2 кбит/с. Цепь *VLED* внутри модуля *B1* подключается к ИК-диоду через встроенный стабилизатор тока 32 мА, поэтому внешний токоограничивающий резистор не требуется. Сигналом ВЫСОКОГО уровня с верхнего выхода МК можно отключить модуль *B1*;

д) аналогично Рис. 7.13, а, но с другим типом трансивера *B1*, имеющим меньше выводов. Буквой «К» обозначается контакт от корпуса трансивера. Ток излучающего светодиода составляет 0.25 А, ток приёмника 0.15 мА, скорость передачи данных 115 кбит/с, дистанция 1 м. Варианты: $R2 = 2.2$, цепь *SD* отсоединяется от МК и подключается к джамперу, который коммутирует цепь к питанию или к общему проводу *GND*;

е) аналогично Рис. 7.13, а, но с более мощным ИК-трансивером *B1*. Скорость передачи данных 9.6...115.2 кбит/с, расстояние 0.7...12 м, длина волны 880...900 нм. Сигналом ВЫСОКОГО уровня на выводе *SD* модуль *B1* отключается. Вывод *B1:2* информационный, точнее тестовый для ИК-диода, поэтому он никуда не подключается. Варианты: $R3 = 5$, $C1 = 4.7$, вывод *B1:5* соединить с общим проводом *GND* (т. е. отключить программно модуль *B1* нельзя); *B1* = PRM841-N11 (меньшее на единицу число выводов, без сигнала *Vlogic*)

7.14. Интерфейс SPI

Интерфейс SPI является одним из самых массовых в микроконтроллерных применениях. Обычно сигналы интерфейса SPI подключаются к выводам МК напрямую или через последовательные резисторы 22...220 Ом. Однако в некоторых случаях интерфейсные сигналы полезно буферизировать (Рис. 7.14, а, б).

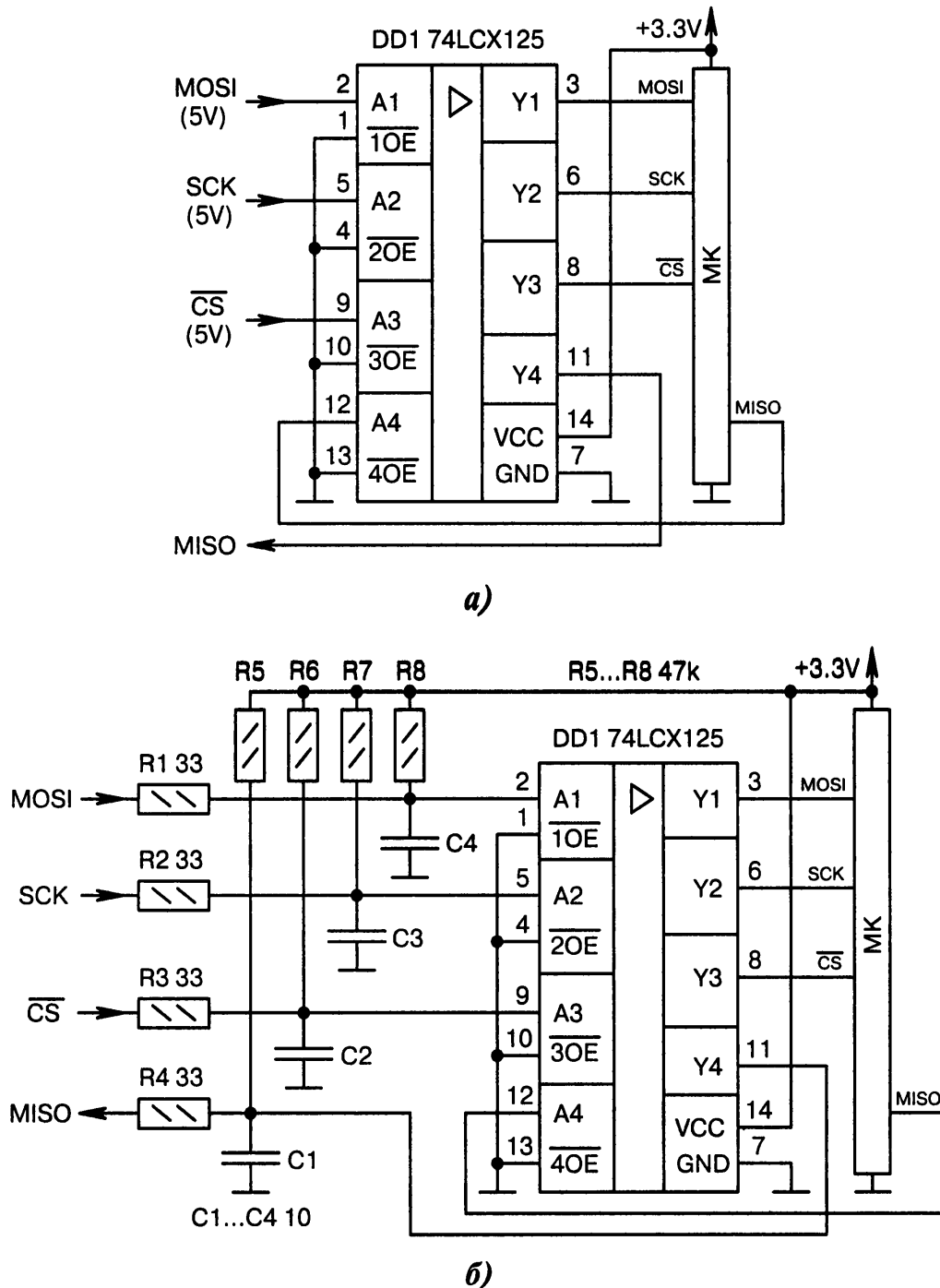


Рис. 7.14. Схемы буферизации сигналов интерфейса SPI:

а) двунаправленное сопряжение уровней 5/3.3 В при помощи буферной микросхемы *DD1*, которая имеет входы, толерантные к повышенному напряжению;

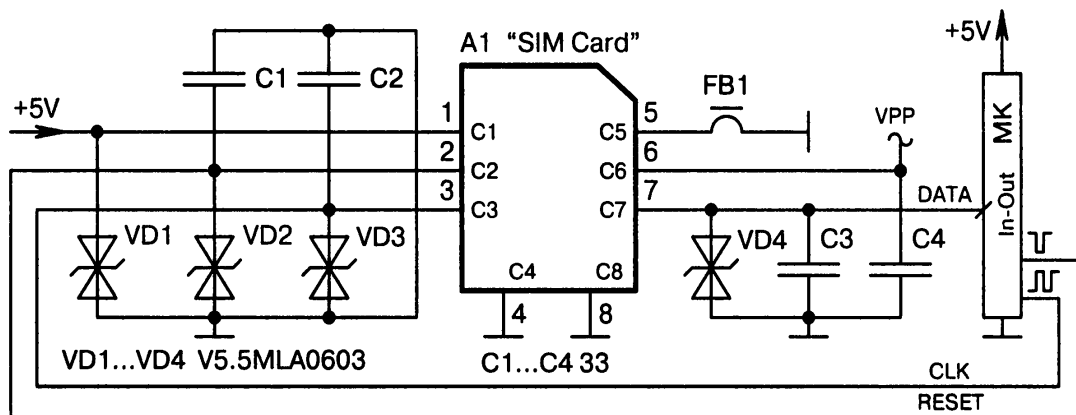
б) микросхема *DD1* служит защитным буфером для МК, элементы *R1...R8*, *C1...C4* устраняют «звон» на фронтах импульсов

7.15. SIM-карты

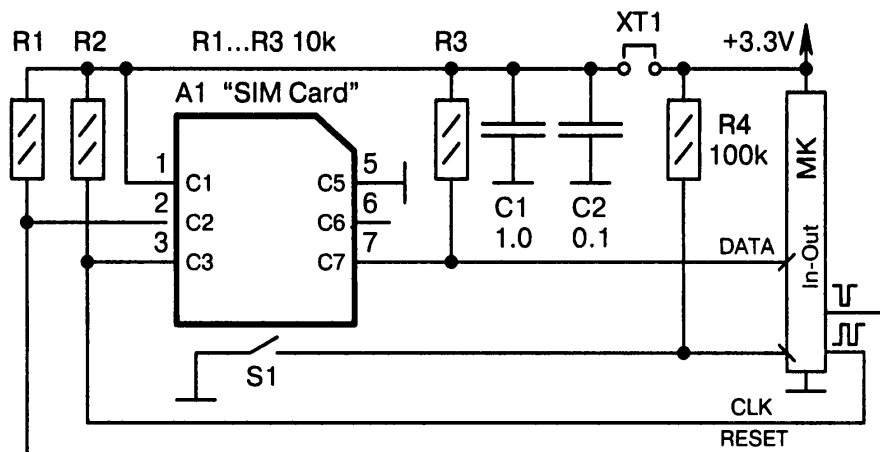
Разъём подключения телефонных SIM-карт вводится в отладочную плату тогда, когда «всё есть, но ещё чуть-чуть чего-то не хватает». SIM-карта является разновидностью обычной смарткарты стандарта ISO 7816.

Внутри SIM-карты содержатся следующие блоки: управляющий контроллер, ОЗУ, ПЗУ. Существует несколько конструктивных и аппаратных разновидностей SIM-карт, отличающихся между собой размерами и техническими параметрами, в том числе типом памяти и напряжением питания [7-4].

На Рис. 7.15, а, б показаны схемы подключения SIM-карт к МК.



а)



б)

Рис. 7.15. Схемы подключения SIM-карт к МК:

а) подключение пятивольтовой SIM-карты к МК. Напряжение V_{PP} подаётся для перепрошивки карты. Сапрессоры $VD1...VD4$ защищают от статического электричества. Резервные выходы $A1:C4$, $A1:C8$ не используются;

б) аналогично Рис. 7.15, а, но с более современной трёхвольтовой SIM-картой. В конструкции имеется механический замыкатель $S1$, который срабатывает при установке SIM-карты в слот. Таким образом МК программно определяет факт наличия/отсутствия SIM-карты в держателе. Джемпер $XT1$ отключает питание от карты. Сам МК должен поддерживать на программном уровне систему команд Smart Card ISO 7816-3. Варианты: вместо джемпера $XT1$ может быть установлен электронный ключ на полевом транзисторе, управляемом от МК

7.16. Схемотехника внешних подключений

В отладочных платах поддерживаются не только внутренние интерфейсы, но и даётся возможность подключения внешних интерфейсов. Для этих целей предусматриваются специальные разъёмы и контактные площадки (Рис. 7.16, а...д).

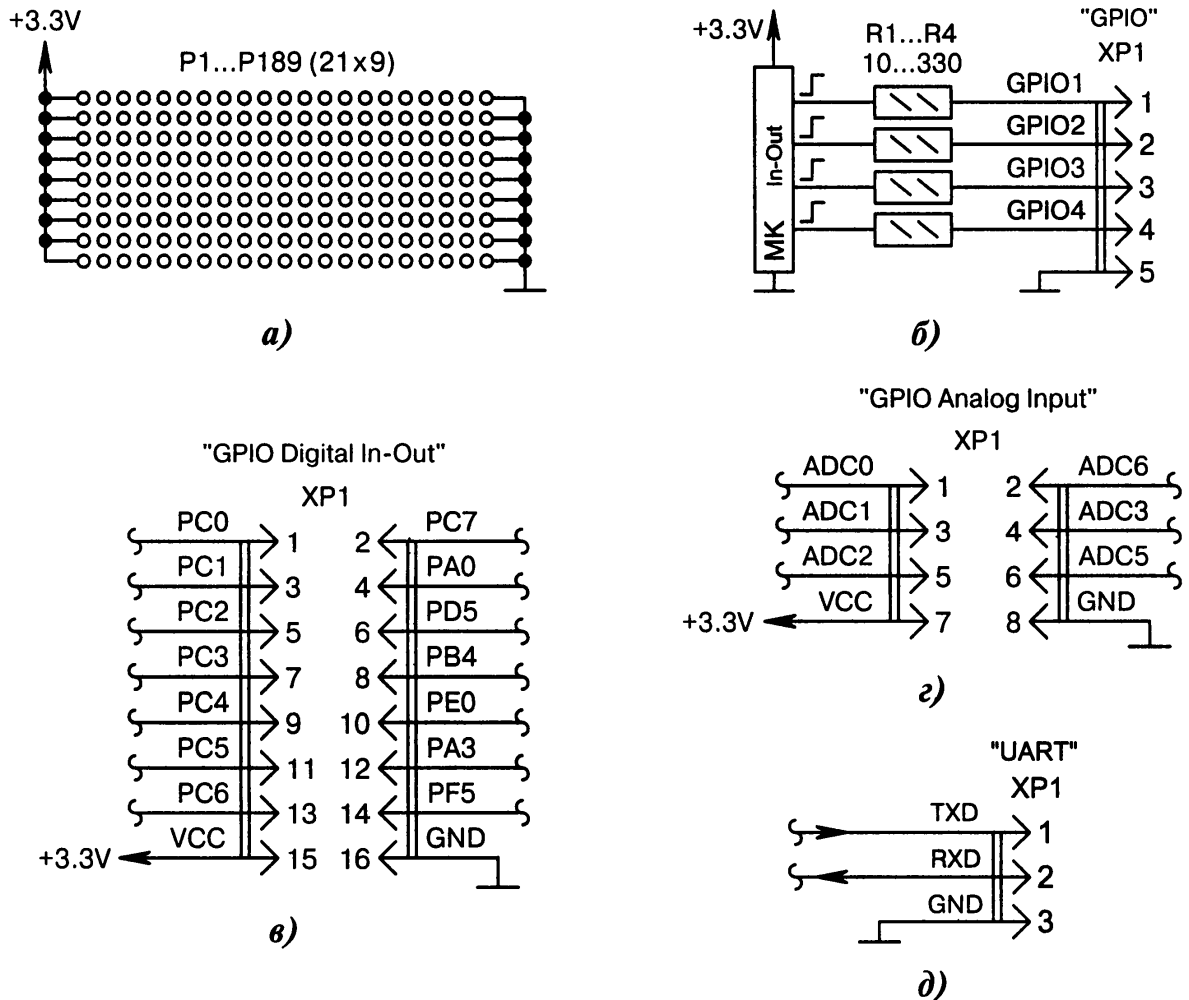


Рис. 7.16. Схемотехника внешних подключений:

а) P1...P189 — это контакты для макетирования (Prototype Area). Здесь можно распаять адаптер какого-либо внешнего интерфейса и соединить его с МК. Варианты: контакты 13x2;

б) если резисторы R1...R4 имеют низкое сопротивление 10...47 Ом, то они служат для подавления «звона» на фронтах сигналов. Если их сопротивление составляет 100...330 Ом, то они ограничивают ток и могут защищать МК от КЗ по выходу;

в) разъём XP1 может состоять из двух линеек контактных соединителей типа PLS или одного общего разъёма серии ВН. Сигналы цифровых входов/выходов МК PC0...PF5 показаны условно, их порядок и количество не стандартизованы;

г) судя по маркировке сигналов ADC1...ADC6, к контактам разъёма X1 подключаются шесть аналоговых входов АЦП МК. Однако входы программно можно перенастроить на выходы, следовательно, названия сигналов ещё не гарантируют их функциональности;

д) для сигналов интерфейса UART во избежание недоразумений с маркировкой лучше указывать стрелками (или другим понятным способом) реальное направление передачи/приёма информации. Вместо разъёма XP1 могут быть отдельные контактные площадки

7.17. Прочие интерфейсы

На Рис. 7.17, а...о показаны схемы подключения устройств с прочими (необычными, оригинальными, узкоспециализированными, малораспространёнными) интерфейсами к МК.

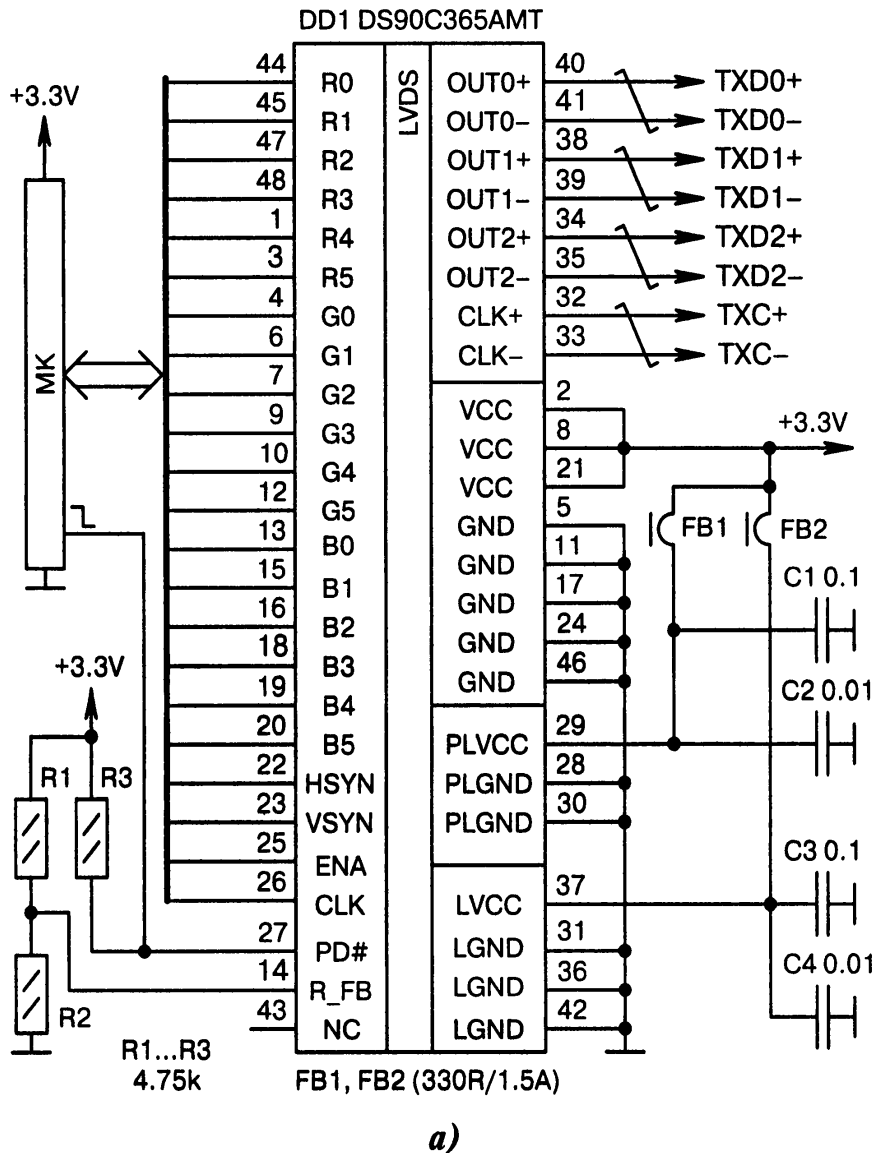


Рис. 7.17. Схемы подключения прочих интерфейсов к МК (начало):

а) микросхема *DD1* осуществляет сопряжение МК с TFT-матрицей, поддерживающей интерфейс LVDS (Low-Voltage Differential Signaling). Производится преобразование параллельного 18-битного цветового кода с выходов МК (сигналы трёх цветов R, G, B по 6 бит на каждый) в последовательные дифференциальные данные *OUT0+...OUT2-*, *CLK+*, *CLK-*. Дополнительно в телевизионный сигнал подмешиваются синхроимпульсы строчной *HSYNC* и кадровой *VSYN* развёрток, а также сигнал разрешения данных *DE*. Максимальная частота тактового сигнала *CLK* составляет 87.5 МГц. Логическим уровнем с нижнего выхода МК можно включить/отключить выдачу данных с микросхемы *DD1*. Нагрузка дифференциальных пар LVDS должна иметь сопротивление 100...120 Ом, разность потенциалов между линиями в парах составляет 350 мВ, полярность сигналов определяется по направлению тока. Главные достоинства интерфейса LVDS: высокая помехозащищённость, экономичность, быстродействие; ☹

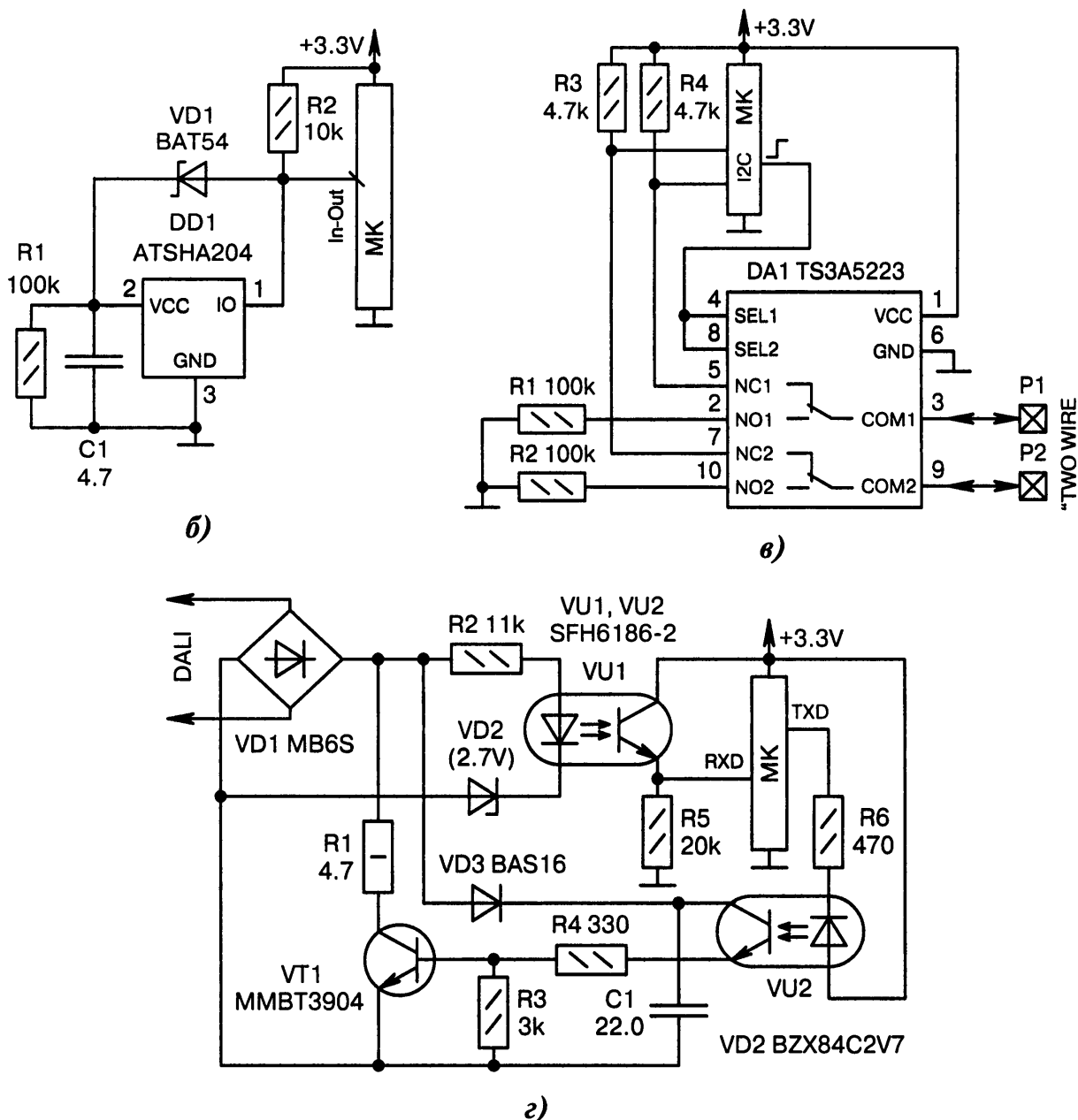
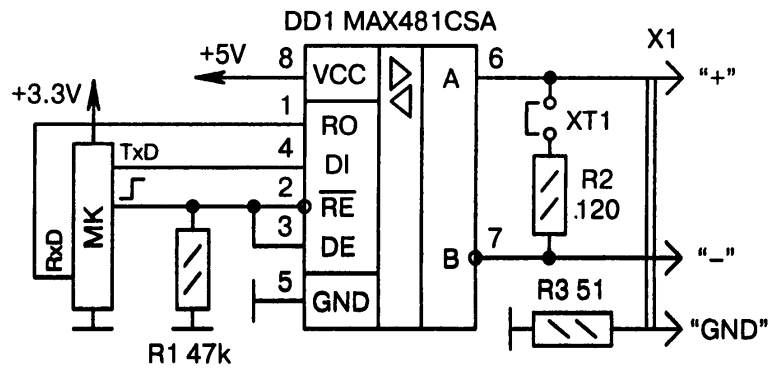


Рис. 7.17. Схемы подключения прочих интерфейсов к МК
(продолжение):

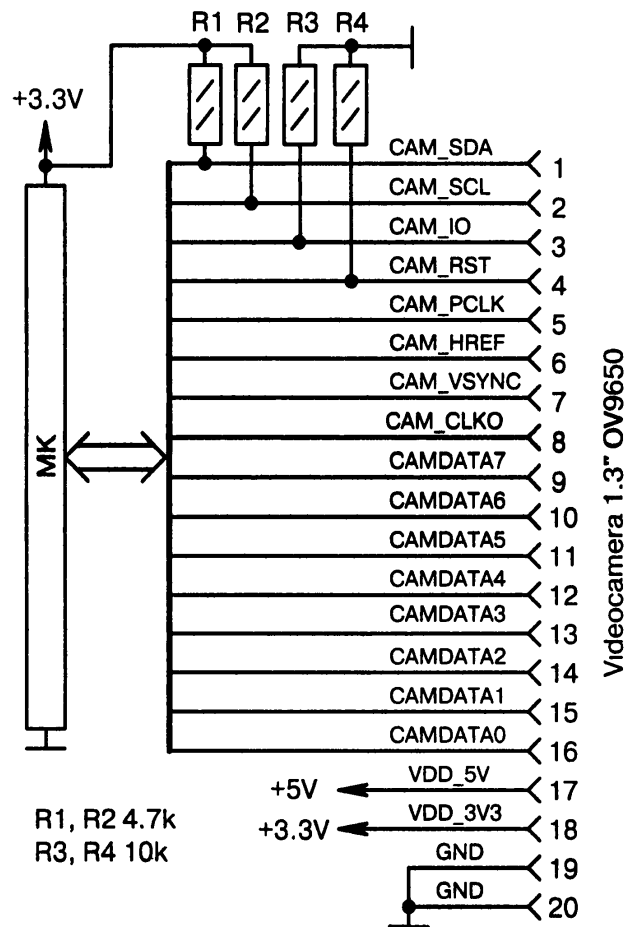
б) *DD1* — это микросхема, содержащая уникальный 72-битный код, который позволяет однозначно идентифицировать отладочную плату с целью защиты от нелегального копирования и подделок. Связь с МК осуществляется двунаправленная по одному проводу с паразитным питанием через диод Шоттки *VD1* и резистор *R1*. Конденсатор *C1* накопительный, резистор *R2* позволяет быстро его разрядить при выключении питания;

в) ВЫСОКИМ/НИЗКИМ уровнем с выхода МК коммутируются две линии двухпроводного интерфейса TWO WIRE. Это может быть шина I²C или ей подобная. Аналоговые ключи в микросхеме *DA1* двунаправленные. Резисторы *R1*, *R2* нужны для того, чтобы внешний контроллер по сигналам НИЗКОГО уровня на контактах *P1*, *P2* узнал об отключении шины от МК;

г) подключение МК к низкоскоростному интерфейсу DALI (Digital Addressable Lighting Interface), предназначенному для управления световыми диммерами и электронными балластами люминесцентных ламп [7-5]. В сетевой структуре DALI может находиться до 64 независимых узлов. Оптопары *VU1*, *VU2* обеспечивают гальваническую развязку по входу и выходу UART; ●



д)

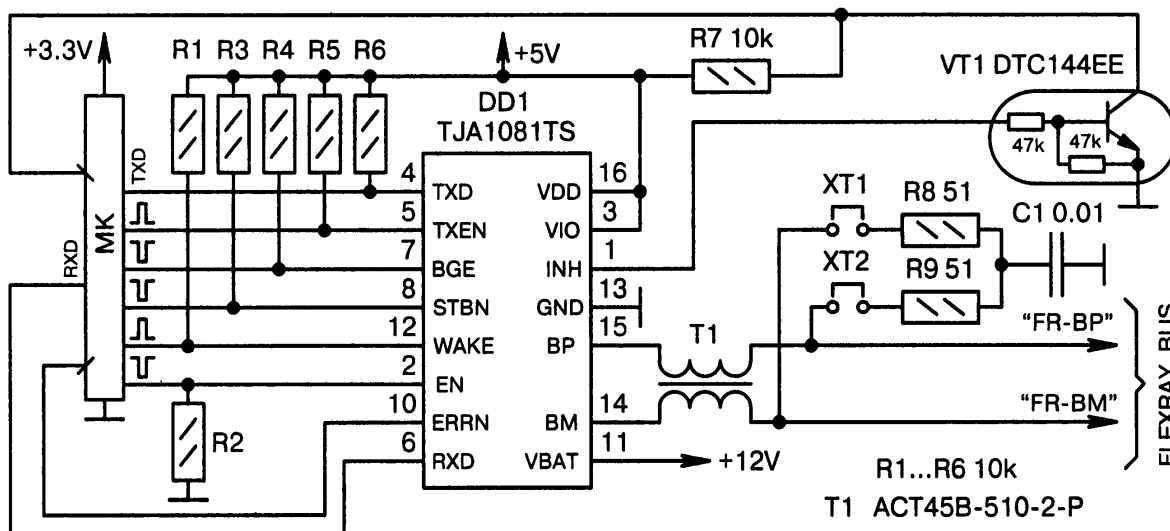


е)

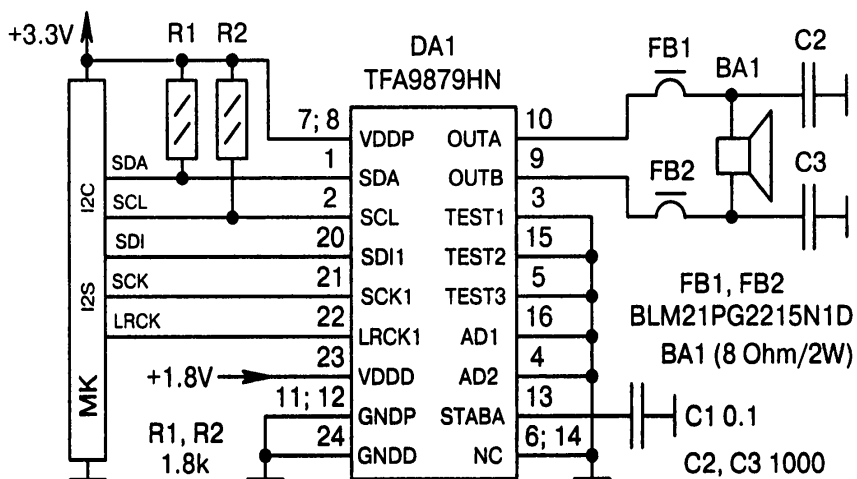
● Рис. 7.17. Схемы подключения прочих интерфейсов к МК (продолжение):

д) интерфейс DMX-512 [7-6] предназначен для сетевого управления световыми приборами по двум проводам. Число 512 означает максимальное количество каналов информации. По одному каналу передаётся один параметр, например в какой цвет окрасить луч. Физической основой служит интерфейс EIA 485, поэтому в схеме применяется драйвер RS-485 *DD1*. Нагрузка *R2* ставится в конце линии связи (джампер *XT1*). Вход МК должен выдерживать напряжение +5 В;

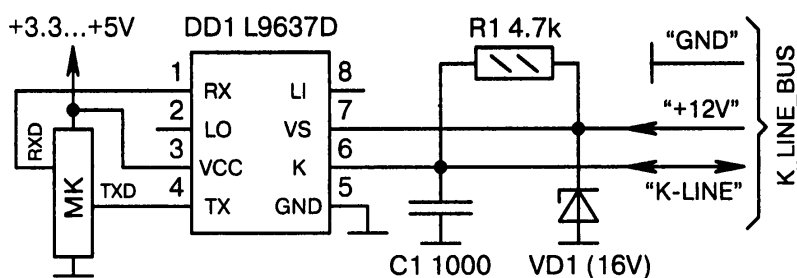
е) подключение видеокамеры OV9650 к МК через кабель-переходник. Параметры видеокамеры: диагональ 1.3 дюйма, 1300×1028 пикселей, RGB/YUV/YCbCr, SXGA (15 fps), VGA (30 fps), QVGA, QQVGA, CIF (60 fps), QCIF, QQCIF (120 fps). Назначение сигналов: *SDA*, *SCL* — управление режимами по шине I²C; *IO* — прерывание; *RST* — сброс; *PCLK*, *CLKO* — тактирование; *HREF*, *VSYNC* — горизонтальные и вертикальные синхроимпульсы; *DATA0...DATA7* — данные; ●



ж)



з)



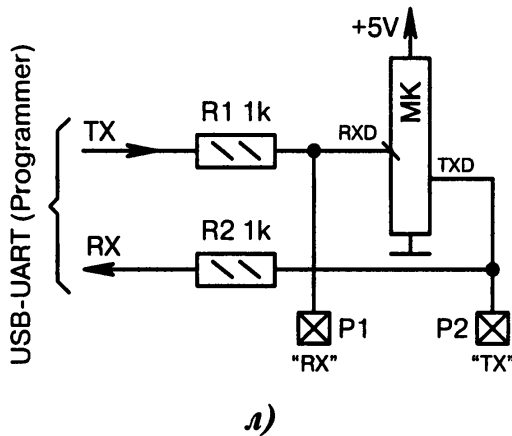
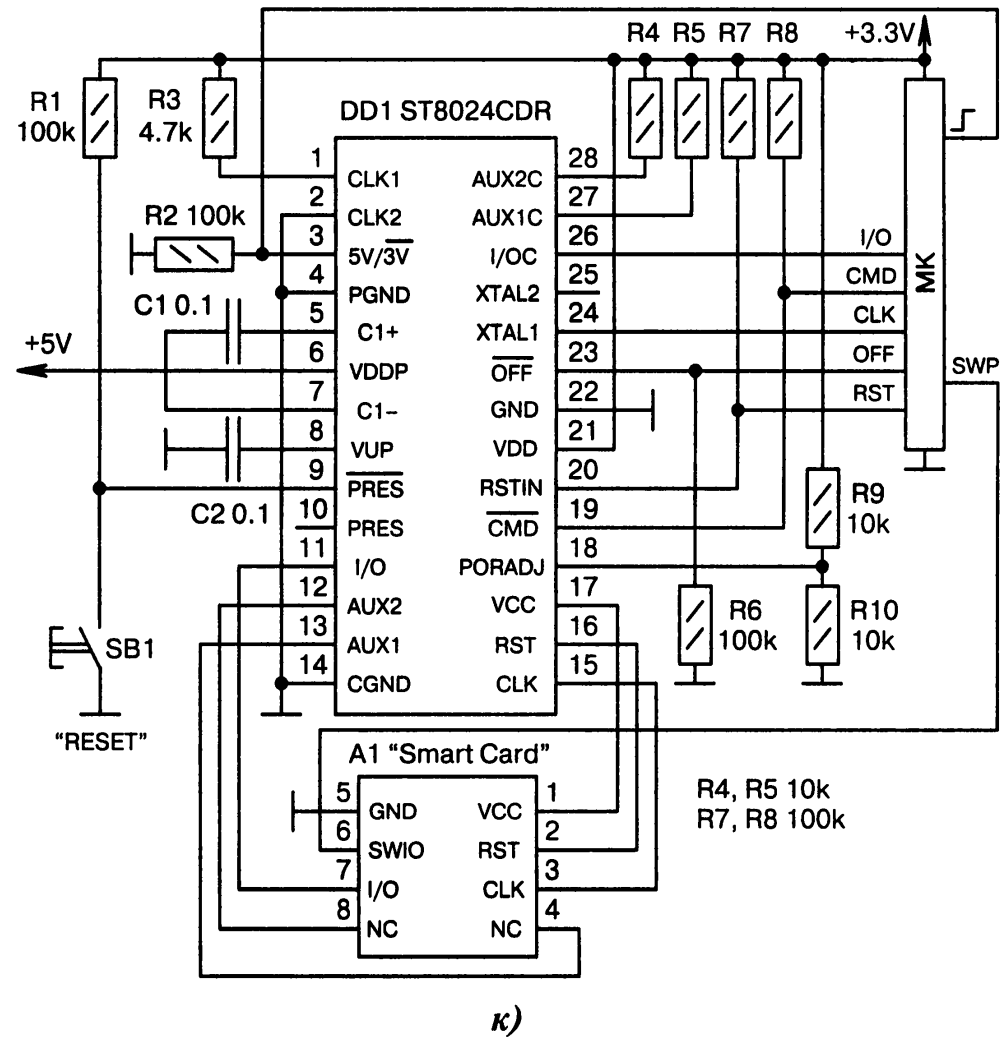
и)

Рис. 7.17. Схемы подключения прочих интерфейсов к МК (продолжение):

ж) *DD1* — это драйвер высокоскоростного автомобильного интерфейса FlexRay [7-7] с пропускной способностью до 10 Мбит/с на витую пару проводов. Управление ведётся по фирменному протоколу. Джемперами *XT1*, *XT2* подключается резистивная нагрузка *R8*, *R9* к шине FlexRay. Сигнал *INH* имеет амплитуду 12 В, поэтому в схему вводится транзисторный ключ *VT1*;

з) *DA1* — это «цифровой» монофонический УНЧ класса «D». Выходная мощность 1.35 Вт на нагрузке 8 Ом при КНИ 0.1%. Полоса звуковых частот зависит от частоты дискретизации сигнала в канале I²S (*SDI*, *SCK*, *LRCK*). Установка режимов ведётся через интерфейс I²C (*SDA*, *SCL*);

и) *DD1* — это драйвер двунаправленного интерфейса K-Line, стандарт ISO 9141 [7-8]. Встроенный в *DD1* аналоговый компаратор в этой схеме не используется: *LI* — вход, *LO* — выход; Ⓣ



● Рис. 7.17. Схемы подключения прочих интерфейсов к МК (продолжение):

к) *DD1* — это специализированная микросхема для работы с картами доступа Smart Card *A1*, которые используются при идентификации различных объектов в сфере денежного обслуживания. Поддерживается работа с трёх- и пятивольтовыми картами доступа согласно стандартам ISO 7816, GSM11.11, EMV. Варианты: контакт *A1:6* свободный;

л) сигналы *TX*, *RX* поступают от компьютера через конвертор USB-UART. Они нужны для программирования через бутлоудер, а также для обмена данными с МК через виртуальный COM-порт. Благодаря высокому сопротивлению резисторов *R1*, *R2* сигналы на контактах *P1*, *P2* не шунтируются. Если обе линии *TXD*, *RXD* МК перевести в режим входа, то компьютер получит доступ к внешнему UART-устройству, подключённому к контактам *P1*, *P2*. МК при этом может прослушивать сигналы через *TXD* или блокировать их НИЗКИМ уровнем на линии *RXD*; ●

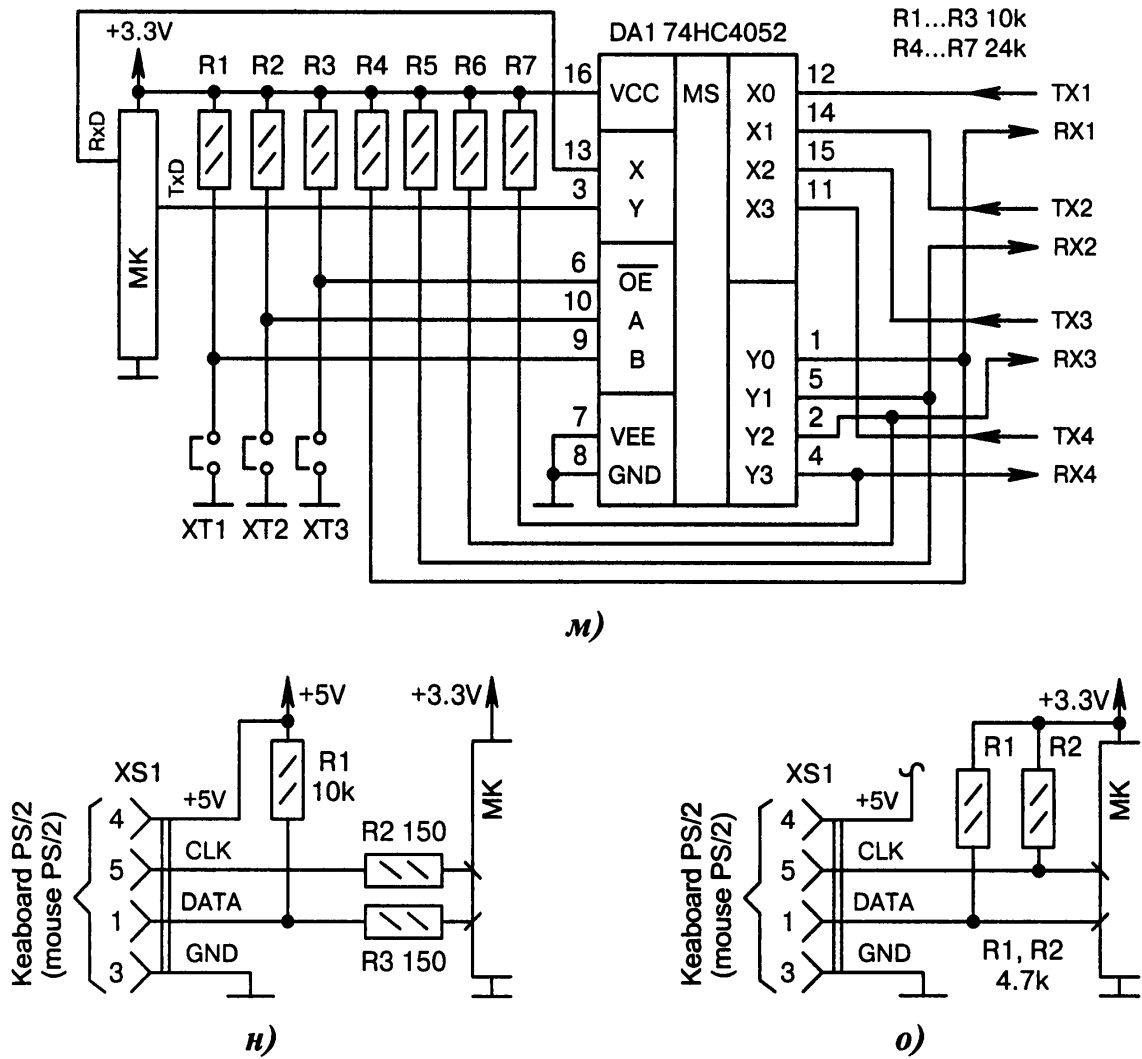


Рис. 7.17. Схемы подключения устройств с прочими интерфейсами к МК (окончание):

м) переключатель сигналов UART от МК на четыре внешних канала выполнен на аналоговых ключах микросхемы DA1. Выбор одного из каналов «1»...«4» производится джамперами XT1, XT2 согласно двоичному коду. Полное отключение канала UART от МК осуществляется джампером XT3, при этом резисторы R4...R7 не позволяют «висеть в воздухе» входам внешних микросхем по цепям RX1...RX4;

н) подключение компьютерной клавиатуры или мыши к МК. Особенность — подтягивающий резистор R1 соединяется с питанием +5 В, поэтому входы МК должны быть толерантными к повышенному напряжению;

о) предполагается, что внешнее устройство, подключаемое к разъёму XS1, имитирует работу клавиатуры или мыши. Резисторы R1, R2 являются нагрузками для выходов с открытыми стоками внешнего устройства. Получается, что ВЫСОКИЕ уровни сигналов CLK, DATA формируются резисторами R1, R2, а НИЗКИЕ — замыканием транзисторных ключей на общий провод во внешнем устройстве

Список использованных источников и литературы к главе 7

- 7-1. Отладка по SWD STM32 [Электронный ресурс] / «hubstub.ru», 2017. — Режим доступа: <https://hubstub.ru/stm32/111-otladka-po-swd-stm32.html>. — 14.04.2017.
- 7-2. LIN интерфейс [Электронный ресурс] / «gaw.ru», 2017. — Режим доступа: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/lin/index.htm>. — 14.04.2017.
- 7-3. Гук, М. Аппаратные интерфейсы ПК: энциклопедия / Михаил Гук. — СПб. : Питер, 2002. — 528 с. : ил. — ISBN 5-94723-180-8.
- 7-4. Ковыряемся в SIM-карте: процессор, память, файловая система + I/O [Электронный ресурс] / «ВымпелКом» (Билайн), 2011. — Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/beeline/blog/133388/>. — 14.04.2017.
- 7-5. DALI – общепринятый стандарт для цифрового управления светом [Электронный ресурс] / OSRAM, 2004. — Режим доступа: http://www.svetm.ru/files/transformatory_epra_patrony/pdf/Кар09_2-EPRA-i-upravlenie-svetom.pdf. — 14.04.2017.
- 7-6. Протокол DMX-512 [Электронный ресурс] / DLL, 2014. — Режим доступа: <http://www.dllab.com/frames/abdmx.htm>. — 14.04.2017.
- 7-7. CAN и LIN и FlexRay [Электронный ресурс] / Гамма-Санкт-Петербург, 2008. — Режим доступа: http://gamma.spb.ru/pictures/articles/doc_82.pdf. — 14.04.2017.
- 7-8. Интегральная микросхема K1055XB8P — двунаправленный последовательный интерфейс шины «К-Line» [Электронный ресурс] / А. И. Сурайкин, 2009. — Режим доступа: http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/IC_K1055XB8P.pdf. — 14.04.2017.

ИНТЕРФЕЙС USB

*Машины должны работать. Люди должны думать.
(Девиз компании IBM)*

8.1. Общие замечания

Интерфейсу USB-2.0 в современных отладочных платах отводится особое место. Именно через него осуществляется связь с компьютером и производится прошивка МК. Возможно, что в будущем канал USB заменят более перспективные беспроводные интерфейсы, но сейчас именно он является главным.

Сопряжение МК с каналом USB подробно рассмотрено в предыдущих книгах «Выпуск 1...3». Теперь настал черёд обратить внимание на практические нюансы и мелкие подробности, ускользающие при поверхностном анализе.

Чтобы легче было ориентироваться, все электрические схемы сгруппированы по функциональному признаку. В частности, отдельно будут рассматриваться информационные и силовые цепи, защитные и конструктивные элементы.

8.2. Конвертеры USB-UART

На Рис. 8.1, а...г показаны схемы однокристальных конвертеров USB-UART.

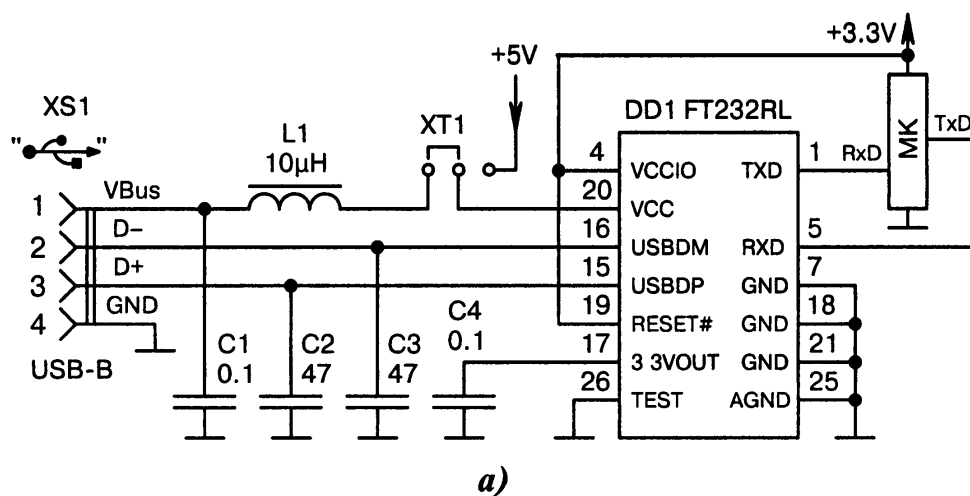


Рис. 8.1. Схемы подключения конвертеров USB-UART (начало):

а) *DD1* — это конвертер USB-UART, не требующий кварцевого резонатора. Джемпером *XT1* выбирается источник питания +5 В для микросхемы *DD1*: от шины *VBus* или от цепи +5V; ☺

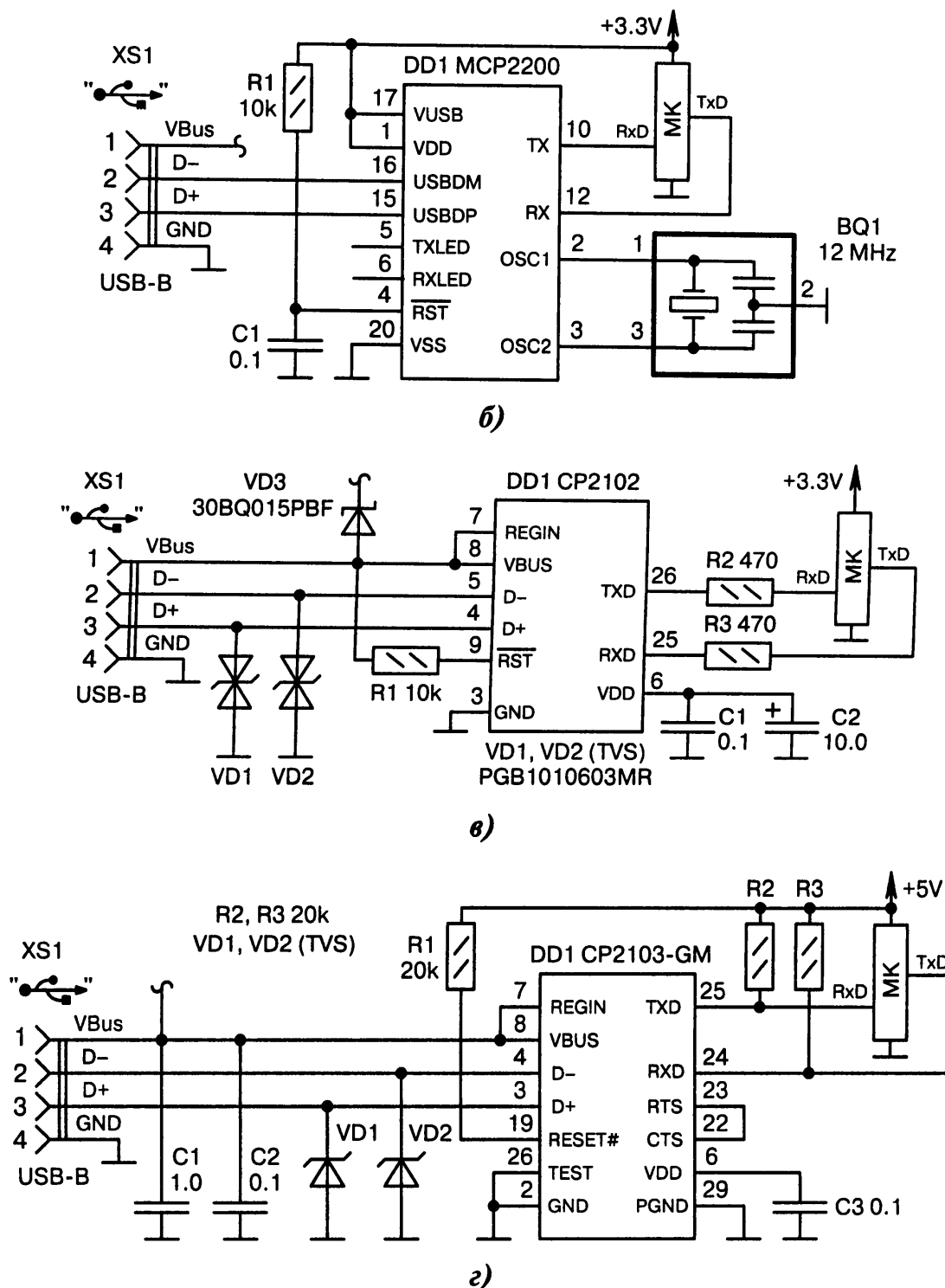


Рис. 8.1. Схемы подключения конвертеров USB-UART (окончание):

б) *DD1* — это конвертер USB-UART, тактовая частота которого стабилизируется керамическим резонатором *BQ1*. Варианты: между выводом *DD1:1* и выводами *DD1:5*, *DD1:6* включить два светодиода с резисторами 1 кОм для индикации процесса приёма и передачи информации;

в) простой преобразователь USB-UART. Микросхема *DD1* содержит полный набор сигналов интерфейса RS-232: *DCD*, *RI*, *DSR*, *DTR*, *RTS*, *CTS*, но они в этой схеме не задействуются. Резистор *R2* ограничивает ток при согласовании уровней 5/3.3 В. Варианты: $C1 = 0$; $R3 = 0$;

г) аналогично Рис. 8.1, б, но с микросхемой *DD1*, которая может использоваться не только как преобразователь USB-UART/RS232, но и как конвертер USB-RS485

8.3. Информационные цепи $D+$, $D-$

К информационным цепям относятся сигналы $D+$, $D-$, через которые, собственно, и происходит обмен данными между МК и компьютером. Цепи $D+$, $D-$ являются дифференциальными, поэтому всё для них должно быть сделано максимально симметрично (Рис. 8.2, а...в).

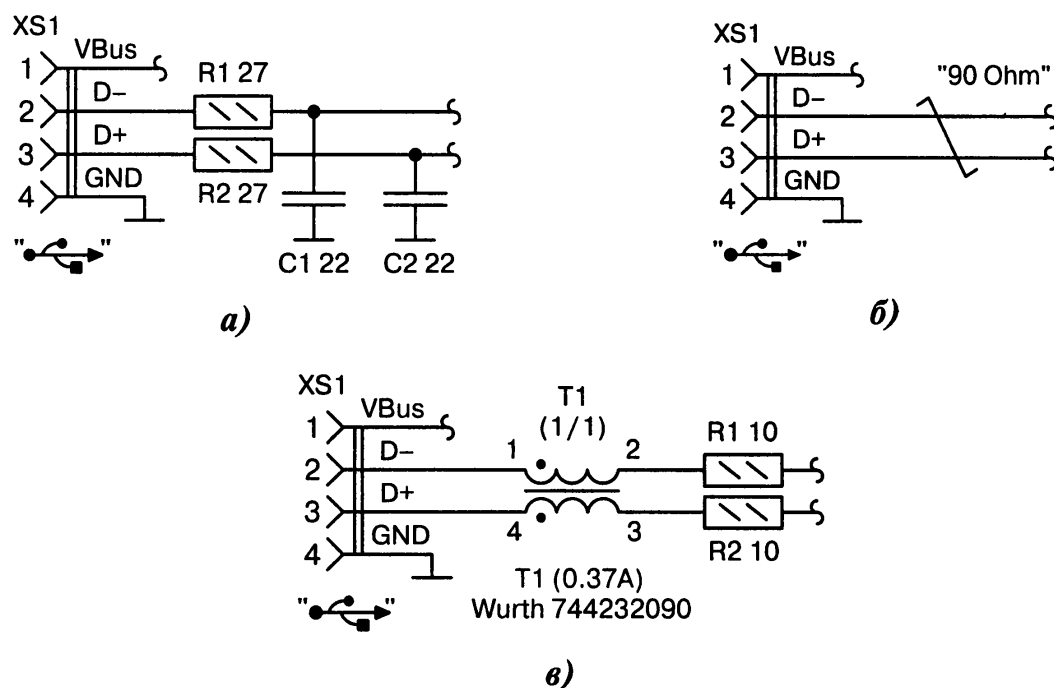


Рис. 8.2. Схемы подключения информационных цепей $D+$, $D-$ канала USB:

а) согласующие RC -цепочки по цепям $D+$, $D-$ являются стандартным схемным решением для канала USB. Они сглаживают выбросы на фронтах импульсов, уменьшают ВЧ-помехи. Варианты: $R1 = R2 = 10 \dots 100$, $C1, C2 = 15 \dots 47$;

б) если МК подключается напрямую к линиям $D+$, $D-$, то на печатной плате желательно сделать симметричную разводку проводников (дифпара). Ширину линий следует выбрать такой, чтобы волновое сопротивление получилось близким к 90 Ом;

в) симметричный ферритовый фильтр на малогабаритном SMD-трансформаторе $T1$ снижает дифференциальные помехи на приём и передачу. Трансформатор $T1$ имеет бифилярную намотку. Сопротивление его обмоток составляет 0,3 Ом, допустимый постоянный ток 0,37 А. Варианты: $R1 = R2 = 0$; $T1 = \text{SRF2012-900Y}$; $T1 = \text{DLW21HN900SQ2}$

8.4. Силовая цепь $VBus$

Цепь питания $VBus$ входит в спецификацию всех стандартов USB. Через неё подаётся напряжение +5 В от компьютера, и через неё же могут быть запитаны другие внешние устройства в режимах «OTG», «Host».

На Рис. 8.3, а...ж показаны схемы использования цепи $VBus$ для подачи питания на плату МК от компьютера. Максимальным считается ток 500 мА, хотя программно он может быть ограничен величиной 100 мА.

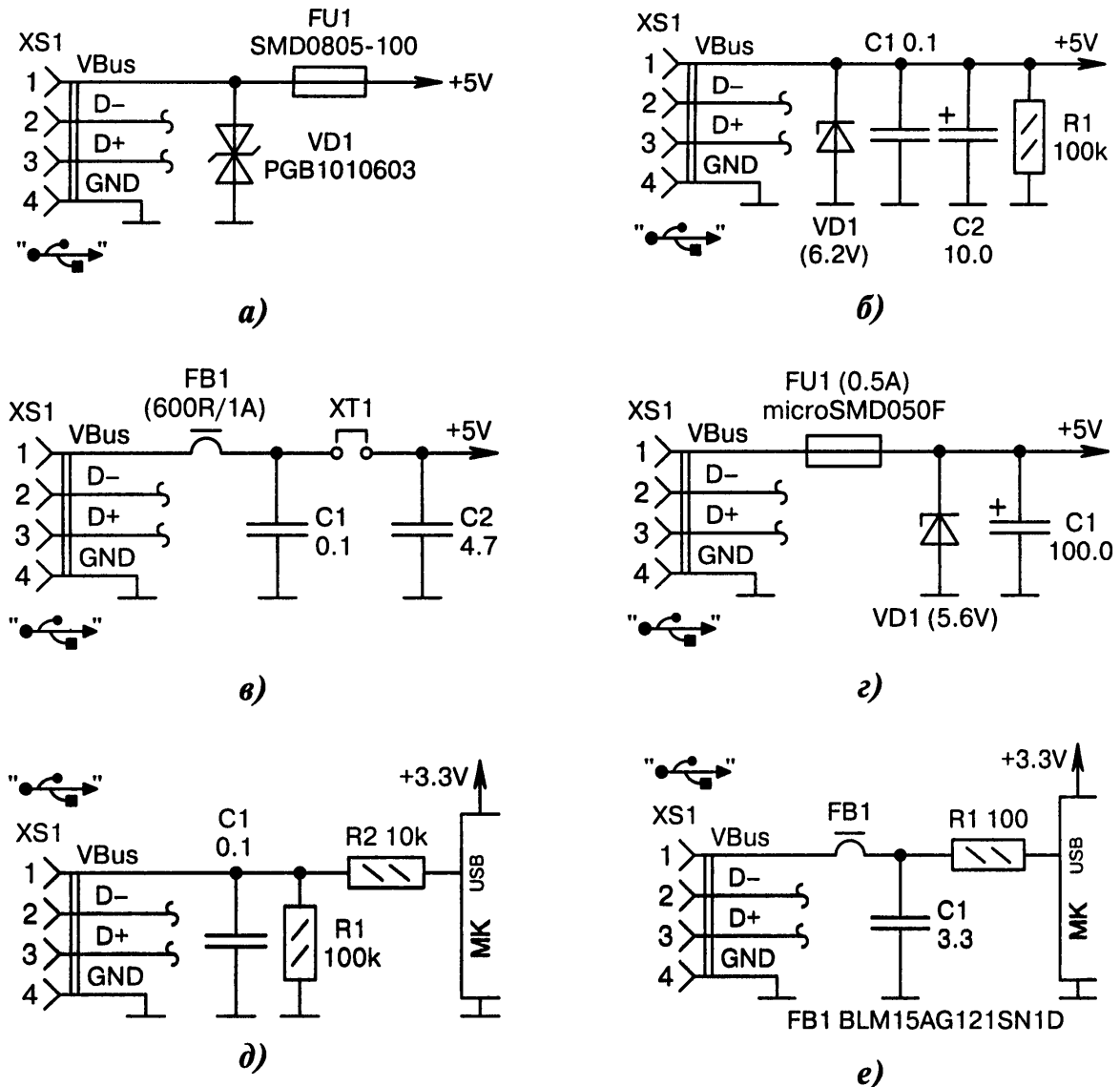


Рис. 8.3. Схемы подключения силовой цепи VBus канала USB (начало):

а) быстродействующий сап्रेसор $VD1$ защищает цепь VBus по напряжению, а самовосстанавливающийся предохранитель $FU1$ — по току. Варианты: $VD1 = PGB0010603MR$;

б) стабилитрон $VD1$ защищает цепь VBus от перенапряжений. Резистор $R1$ разряжает конденсатор $C2$ при отстыковке USB-кабеля. Варианты: $VD1 = BZV55C6V2$; $VD1 = HZU6.8Z-E (6.8 V)$;

в) ферритовая «бусинка» $FB1$ и керамический конденсатор $C1$ подавляют радиочастотные помехи, которые могут наводиться на USB-кабель, например от работы мобильных телефонов. Дампер $XT1$ отключает питание USB, что полезно в диагностических целях;

г) самовосстанавливающийся предохранитель $FU1$ (PolySwitch) защищает устройство от КЗ в цепи +5 В, а стабилитрон $VD1$ — от всплесков напряжения. Варианты: $VD1$ отсутствует, $FU1 = nanoSMDC075F$; $FU1 = SMD1812P050TF$; $FU1 = 0805L050WR$; $FU1 = FSMD010-1206$;

д) в данной схеме цепь VBus служит не для подачи питания на МК, а для проверки наличия связи с компьютером. Если USB-кабель отстыкован, то на входе МК будет НИЗКИЙ уровень, и наоборот. Резистор $R2$ ограничивает ток при всплесках напряжения. Вместо специального входа USB, который имеется далеко не во всех типах МК, можно использовать обычный порт или канал АЦП с точным измерением напряжения VBus;

е) аналогично Рис. 8.3, д, но с другой схемотехникой; ☹

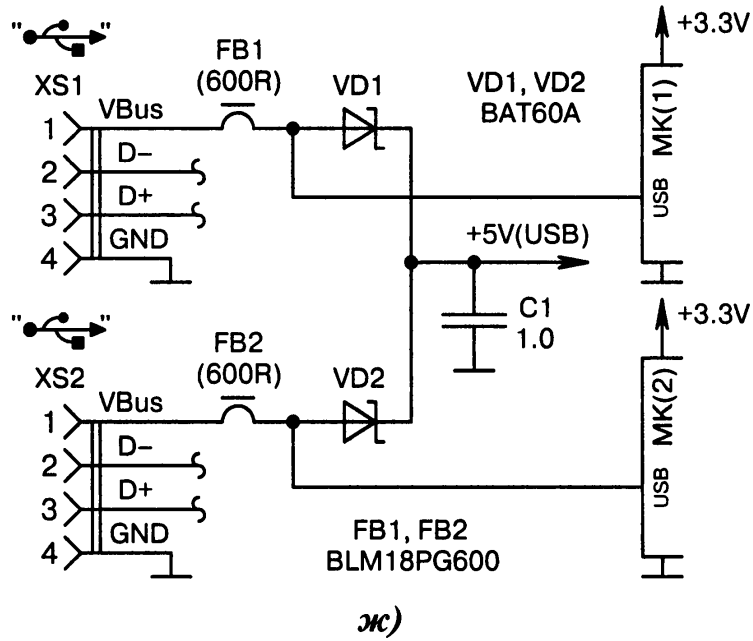


Рис. 8.3. Схемы подключения силовой цепи *VBus* канала USB (окончание):

ж) входы *USB* в МК(1) и МК(2) являются информационными, а не силовыми. Диоды *VD1*, *VD2* развязывают их друг от друга при подключении кабеля к одному из разъёмов *XS1* или *XS2*

8.5. Резисторы выбора режима

Как известно, выбор скорости связи в канале USB-2.0 зависит от точки подключения нагрузочного резистора 1.5 кОм. Если он подключается к цепи *D-*, то устанавливается режим «LS» 1.5 Мбит/с, если к цепи *D+*, то устанавливаются режимы «FS» 12 Мбит/с или «HS» 480 Мбит/с (Рис. 8.4, а...о).

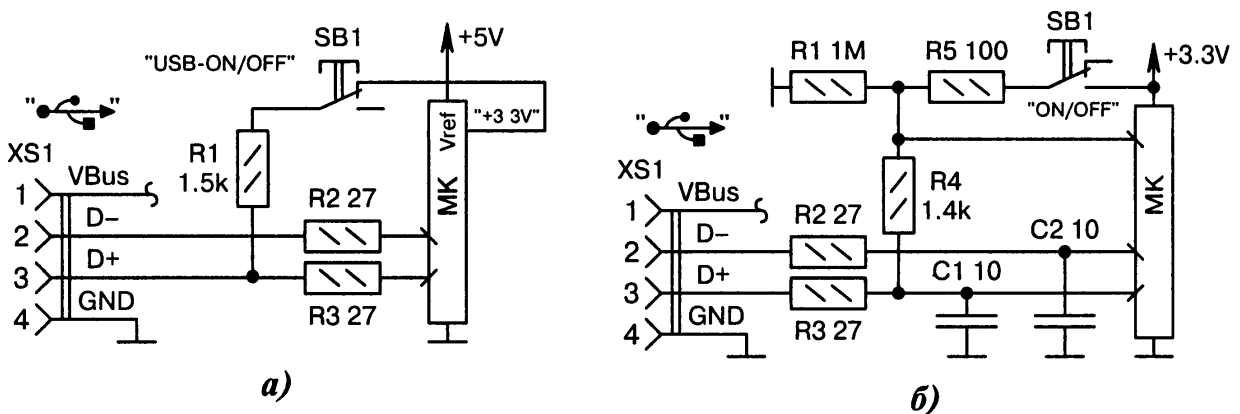


Рис. 8.4. Схемы подключения резисторов выбора режима (начало):

а) размыкание контактов кнопки *SB1* приводит к потере компьютером видимости микроконтроллерного USB-узла. Напряжение *Vref* поступает от внутреннего ИОН МК;

б) аналогично Рис. 8.4, а, но с другой точкой подключения резистора *R4* (после, а не до резистора *R3*), а также с контролем нажатия кнопки *SB1*. Если она нажата, то на верхнем входе МК будет ВЫСОКИЙ уровень. Сумма сопротивлений резисторов *R4*, *R5* должна быть 1.5 кОм; ☹

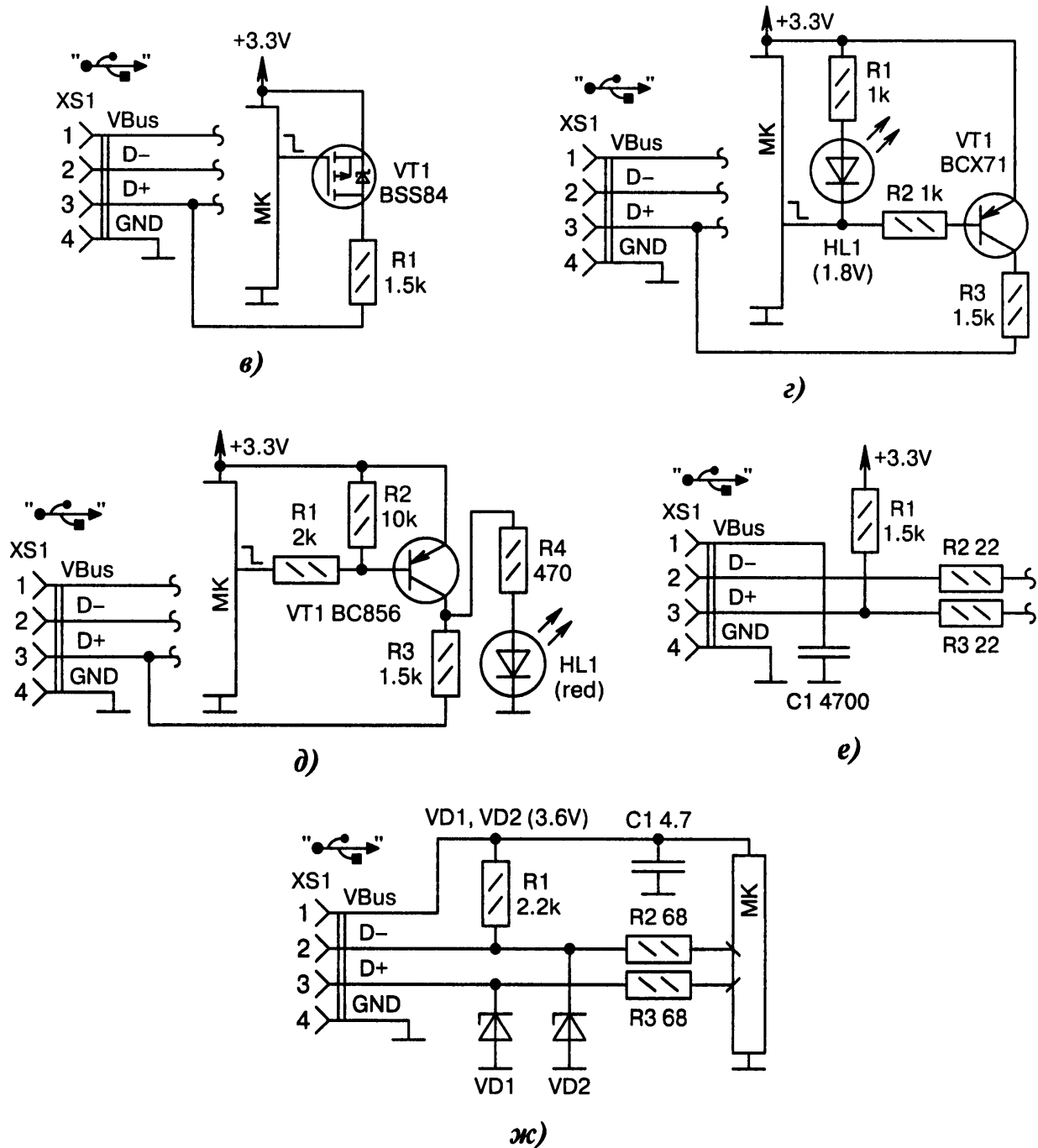


Рис. 8.4. Схемы подключения резисторов выбора режима (продолжение):

в) резистор $R1$ включается НИЗКИМ уровнем с выхода МК через полевой транзистор $VT1$;

г) светодиод $HL1$ загорается в момент, когда открывается транзистор $VT1$, после чего резистор $R3$ подключается к цепи $D+$. Варианты: $VT1 = BCX17$, $R1$ и $HL1$ отсутствуют, $R2 = 51$;

д) аналогично Рис. 8.4, г, но с подключением светодиода $HL1$ к коллектору (а не к базе) транзистора $VT1$. Это исключает вариант, когда светодиод горит, а транзистор неисправен. Варианты: $R3 = R4 = 1.5k$ (сборка резисторов); $R3 = 3k$, $R4 = 24k$, $VT1 = BC857B$; $R4$ и $HL1$ отсутствуют;

е) особенность — «жёсткое» соединение резистора $R1$ с питанием. Не используемый в данной схеме контакт $VBus$ разъёма $XS1$ для снижения наводок шунтируется конденсатором $C1$;

ж) МК — это AVR-контроллер, в котором канал USB организуется программно [8-1]. Стабилитроны $VD1$, $VD2$ «срезают» сигналы, подаваемые не от компьютера в МК, а, наоборот, от МК в компьютер. Резистор $R1$ имеет сопротивление 2.2 кОм из-за подключения к питанию +5 В; Ⓣ

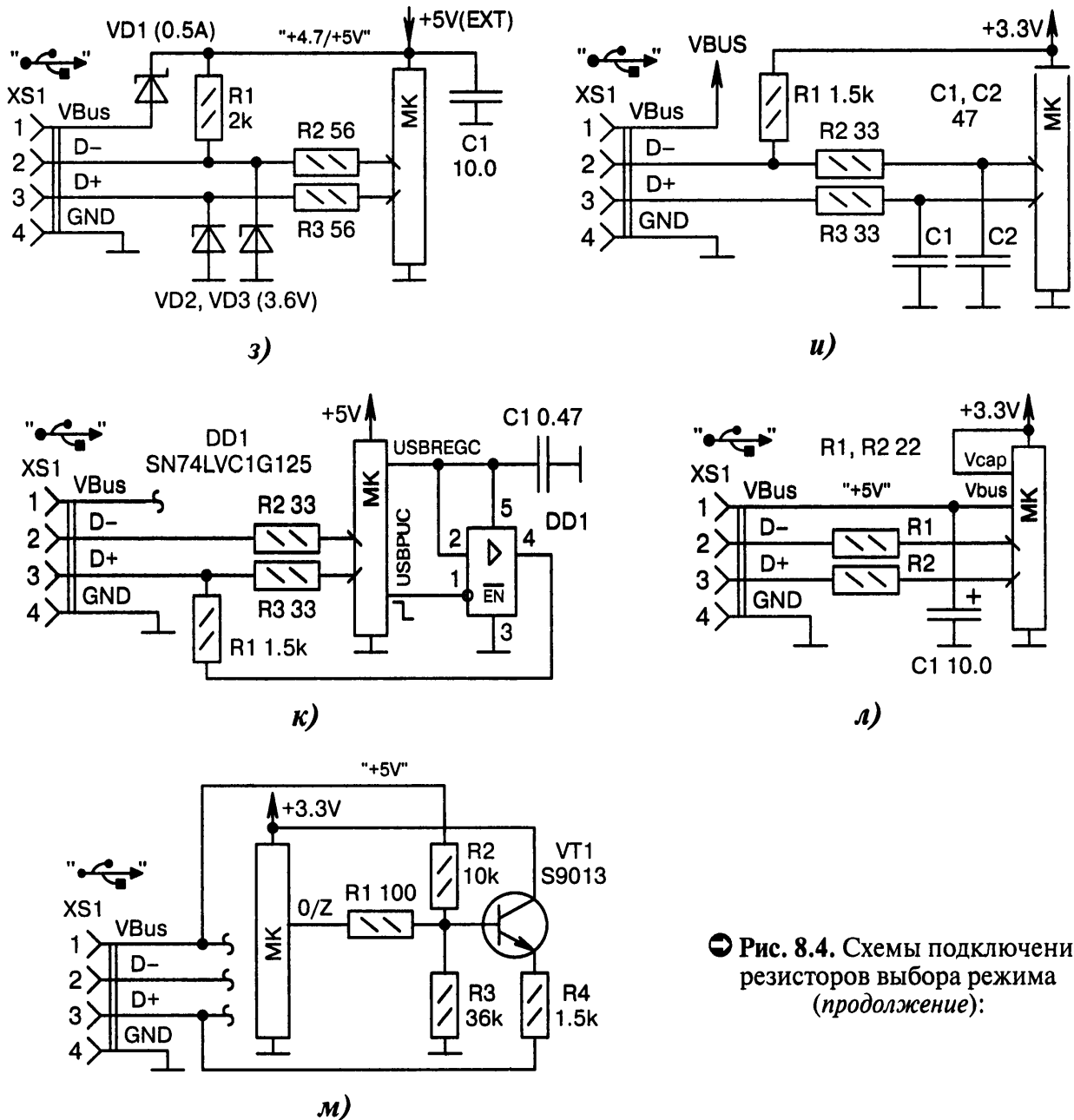


Рис. 8.4. Схемы подключения резисторов выбора режима (продолжение):

з) аналогично Рис. 8.4, ж, но с двойным питанием МК: от разъёма USB и от внешнего источника +5 В. Сопротивление $R1$ уменьшено до 2 кОм из-за падения напряжения на диоде $VD1$;

и) аналогично Рис. 8.4, ж, но с напряжением питания 3.3 В, при этом ограничительные стабилизаторы не требуются. Варианты: $C1 = C2 = 0$, $R2 = R3 = 68$;

к) подключение резистора $R1$ к линии $D+$ производится через стробируемый буферный элемент $DD1$. Для управления используется вывод $USBPUC$, который имеется в некоторых типах МК (NEC UPD78F0730). На выводе $USBREGC$ формируется постоянное напряжение +3.3 В;

л) в МК ATmega32U4 содержится встроенный канал USB. Подтягивающий резистор для цепи $D-$ находится внутри МК. Он программно подключается к цепи V_{cap} (+3.3 В). Напряжение V_{bus} поступает в МК по одноимённому служебному входу, но не для питания, а для определения момента подключения USB-кабеля к разъёму $XS1$. Варианты: $C1 = 1.0$, $R1 = R2 = 33$;

м) для того чтобы $n-p-n$ транзистор $VT1$ открывался с минимальным сопротивлением, на его базу подаётся повышенное напряжение с делителя $R2, R3$. Такое решение автоматически отключает резистор $R4$ от линии $D+$ при обрыве провода в цепи V_{Bus} или при отстыковке компьютерного USB-кабеля от разъёма $XS1$; ☹

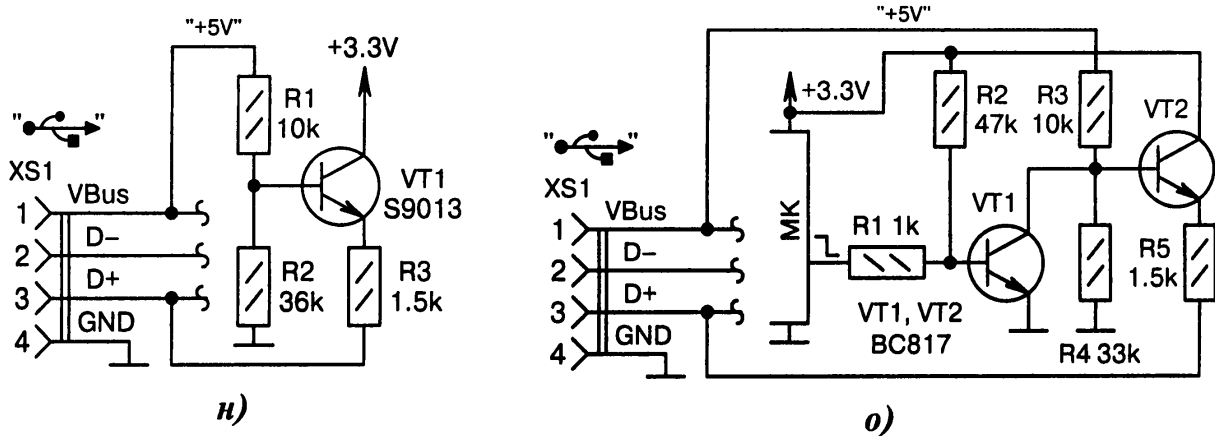


Рис. 8.4. Схемы подключения резисторов выбора режима (окончание):

н) аналогично Рис. 8.4, м, но без подключения транзистора *VT1* к МК. Резистор *R3* будет автоматически отключаться от линии *D+* при пропадании питания *VBus*;

о) аналогично Рис. 8.4, м, но с транзистором *VT1*, который отключает нагрузочный резистор *R5* при сбросе МК. Варианты: $R1 = 0$, при этом выход МК должен быть с открытым стоком

8.6. Защитные элементы USB

Канал USB рассчитан на подключение к компьютеру через кабель длиной 1.8...3 м. В связи с этим возникает несколько потенциальных угроз [8-2]. Например, на длинные провода кабеля могут наводиться помехи, что небезопасно для МК. С другой стороны, МК генерирует сигналы в компьютер, и они могут излучаться в эфир, ухудшая электромагнитную обстановку. Кроме того, при подстыковке кабеля существует опасность поражения чувствительных цепей МК статическим электричеством. От всех этих и других угроз существуют отработанные в компьютерной технике способы защиты (Рис. 8.5, а...о).

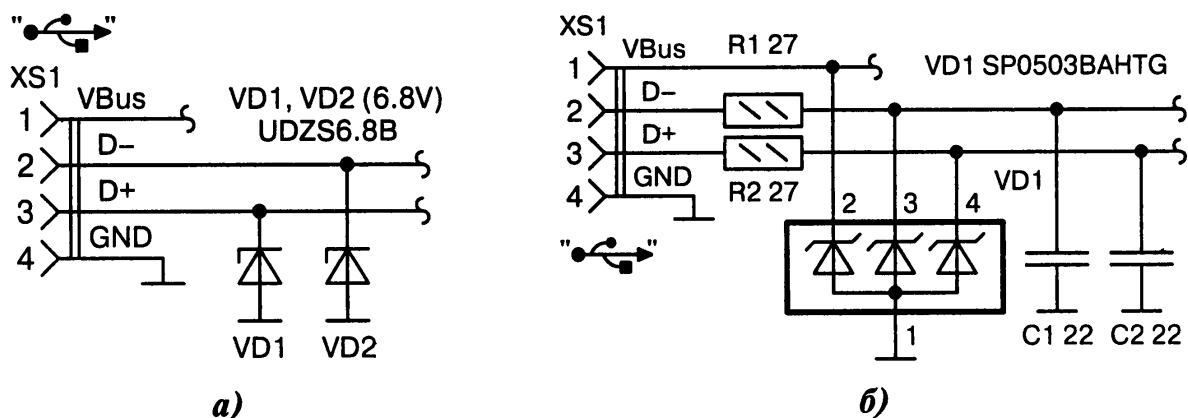


Рис. 8.5. Схемы подключения защитных элементов к тракту USB (начало):

а) стабилитроны *VD1*, *VD2* могут пропускать через себя импульсные токи до 100 мА, но они имеют достаточно высокую собственную ёмкость, которая шунтирует сигналы *D+*, *D-*;

б) сборка сапрессоров *VD1* имеет низкую ёмкость и защищает от всплесков напряжения амплитудой больше +5 В не только информационные цепи *D+*, *D-*, но и цепь питания *VBus*; ●

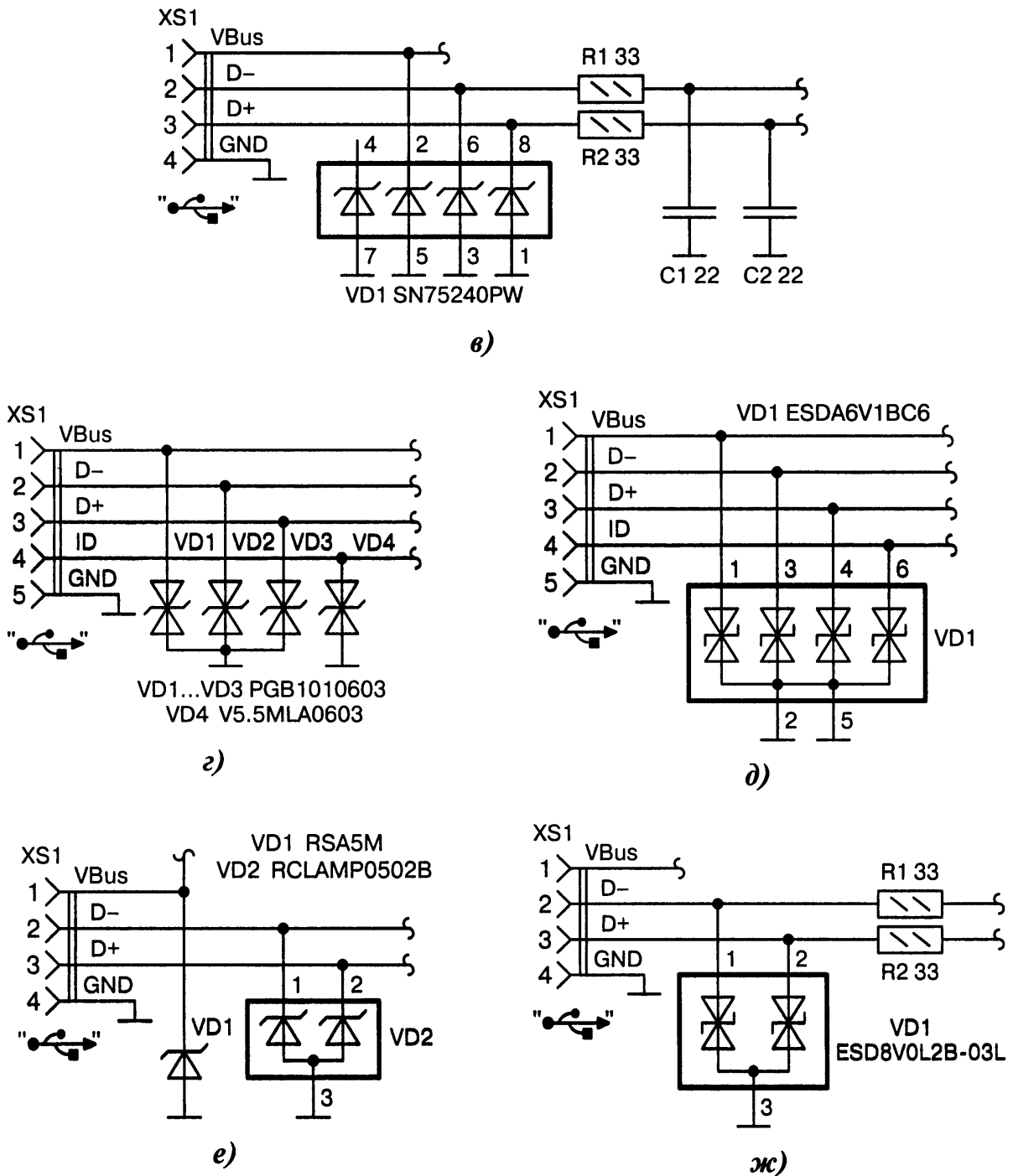


Рис. 8.5. Схемы подключения защитных элементов к тракту USB (продолжение):

в) аналогично Рис. 8.5, б, но резисторы $R1$, $R2$ стоят после (а не до) защитных диодов. Варианты: $VD1 = 65220$ (4 диода в двух сборках); $VD1 = HZM6.2Z4MFA$ (защита цепей $D+$, $D-$);

г) аналогично Рис. 8.5, б, но без ограничительных резисторов. Сапрессоры $VD1...VD3$ имеют ёмкость 0.12 пФ. Цепь ID менее высокочастотная, поэтому защищается другим типом сапрессора $VD4$ с более высокой ёмкостью 660 пФ. Варианты: $VD1...VD3 = PGB0010603MR$;

д) аналогично Рис. 8.5, г, но на сборке однотипных ВЧ-сапрессоров по всем цепям;

е) сапрессор $VD1$ защищает цепь питания от EOS (Electrical OverStress), а диоды сборки $VD2$, имеющие низкую собственную ёмкость, — от ESD (ElectroStatic Discharge), CDE (Cable Discharge Events) и EFT (Electrical Fast Transients). Варианты: $VD1 = ESDA6V1SC$, $VD2 = ESD7004$;

ж) защитные двунаправленные сапрессоры в сборке $VD1$ защищают от всплесков напряжения в диапазоне $-8...+14$ В. Они стоят до (а не после) резисторов $R1$, $R2$; ☉

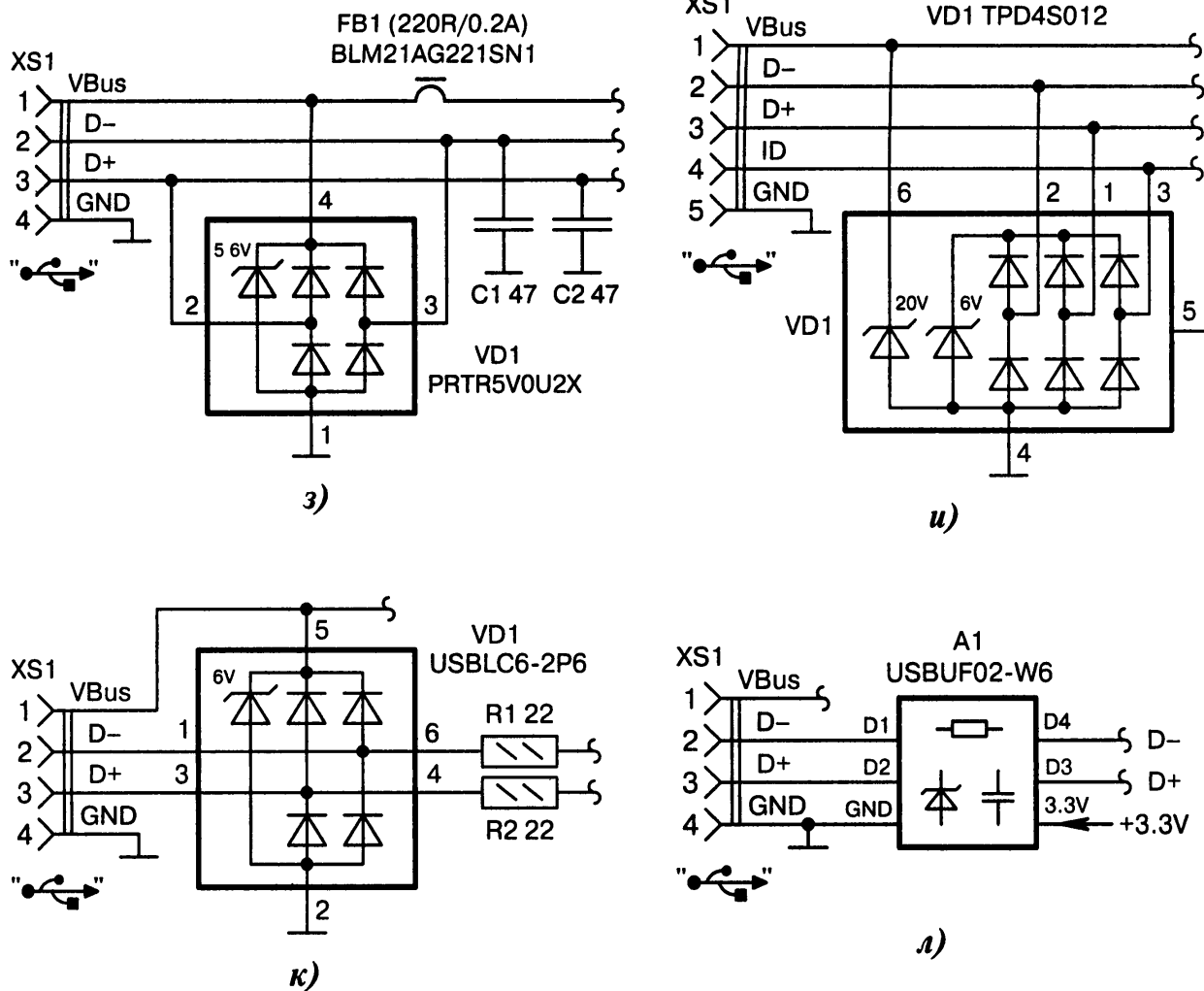


Рис. 8.5. Схемы подключения защитных элементов к тракту USB (продолжение):

з) защитная сборка *VD1* состоит из четырёх диодов и одного сапессора. Сборка оптимизирована для защиты интерфейса USB. Внутренний сапессор TVS (Transient Voltage Suppressor) срабатывает при превышении порога 5.6 В. Внутренние диоды имеют низкую ёмкость. Они отводят лишний ток при всплесках напряжения по цепям *D+*, *D-*. Варианты: *VD1* = IP4220CZ6; *VD1* = NUP2201MR6; *VD1* = TVLS14302AC0; *VD1* = PRTR5V0U2X; *VD1* = TPD4E004DRY; *VD1* = TESDS5V0A; *FB1* заменить перемычкой;

и) защитная сборка *VD1* содержит отдельные узлы для защиты канала питания *VBus* и для защиты информационных цепей *D+*, *D-*, *ID*. Ёмкость стабилитрона 20 В составляет 11 пФ. Ёмкость, вносимая кремниевыми диодами в информационные цепи, составляет 0.8 пФ, и чем она меньше, тем лучше для быстрогодействия;

к) защитная сборка *VD1* имеет дополнительные выходы, позволяющие включать её «на проход» по информационным линиям *D+*, *D-*. Это может пригодиться при разводке печатной платы. Варианты: *VD1* = PRTR5V0U2F;

л) *A1* — это комплексная сборка, специально разработанная для защиты интерфейса USB. Включает в себя пять сапессоров, два конденсатора ёмкостью 47 пФ, два резистора сопротивлением 33 Ом. Имеется ещё один внутренний резистор сопротивлением 1.5 кОм, который соединяет выходы *A1:3.3V* и *A1:D4*, что означает установку низкоскоростного режима «LS» в МК; ●

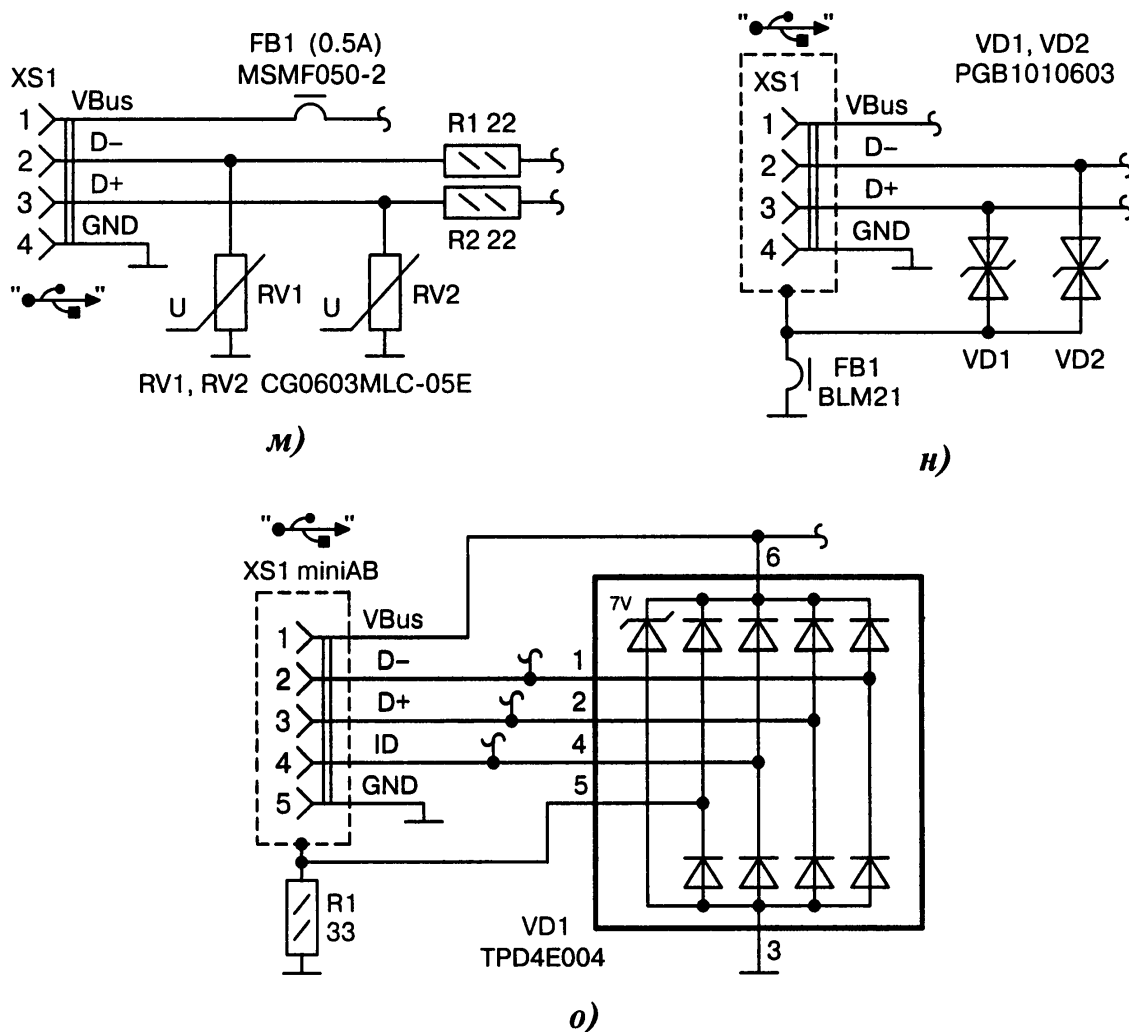


Рис. 8.5. Схемы подключения защитных элементов к тракту USB (окончание):

м) SMD-варисторы *RV1*, *RV2* имеют малую собственную ёмкость и рассчитаны на длительную работу при напряжении 5 В. Они защищают МК в первую очередь от статического электричества;

н) особенность — симметричные сапрессоры *VD1*, *VD2* подключаются не на общий провод, а к экрану разъёма *XS1*. Ферритовая «бусинка» *FB1* имеет сопротивление 0.15...0.45 Ом на постоянном токе и сопротивление 600 Ом на частоте 100 МГц;

о) «лишние» диоды в сборке *VD1* (вторые слева) совместно с резистором *R1* используются для защиты от наводок в цепи экрана разъёма *XS1*

8.7. Экран USB-разъёма

USB-разъёмы имеют металлический экран, что, во-первых, делает конструкцию механически более прочной, а во-вторых, способствует защите от электрических помех. Однако экран разъёма конструктивно и гальванически не соединяется с общим проводом *GND*. Изоляция от «массы» даёт разработчику манёвр и гибкость. Он может разделить «земли» компьютера и МК, а может, наоборот, соединить их, предварительно отфильтровав помехи (Рис. 8.6, а...ж).

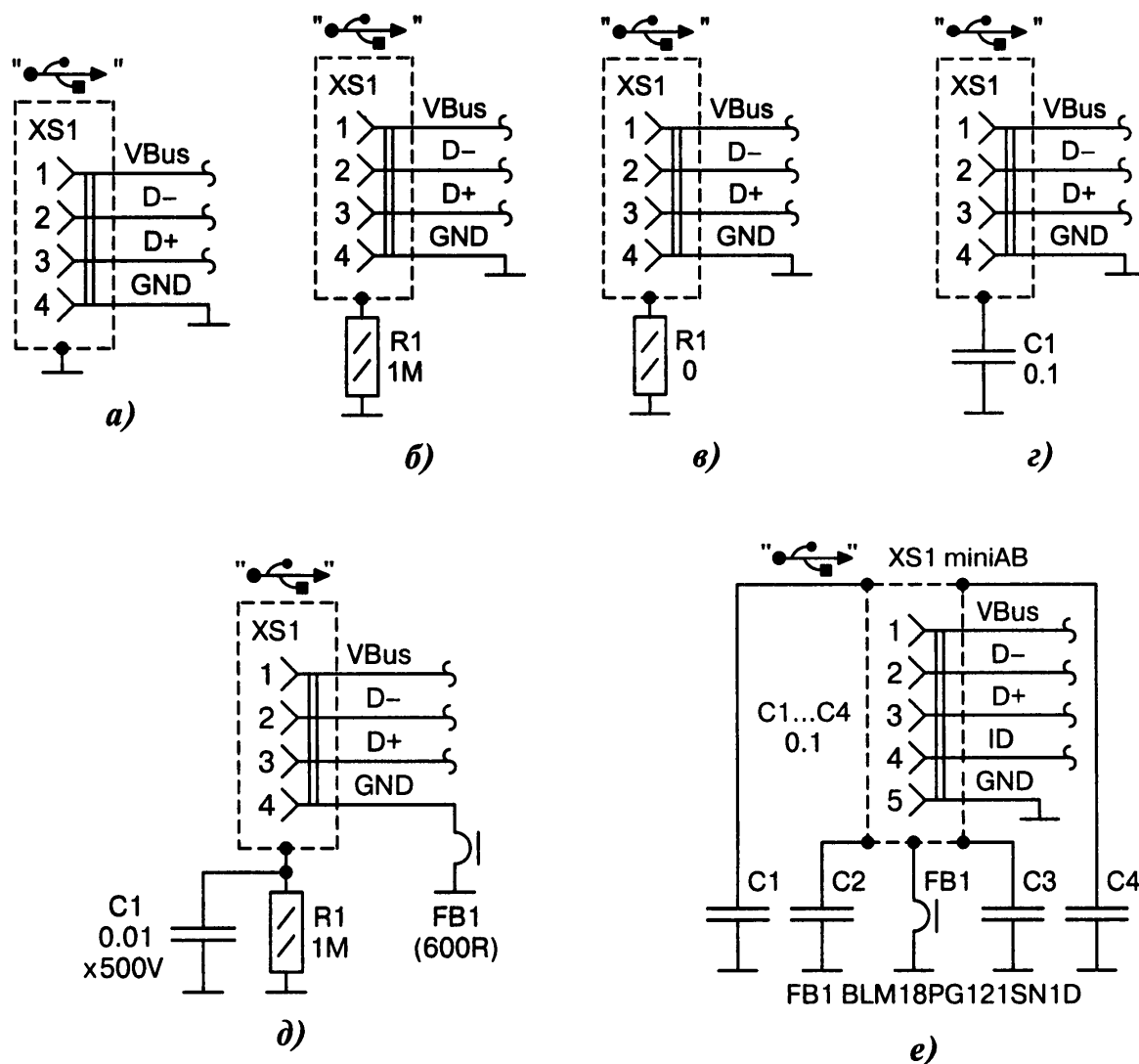


Рис. 8.6. Схемы подключения экрана в USB-разъёмах (начало):

а) «глухое» соединение экрана разъёма *XS1* с общим проводом МК. Достоинство — простота реализации. Недостаток — если корпус компьютера окажется под высоким потенциалом, то такой же потенциал будет на общем проводе МК;

б) высокоомный резистор *R1* разряжает ёмкость USB-кабеля и обеспечивает гальваническую связь экрана разъёма *XS1* с общим проводом МК по постоянному току;

в) «нулевой» резистор *R1* вводится для того, чтобы в случае необходимости его можно было легко выпаять (сделать разобщённые «земли») или оперативно заменить резистором 1 МОм;

г) конденсаторная развязка экрана и «земли». Варианты: $C1 = 0.01$;

д) цепочка *R1*, *C1* — это стандартное решение для соединения экрана разъёма *XS1* с общей «землёй». Высокоомный резистор *R1* обеспечивает слабую связь по постоянному току, а конденсатор *C1* представляет малое сопротивление для импульсных помех. Фильтр *FB1* (Ferrite Bead) в цепи *GND* не обязателен, он может быть закорочен перемычкой. Варианты: $R1 = 100\text{k}$; $C1 = 4700$; $C1 = 0.01$;

е) экран разъёма *XS1* имеет четыре конструктивные ламели, по одной на каждом из четырёх углов. Все ламели закорочены между собой по постоянному току, но для уменьшения ВЧ-помех вблизи каждой из них запаивается свой собственный керамический конденсатор $C1...C4$; ☹

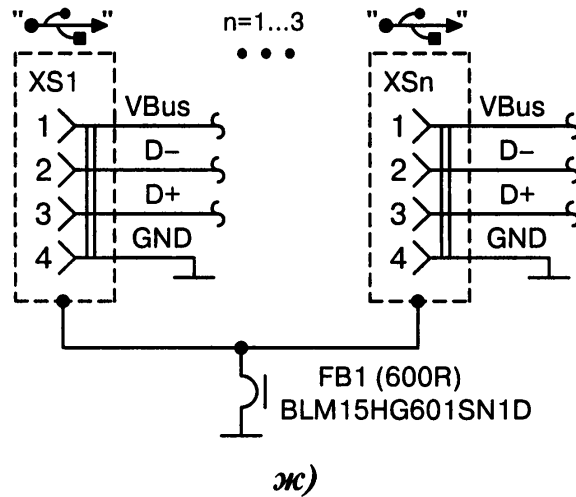


Рис. 8.6. Схемы подключения экрана в USB-разъёмах (окончание):

ж) подключение экранов нескольких разъёмов $XS1...XS_n$ к одной «земле» через ферритовую «бусинку» $FB1$, имеющую сопротивление 600 Ом на частоте 100 МГц

8.8. Режимы «Device», «Host», «OTG»

Канал USB можно настроить в режимы: «Device», «Host», «OTG» [8-3]. Режим «Device» самый простой. Он позволяет МК связываться с компьютером. Режимы «Host» и «OTG» наделяют МК функциями «а-ля компьютер», чтобы можно было работать с различной периферией, например мышью, принтером.

USB-разъёмы для режимов «Device» и «Host» четырёхконтактные, но в первом случае они из серии USB-B, а во втором — USB-A. В режиме «OTG» используется пятиконтактный разъём mini-AB с дополнительной линией ID.

Некоторые отладочные платы имеют по два или три USB-разъёма, каждый из которых предназначен для обслуживания своего режима (Рис. 8.7, а...м).

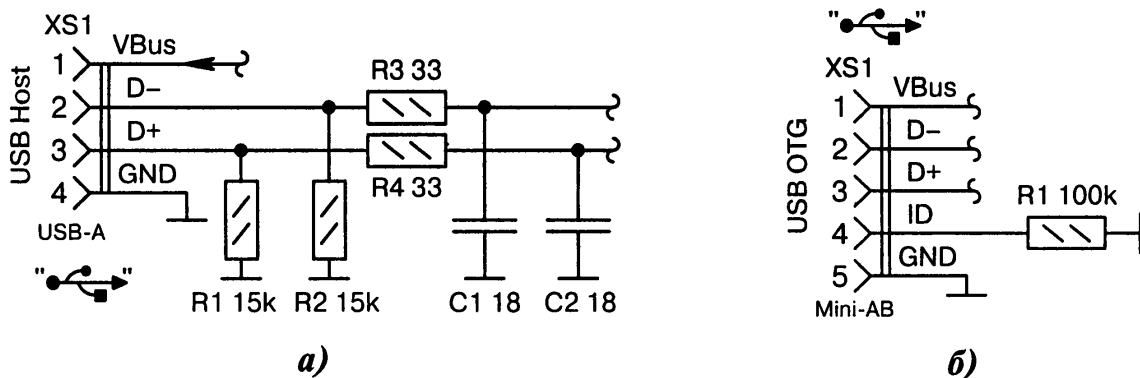


Рис. 8.7. Схемы подключения Device-, Host- и OTG-разъёмов (начало):

а) резисторы $R1$, $R2$ имеют сопротивление 15 кОм, как рекомендуется в стандарте для режима «Host». В сравнении с режимом «Device» направление подачи питания в цепь $VBus$ здесь изменяется на противоположное, т. е. наружу. Варианты: $C1 = C2 = 0...47$;

б) сопротивление резистора $R1$ выбрано типовым для функции «ведомый» OTG на удалённой стороне [8-4]. Для функции «ведущий» OTG сопротивление должно быть меньше 10 Ом; ☹

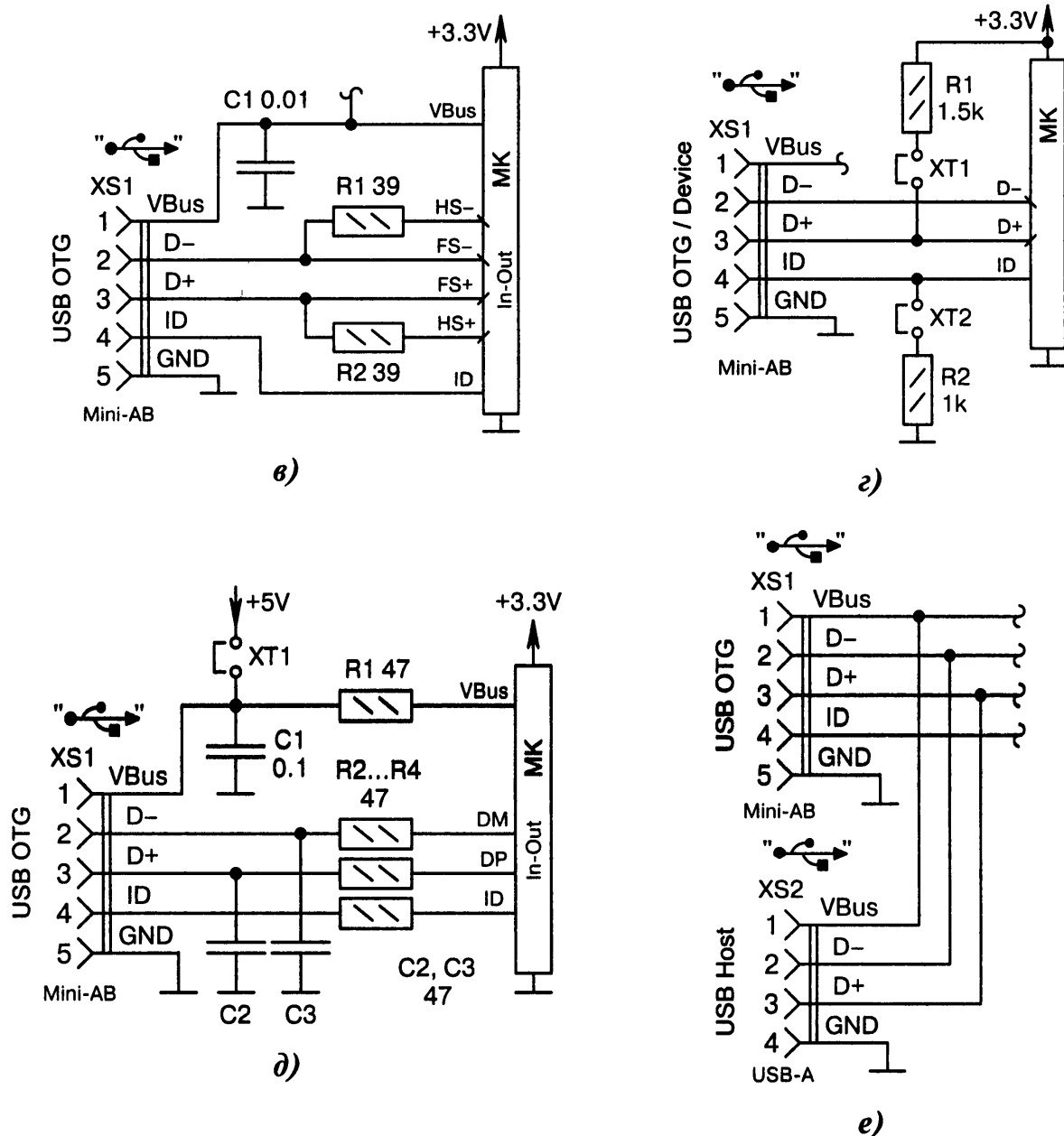


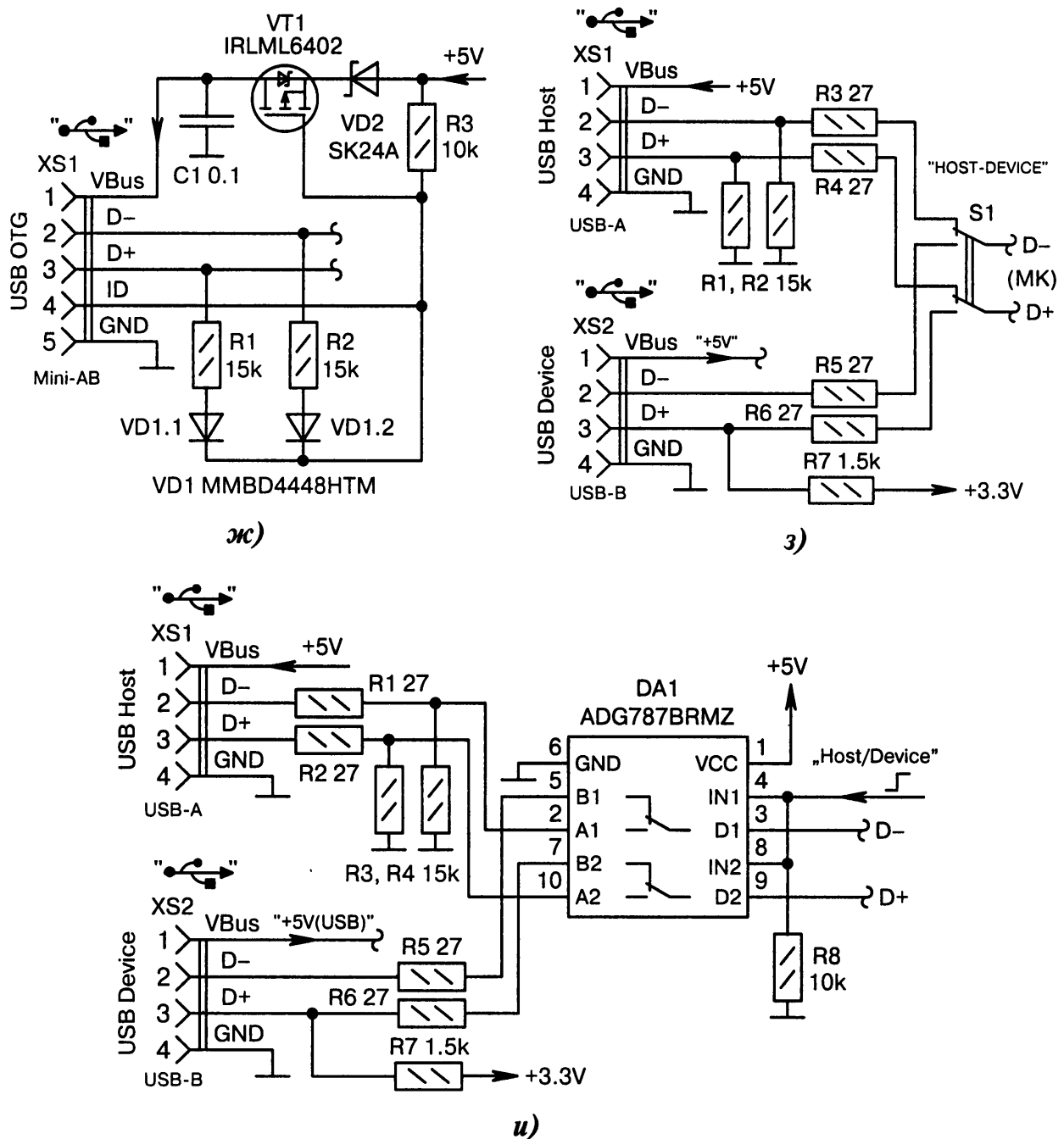
Рис. 8.7. Схемы подключения Device-, Host- и OTG-разъёмов (продолжение):

в) МК (в оригинале схемы это Atmel ATSAM3X8EA) поддерживает следующие USB-режимы: «Device», «Host», «OTG». Для высокоскоростных протоколов «FS» 12 Мбит/с и «HS» 480 Мбит/с предусмотрены отдельные линии МК с согласующими резисторами $R1$, $R2$. Кроме того, МК имеет информационный вход V_{Bus} для анализа момента подключения USB-кабеля к разъёму $XS1$. Если на этом выводе ВЫСОКИЙ уровень, значит, кабель вставлен в разъём, и наоборот;

г) джампер $XT1$ ставится в режиме «Device», а джампер $XT2$ ставится в режиме «OTG». Варианты: резистор $R1$ может подключаться не только к цепи $D+$, но и к цепи $D-$;

д) МК поддерживает на аппаратном уровне режим «OTG» и может программно переключать функции «ведомый» и «ведущий». Джампер $XT1$ устанавливается тогда, когда требуется обеспечить «ведомое» устройство, подключаемое к разъёму $XS1$, питанием +5 В;

е) параллельное подключение двух разъёмов «OTG» и «Host» к одному МК. Чтобы не возникло конфликтов на линиях $D+$, $D-$, внешнее устройство одномоментно должно подключаться только к одному из двух разъёмов; Ⓞ

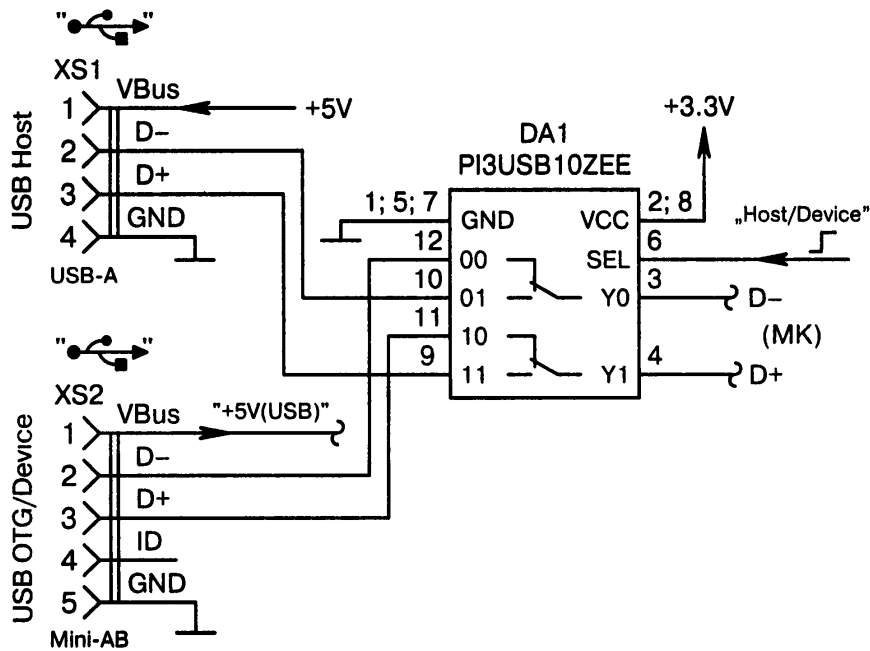


⊖ Рис. 8.7. Схемы подключения Device-, Host- и OTG-разъёмов (продолжение):

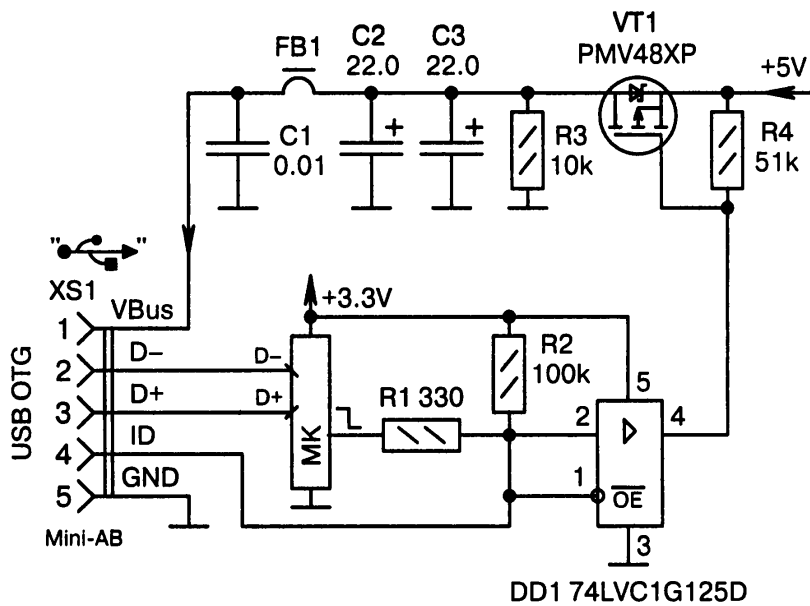
ж) при подстыковке кабеля к разъёму *XS1* на линии *ID* устанавливается НИЗКИЙ уровень, поскольку в ответной части разъёма OTG-кабеля для «ведущего» замыкаются контакты 4 и 5. Транзистор *VT1* открывается, в цепь *VBus* подаётся питание +5 В. Резисторы *R1*, *R2* подключаются через диоды *VD1.1*, *VD1.2* к общему проводу, что соответствует режиму «ведущий»;

з) движковый переключатель *S1* коммутирует цепи *D+*, *D-* от МК к разъёмам *XS1* или *XS2*, при этом устанавливается режим «Host» или «Device». В первом случае главными элементами являются резисторы *R1*, *R2* и входящий источник питания +5 В, во втором — резистор *R7* и исходящий источник питания +5 В. Варианты: резистор *R7* может подключаться к цепи *D-*;

и) аналогично Рис. 8.7, з, но с другим расположением резисторов *R1*, *R2*, а также с электронным (а не ручным) переключением режимов «Host», «Device» ключами, находящимися в микросхеме *DA1*. Коммутация производится сигналом «Host/Device» с выхода МК; ⊖



к)

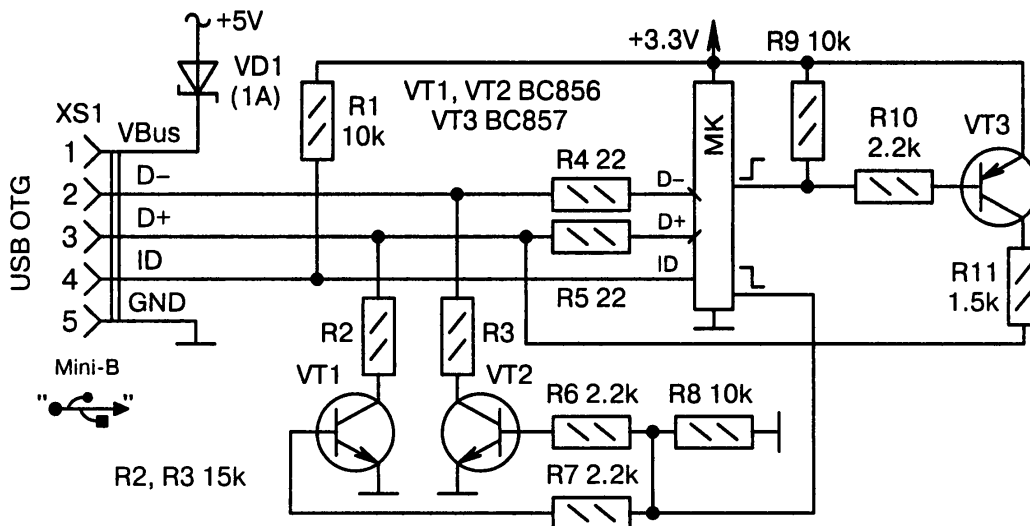


л)

Рис. 8.7. Схемы подключения Device-, Host- и OTG-разъёмов (продолжение):

к) аналогично Рис. 8.7, и, но с другой микросхемой электронного ключа *DA1* и с другим, более «продвинутым» МК серии Renesas SH7670, имеющим внутри все необходимые нагрузки. На схеме отладочной платы дано указание о том, что длина соединительных проводников от микросхемы *DA1* до разъёмов *XS1*, *XS2* не должна превышать 50 мм, волновое сопротивление 50 Ом;

л) микросхема *DD1* содержит один стробируемый логический повторитель с открытым стоком. Его нагрузкой служат резистор *R4* и транзисторный ключ *VT1*. Ключ открывается в двух случаях: при НИЗКОМ уровне на выходе МК и при НИЗКОМ уровне на линии *ID* при подстыковке кабеля к разъёму *XS1* с замкнутыми контактами 4 и 5. Когда транзистор *VT1* открывается, то напряжение +5 В подаётся в шину *Vbus*, что является обязательным для режима «OTG», т. е. к МК может подключаться, например, внешняя USB-флешка; ☉



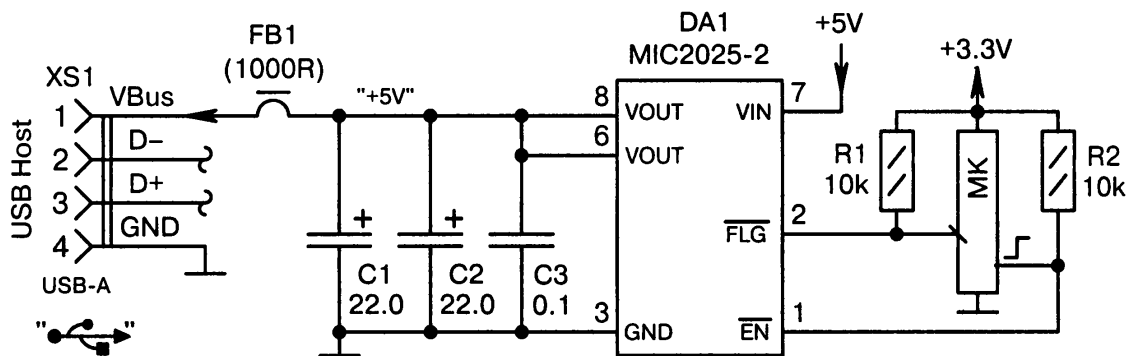
м)

⊖ Рис. 8.7. Схемы подключения Device-, Host- и OTG-разъёмов (окончание):

м) программное переключение функций «ведущий» и «ведомый» противофазными уровнями с двух выходов МК. В первом случае открываются транзисторы *VT1*, *VT2*, во втором — *VT3*. Диод *VD1* нужен, чтобы пропускать ток в цепь *VBus* в режиме «ведущий» OTG и устранять конфликт внутреннего и внешнего источников питания +5 В в режиме «ведомый» OTG

8.9. Питание в режимах «Host»/«OTG»

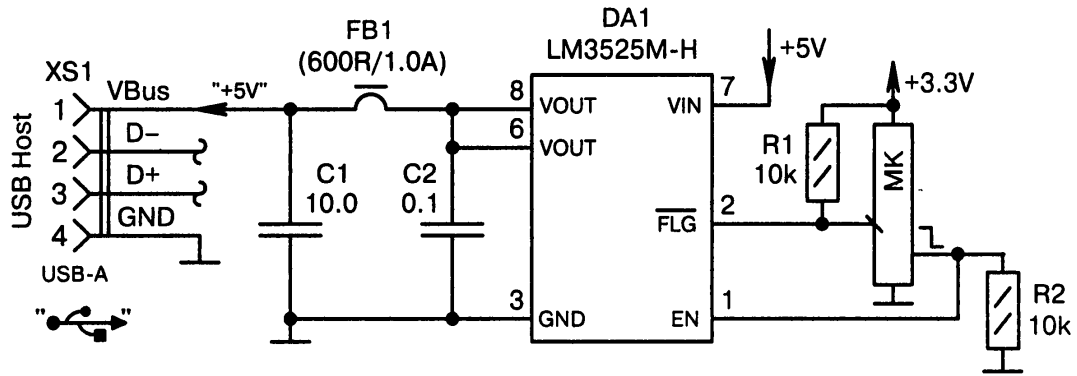
Если МК работает в режимах «Host» или «OTG» (ведущий), то необходимо позаботиться о том, чтобы питание на внешний прибор, например флешку, подавалось не напрямую, а через интегральный ограничитель тока (Рис. 8.8, а...д). Называют такие устройства коммутаторами питания шины USB [8-5].



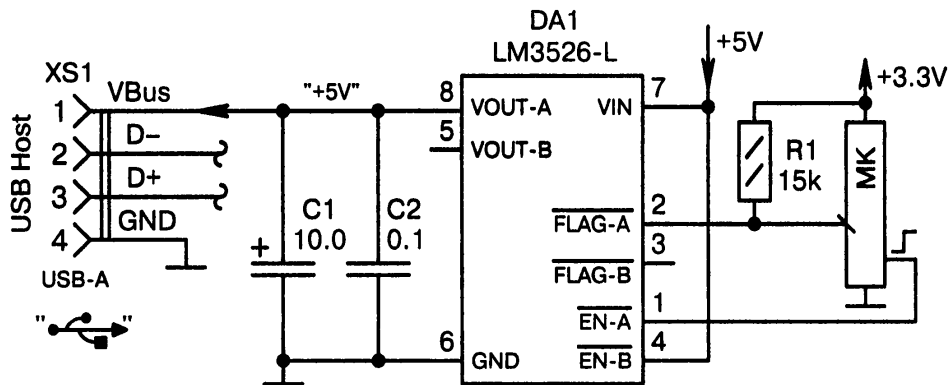
а)

Рис. 8.8. Схемы коммутации питания в режимах «Host»/«OTG» (начало):

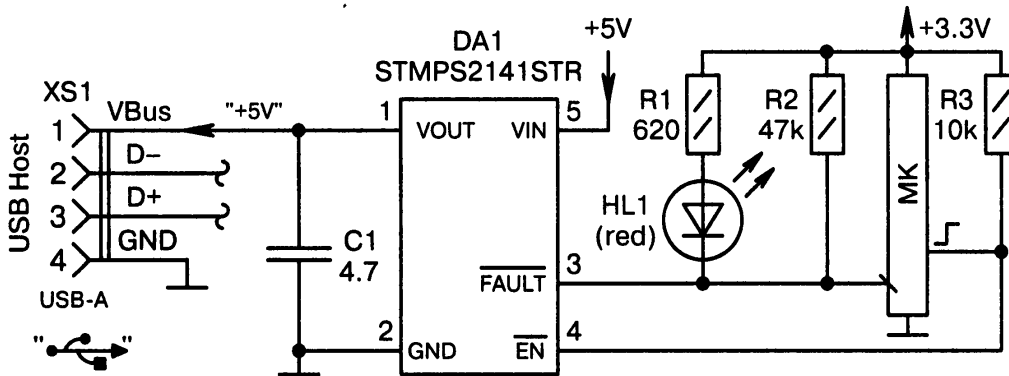
а) подача питания +5 В в цепь *VBus* производится через ключ, находящийся в микросхеме *DA1*. На выводе *DA1:2* формируется НИЗКИЙ уровень при превышении проходящего тока 1 А, после чего ВЫСОКИМ уровнем с выхода МК питание USB блокируется. Резистор *R1* служит нагрузкой выхода с открытым стоком *DA1:2*. Резистор *R2* нужен, чтобы микросхема *DA1* не включалась при сбросе МК. Варианты: *DA1* = AP2141; *DA1* = MIC2026 (другая цоколёвка выводов); ⊖



б)



в)



г)

● Рис. 8.8. Схемы коммутации питания в режимах «Host»/«OTG» (продолжение):

б) аналогично Рис. 8.8, а, но микросхема коммутатора *DA1* имеет вход разрешения *EN* с ВЫСОКИМ активным уровнем. Выводы *DA1:6*, *DA1:8* запараллелены для повышения надёжности. Ферритовая «бусинка» *FB1* и конденсаторы *C1*, *C2* образуют П-образный ФНЧ. Варианты: *DA1* = *STMPS2151STR*, резистор *R3* отсутствует;

в) аналогично Рис. 8.8, а, но с двухканальной микросхемой *DA1*, в которой задействуется только один канал *VOUT-A* с управляющими сигналами *FLAG-A*, *EN-A*. Варианты: используются оба канала микросхемы *DA1*, при этом через второй канал *VOUT-B* подаётся питание +5 В на второй разъём USB;

г) аналогично Рис. 8.8, а, но с другим типом коммутатора *DA1* и с индикацией превышения тока 0.5 А светодиодом *HL1*. Варианты: *R1* = 470, *R2* = 10k; *R2* = 3.3k; *DA1* = *TPS2061DBVR*; ●

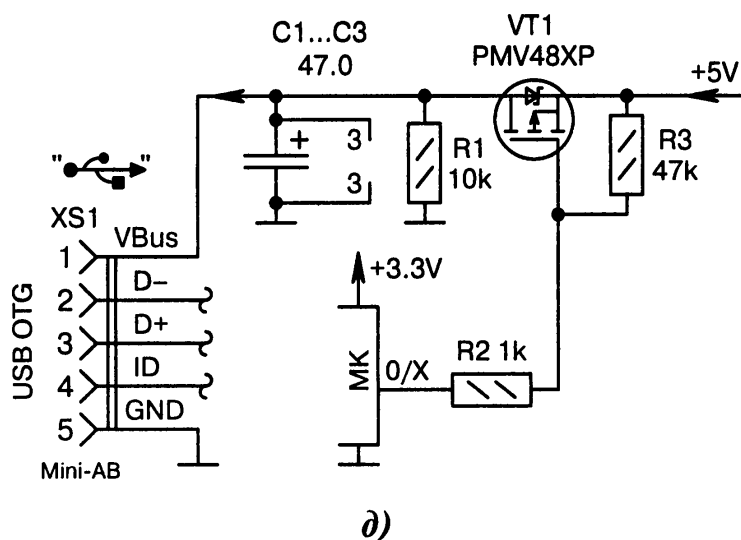


Рис. 8.8. Схемы коммутации питания в режимах «Host»/«OTG» (окончание):

д) НИЗКИМ уровнем с выхода МК открывается транзистор $VT1$, после чего питание +5 В подаётся в шину V_{bus} . Отключение питания производится переводом линии МК в режим «истинно» открытого стока без внутреннего «pull-up» диода. Резистор $R1$ служит для ускорения разряда конденсаторов $C1...C3$ при выключении транзистора $VT1$

Список использованных источников и литературы к главе 8

- 8-1. V-USB [Электронный ресурс] / Objective Development Software GmbH, 2017. — Режим доступа: <https://www.obdev.at/products/vusb/index.html> (англ.). — 14.04.2017.
- 8-2. Электростатическая защита USB-устройств [Электронный ресурс] / «Мир периферийных устройств ПК». — Режим доступа: <http://www.mirpu.ru/interface/86-usb/179-xaschita-usb.html>. — 14.04.2017.
- 8-3. Связь электронного устройства с персональным компьютером по USB [Электронный ресурс] / Денис Ягов, ТД «Промэлектроника», 2011. — Режим доступа: http://www.promelec.ru/UPLOAD/fck/file/razrab/USB_Virtual.pdf. — 14.04.2017.
- 8-4. On-The-Go Supplement to the USB 2.0 Specification Rev. 1.0 [Электронный ресурс] / 2001. — Режим доступа: http://www.usb.org/developers/onthego/otgl_0.pdf (англ.). — 14.04.2017.
- 8-5. Коммутаторы питания шины USB [Электронный ресурс] / «Платан», 2015. — Режим доступа: <http://www.platan.ru/news/mic2025.shtml>. — 14.04.2017.

ВНЕШНЯЯ ПАМЯТЬ

*Прошлое, хранящееся в памяти, есть часть настоящего.
(Тадеуш Котарбиньский)*

9.1. Микросхемы EEPROM

На Рис. 9.1, а...з показаны схемы подключения микросхем EEPROM к МК.

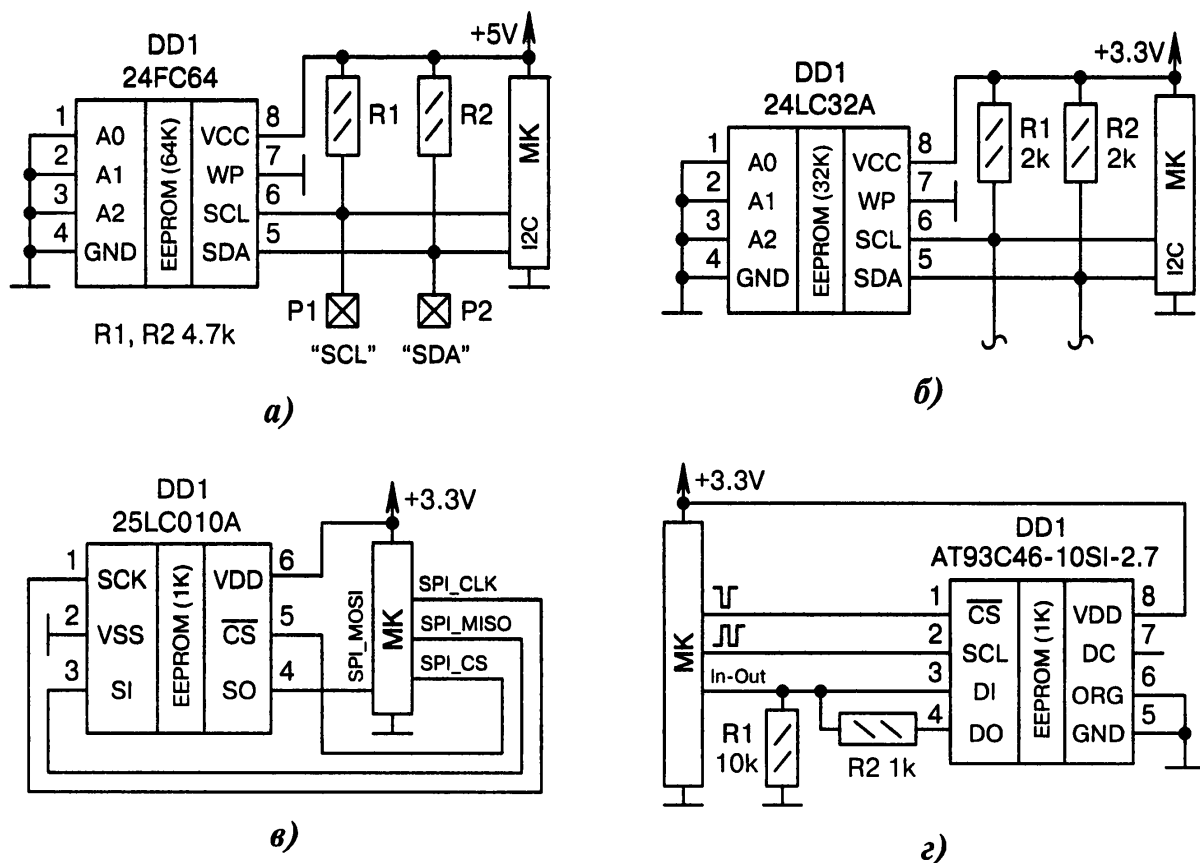


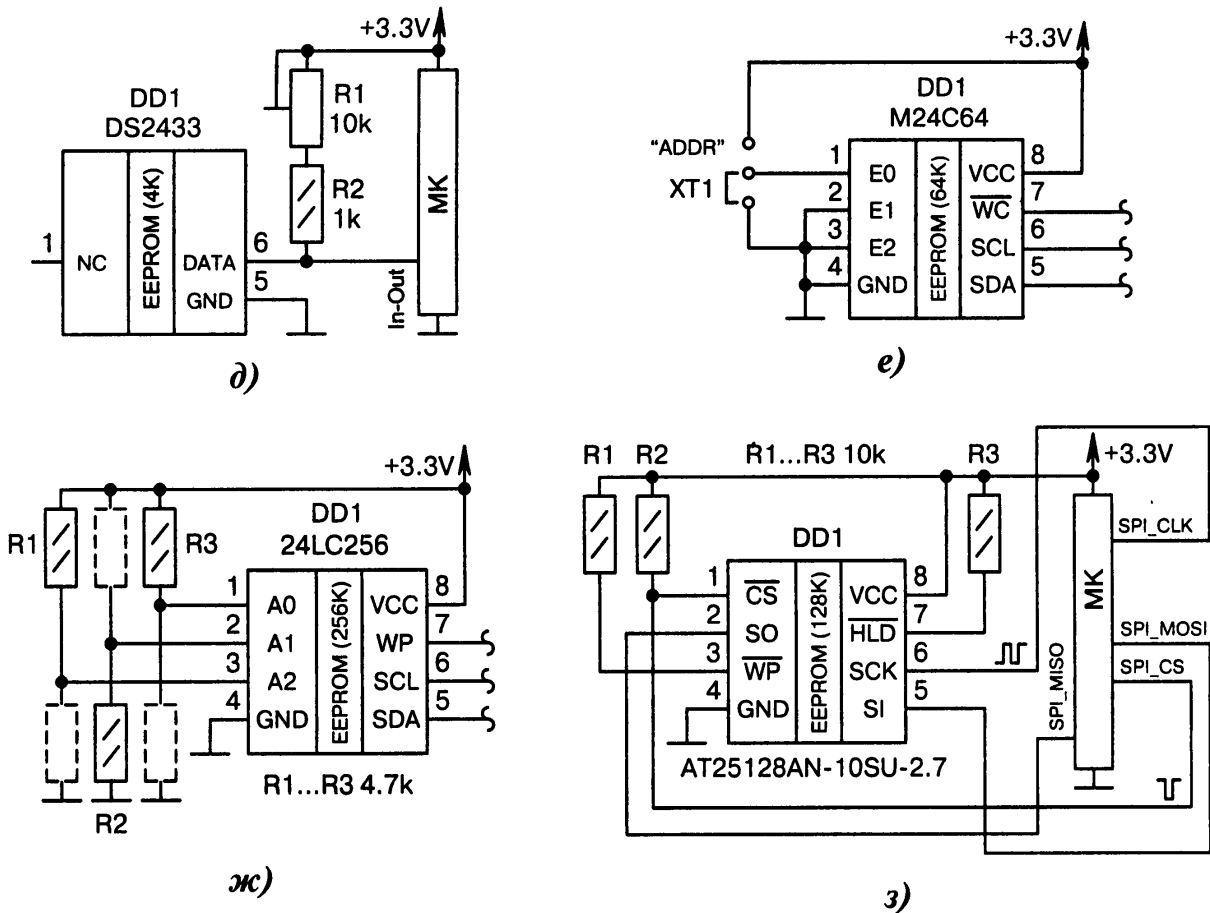
Рис. 9.1. Схемы подключения микросхем EEPROM к МК (начало):

а) DD1 — это микросхема последовательной памяти EEPROM. Подключается через интерфейс I²C с нагрузочными резисторами R1, R2. Варианты: DD1 = 24AA64FT;

б) аналогично Рис. 9.1, а, но с питанием от +3.3 В и, соответственно, более низкими сопротивлениями нагрузочных резисторов R1, R2. Варианты: R1 = R2 = 1.5k, DD1 = HT24LC16;

в) микросхема DD1 имеет малогабаритный корпус SOT-23/6 и подключается к МК через интерфейс SPI. Параметры DD1: тактовая частота 10 МГц, 1 млн циклов записи/чтения;

г) совмещение приёма (вывод DI) и передачи (вывод DO) при помощи разделительного резистора R2. Нижний выход МК должен выдерживать подключение нагрузки 1 кОм на «землю»; ☹



⊕ Рис. 9.1. Схемы подключения микросхем EEPROM к МК (окончание):

д) *DD1* — это микросхема памяти EEPROM с однопроводным интерфейсом 1-Wire. Особенность — паразитное питание через вывод *DATA*. Резистором *R1* устанавливается оптимальная нагрузка по быстродействию, которая больше при чтении (5 кОм) и меньше при записи (2.2 кОм);

е) джампером *XT1* оперативно изменяется адрес микросхемы *DD1* на шине I²C. Было «000», стало «001». Варианты: запаиваемая перемычка вместо джампера *XT1*; *DD1* = M24128-DFDW6 (128 Кбит), *DD1* = 24LC512 (512 Кбит); *DD1* = R1EX24002ASAS01 (1 Кбит);

ж) логический адрес микросхемы *DD1* на шине I²C равняется «101» в двоичном коде. Он определяется местом установки резисторов *R1...R3* на печатной плате. Изменение адреса можно сделать или перепайкой резисторов, или закорачиванием «пустых» мест на плате, которые отмечены на схеме пунктиром;

з) *DD1* — это микросхема EEPROM в корпусе SOIC-8 с интерфейсом SPI. По цоколёвке выводов она совместима с микросхемами последовательной Flash-памяти. Число циклов перезаписи не менее 1 млн, время хранения информации больше 100 лет

9.2. Микросхемы последовательной Flash-памяти

Flash-ПЗУ отличается от EEPROM тем, что стирание информации производится не для каждой ячейки отдельно, а для большого блока или всей микросхемы в целом. Если ввод информации в ячейки Flash-памяти производится по последовательному каналу, то речь идёт о микросхемах, представленных на Рис. 9.2, а...и.

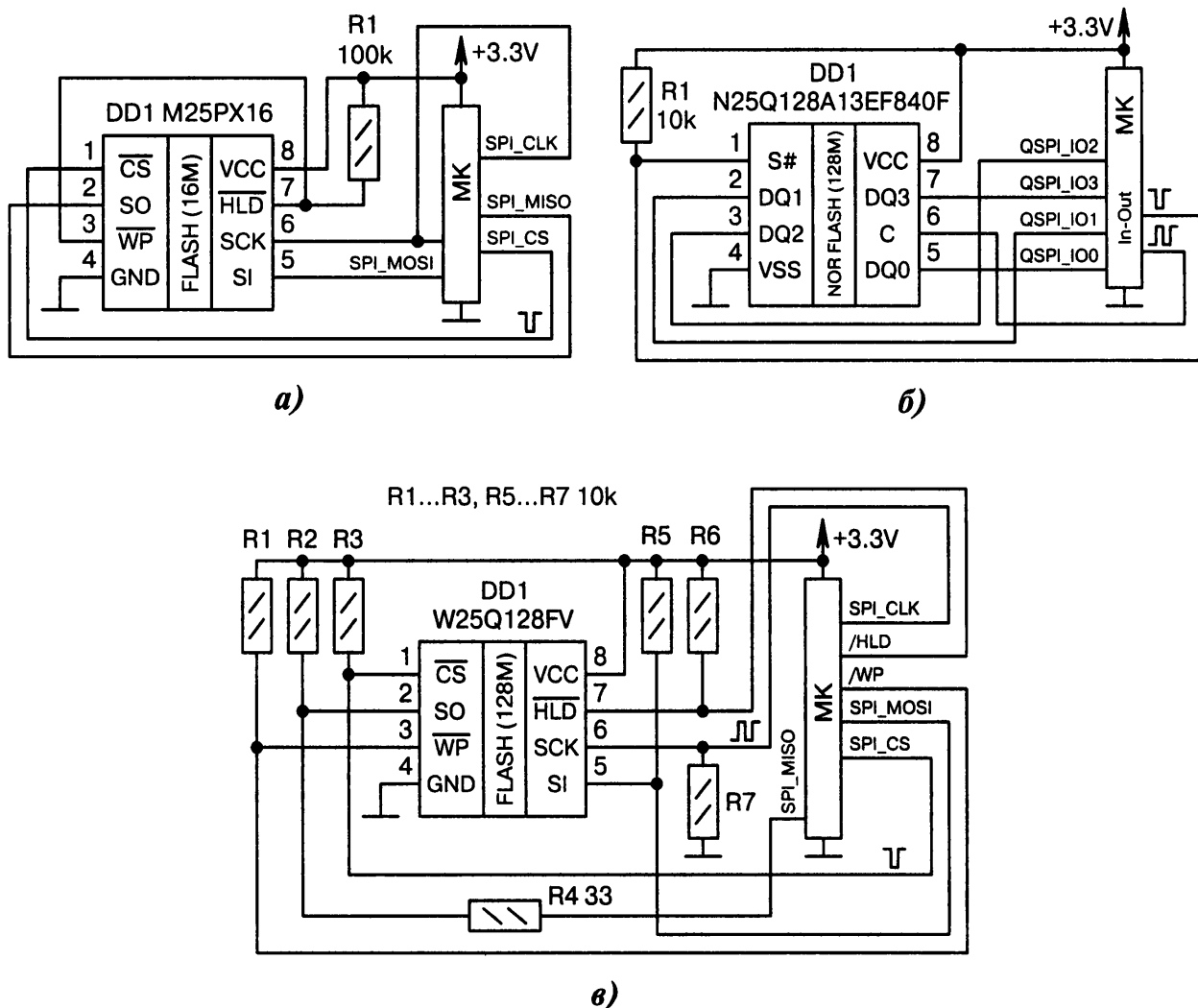


Рис. 9.2. Схемы подключения последовательной Flash-памяти к МК (начало):

а) *DD1* — это микросхема последовательной Flash-памяти с интерфейсом SPI и тактовой частотой до 75 МГц. Особенность — подсоединение выводов *DD1:3* и *DD1:7* к питанию через один общий резистор *R1*. Для справки: сигнал \overline{HLD} приостанавливает работу микросхемы, а сигнал \overline{WP} защищает от записи. Варианты: *DD1* = M25P32; *DD1* = M25PE16; *DD1* = SST25VF016B;

б) микросхема памяти *DD1* поддерживает на аппаратном уровне режим SPI с ускоренной передачей данных QUAD (скорость выше обычной в 4 раза). Для этого используется шина, состоящая из четырёх двунаправленных линий ввода/вывода *DQ0...DQ3*. Варианты: *R1* отсутствует; *DD1* = S25FL032P0XMF1013; *DD1* = W25Q80BVSSIG (8 Мбит); *DD1* = S25FL128SAGNFI001, установить резистор 22 Ом последовательно в цепь вывода *DD1:6*;

в) микросхема *DD1* подключается к МК всеми своими информационными и управляющими сигналами. Это позволяет использовать разные режимы SPI: с одно- (MONO), двух- (DUAL) и четырёхкратной (QUAD) скоростями обмена данными. В первых двух режимах сигналы \overline{WP} (защита записи) и \overline{HLD} (останов) используются по прямому назначению. В режиме QUAD сигналы на выводах *DD1:2*, *DD1:3*, *DD1:5*, *DD1:7* становятся двунаправленными. Нагрузочные резисторы *R1...R3*, *R5...R7* нужны, чтобы выводы *DD1* не «висели в воздухе» при сбросе МК. Резистор *R4* сглаживает форму импульсов. Варианты: *DD1* = W25Q16BVSSIG, *R1* = *R6* = 100k, *R4* = 0, *R2*, *R3*, *R5*, *R7* отсутствуют; *DD1* = S25FL032P0XMF101, *R4* = 0, *R2*, *R5*, *R7* отсутствуют; ☹

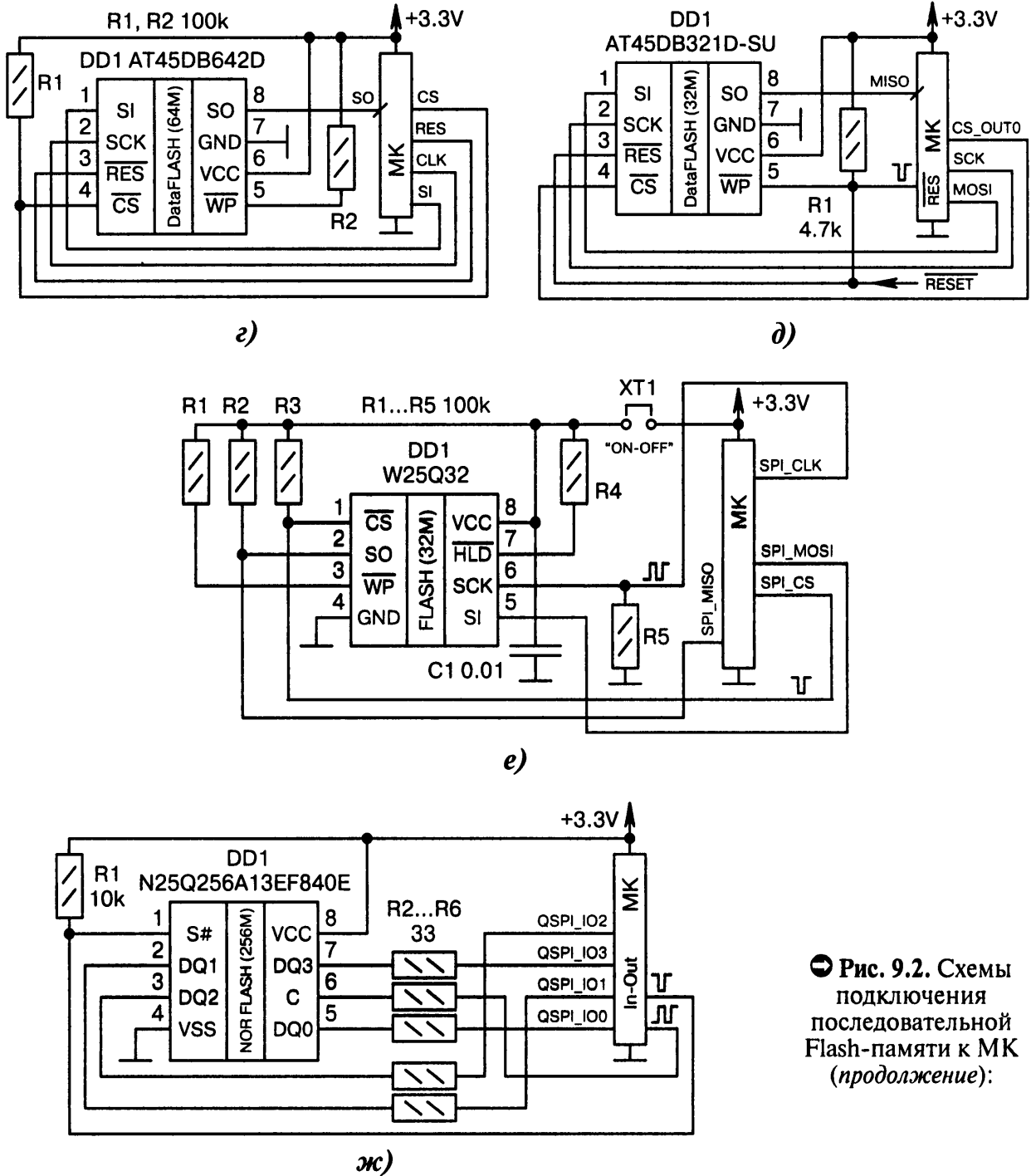


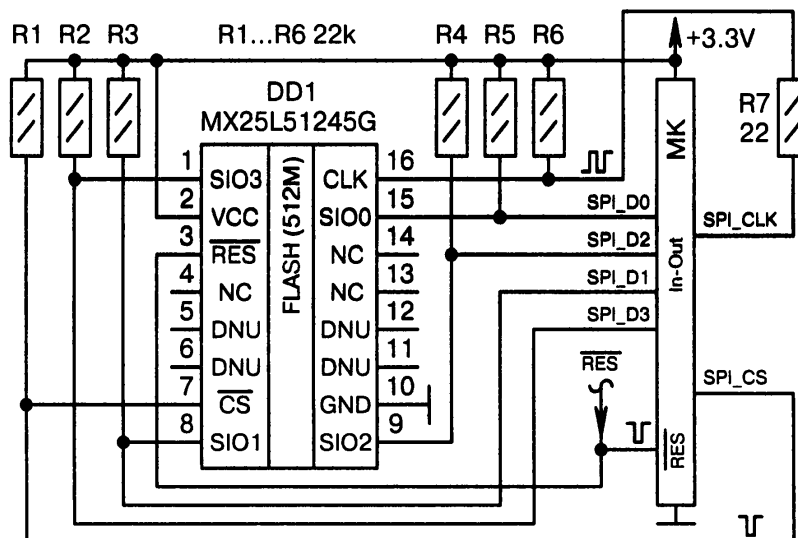
Рис. 9.2. Схемы подключения последовательной Flash-памяти к МК (продолжение):

г) *DD1* — это микросхема Serial SPI DataFlash, имеющая буферное ОЗУ для приёма данных. Тактовая частота до 66 МГц. Резистор *R1* блокирует обращение к микросхеме *DD1* во время сброса МК. Варианты: *DD1* = AT45DB641E; *DD1* = AT45DB161D (16 Мбит), *R1* отсутствует, *R2* = 0;

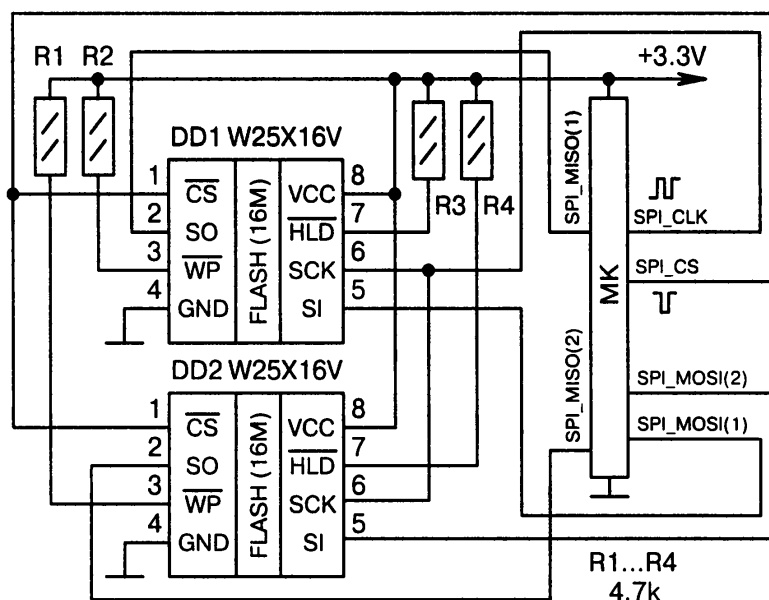
д) особенность — выводы \overline{RES} и \overline{WP} соединяются вместе и подключаются к цепи общего сброса МК. Во время сброса запись в *DD1* запрещается, в остальное время разрешается;

е) *DD1* — это микросхема NOR-Flash, подключаемая к МК через интерфейс SPI. Резисторы *R1...R5* не дают «висеть в воздухе» выводам *DD1* при отключении питания джампером *XT1*. Выводы *DD1:3* и *DD1:7* не соединяются с МК, следовательно, в таком включении нельзя воспользоваться высокоскоростным режимом SPI QUAD, а можно только с обычной и удвоенной скоростями передачи данных. Варианты: *DD1* = W25Q16BV; *DD1* = SST25VF016B, *R1...R5* = 4.7k...10k (*R1*, *R2*, *R4*, *R5* могут отсутствовать); *DD1* = M25PX64, *R2* = 0, *R5* подключить к цепи +3.3V;

ж) особенность — «антизвонные» резисторы *R2...R6* в информационных цепях; ☉



3)



и)

Рис. 9.2. Схемы подключения последовательной Flash-памяти к МК (окончание):

з) микросхема *DD1* работает в режиме QUAD (по-другому 4xSPI). Особенность — наличие входа \overline{RES} , который позволяет в момент сброса МК инициализировать Flash-память;

и) подключение двух микросхем последовательной Flash-памяти *DD1*, *DD2* к одному МК через сдвоенный канал SPI с объединёнными сигналами *SPI_CLK* и *SPI_CS*

9.3. Микросхемы параллельной Flash-памяти

Микросхемы параллельной Flash-памяти отличаются от микросхем последовательной Flash-памяти более высоким быстродействием. Обратная сторона медали — увеличенный размер корпуса микросхемы и большое количество задействованных в работе линий портов МК (Рис. 9.3, а...г).

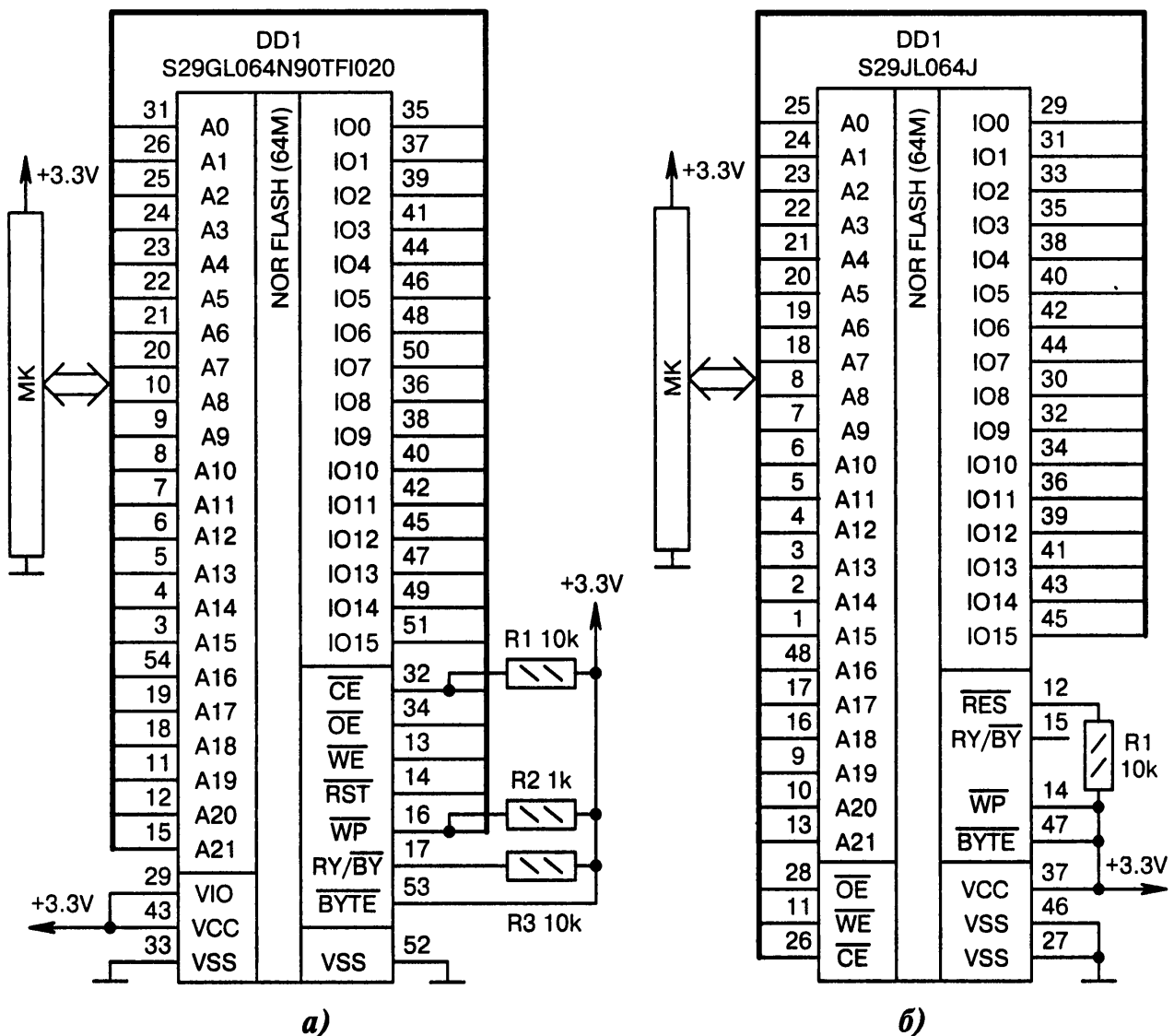
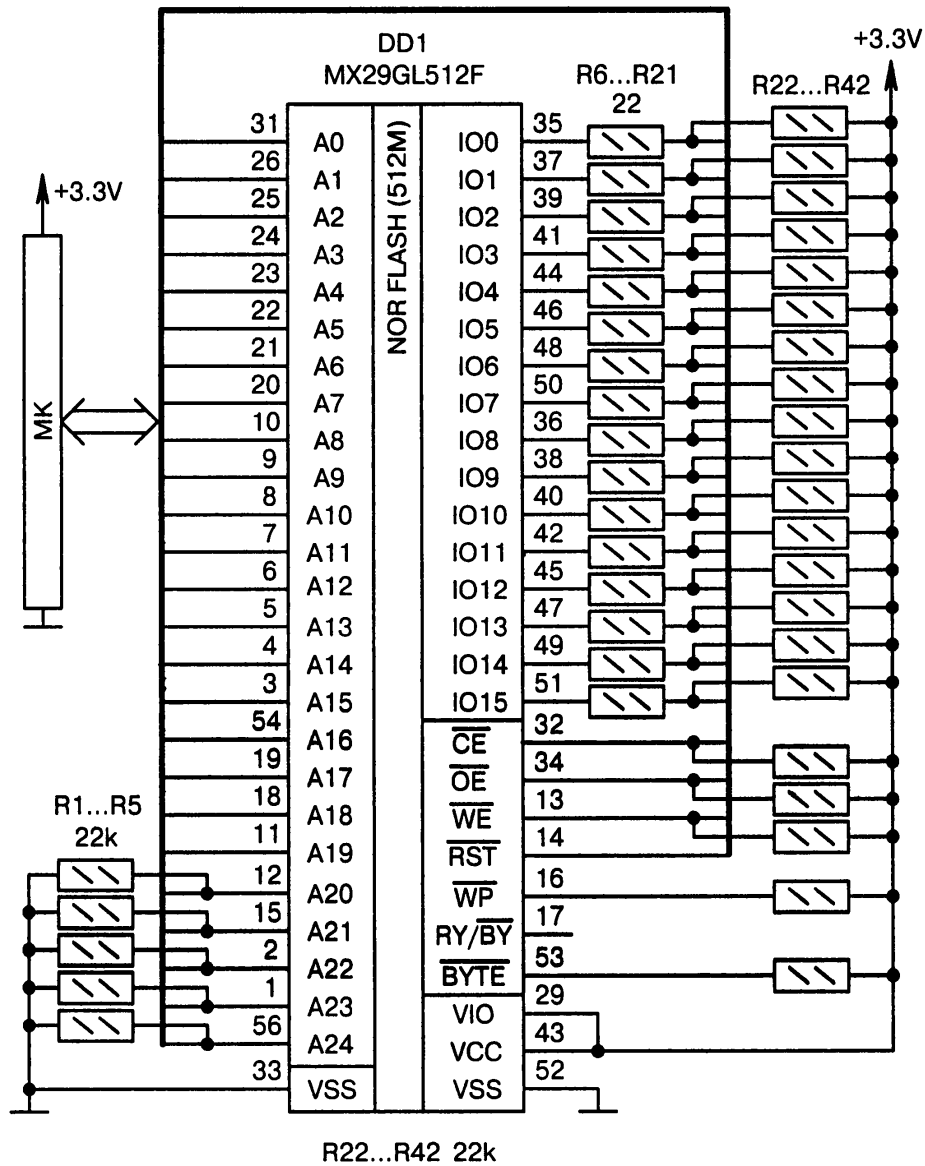


Рис. 9.3. Схемы подключения параллельной Flash-памяти к МК
(начало):

а) в микросхеме *DD1* хранится дополнительная память программ, подключаемая к МК. Время доступа не более 90 нс. Соединение вывода \overline{BYTE} с питанием +3.3 В, а не с общим проводом, определяет 16-битную, а не 8-битную, организацию Flash-памяти. Объём составляет 4Мх16. Архитектура памяти у этой и подобных микросхем классифицируется как NOR (Not OR), что в булевой математике обозначает отрицание «ИЛИ». Достоинство — высокое быстродействие при обращении к одному случайному байту данных. Недостаток — к каждому транзистору матрицы NOR надо подвести индивидуальный контакт управления [9-1];

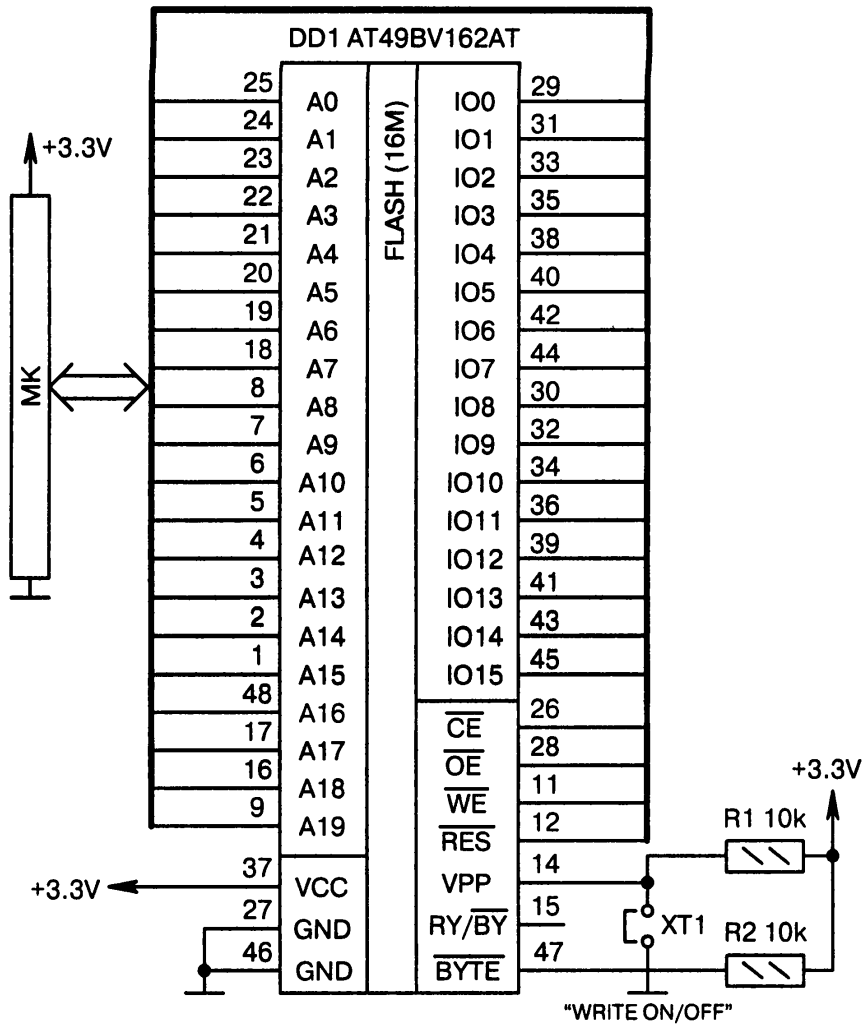
б) аналогично Рис. 9.3, а, но с микросхемой Flash-памяти *DD1*, у которой имеется меньшее количество выводов. Положительный момент — цоколёвка выводов *DD1* совпадает с микросхемами статической памяти ПЗУ в унифицированном корпусе TSOP-48. Это может пригодиться в качестве замены «один к одному» при ремонтных работах или при тестировании устройства. Варианты: *DD1* = TE28F320C3; *DD1* = SST39VF3201B-70 (32 Мбит), сигнал \overline{RES} подключить одновременно к резистору *R1* и к цепи начального сброса МК; ☉



в)

⊖ Рис. 9.3. Схемы подключения параллельной Flash-памяти к МК (продолжение):

в) аналогично Рис. 9.3, а, с логической структурой 32Мx16, т. е. объём памяти микросхемы DD1 стал больше в 8 раз. Особенность — согласующие и подтягивающие резисторы R1...R42. Это актуально при высоких скоростях обмена информацией, а также если на общей шине данных IO0...IO15 размещаются ещё и другие микросхемы памяти. Варианты: DD1 = S29GL512P-10T, R1...R5 = 4.7k, R6...R21 = 0, R22...R42 = 4.7k; ⊖



г)

Рис. 9.3. Схемы подключения параллельной Flash-памяти к МК
(окончание):

г) аналогично Рис. 9.3, б, но с другим типом микросхемы памяти *DD1* (1Mx16, корпус TSOP-48). Джемпером *XT1* можно запретить запись и стирание информации в *DD1*. Время доступа 55 нс, ток потребления 13 мкА в статическом состоянии и 10 мА при записи

9.4. Микросхемы последовательно-параллельной Flash-памяти

Если существуют микросхемы Flash-памяти с последовательным и параллельным интерфейсами, то логично предположить наличие микросхем памяти с комбинированным последовательно-параллельным интерфейсом. Действительно, такие устройства изготавливаются промышленностью, и имеют они архитектуру NAND-Flash [9-3].

Данные микросхемы вобрали в себя преимущества последовательного доступа (относительно небольшое число выводов для связи с МК) и параллельного интерфейса (высокое быстродействие на шине данных/команд). Вдобавок к тому они имеют рекордные показатели объема памяти 1...4 Гбит (Рис. 9.4, а, б).

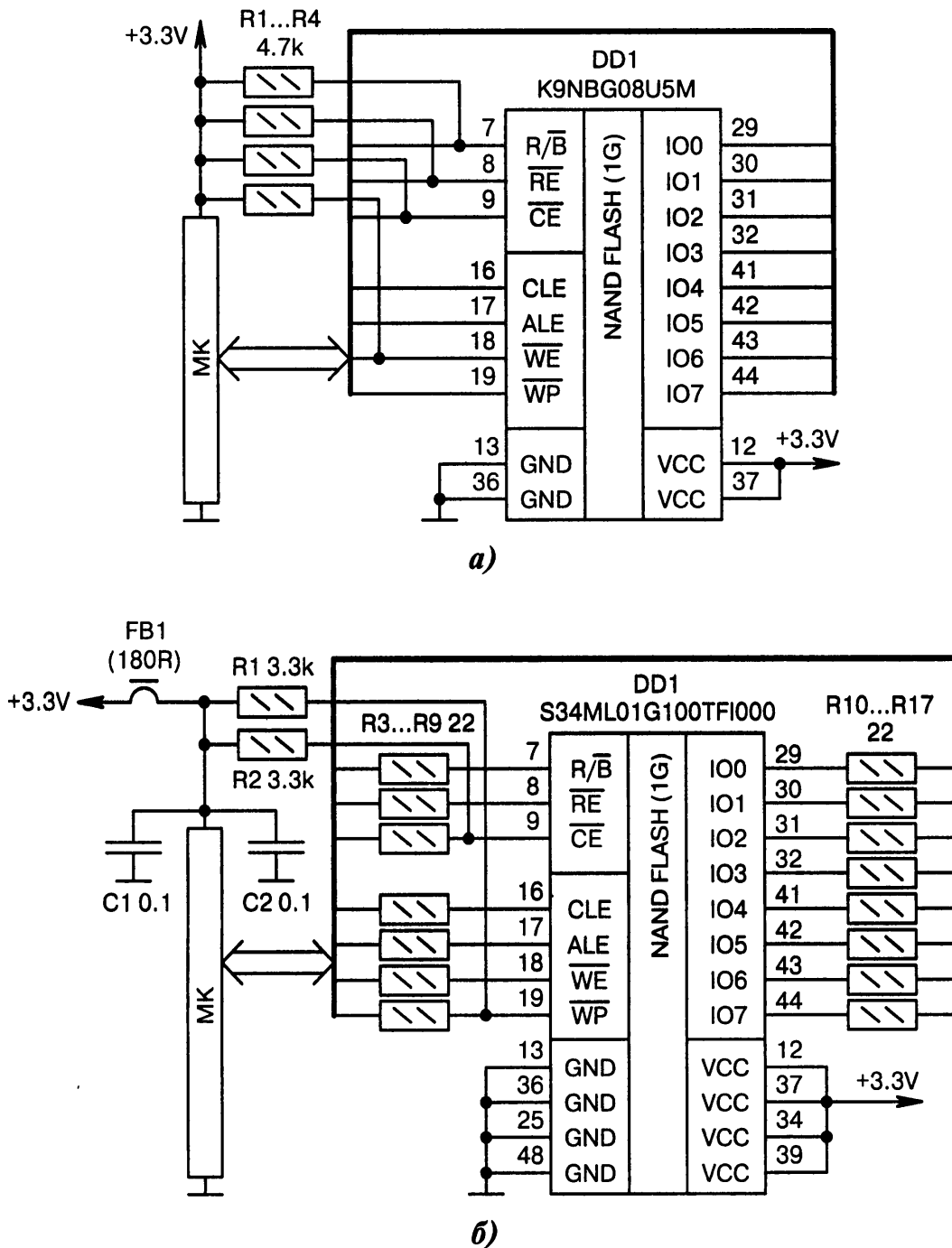


Рис. 9.4. Схемы подключения последовательно-параллельных микросхем Flash-памяти к МК:

а) *DD1* — это микросхема Flash-памяти с организацией 64Mx8. Все информационные и управляющие выходы *DD1* подключаются к линиям МК. Нужные тайминги выставляются аппаратно. Доступ к протоколу обслуживания Flash-памяти производится через регистры альтернативных функций МК. Резисторы *R1...R4* блокируют несанкционированную запись данных при начальном сбросе устройства. Варианты: *DD1* = K9F1G08U0D-SID0; *DD1* = HY27UF081G2M; *DD1* = HY27US08121M (512 Мбит), *R1* = *R2* = 10k, *R2*, *R4* отсутствуют;

б) аналогично Рис. 9.4, а, но с фильтрацией питания элементами *FB1*, *C1*, *C2*, с «антизвонными» резисторами *R3...R17* и с другой точкой подключения подтягивающего резистора *R1*. Параметры микросхемы памяти *DD1* соответствуют международной спецификации ONFI (Open NAND Flash Interface) [9-2]

9.5. Микросхемы ОЗУ

В процессорных системах много памяти никогда не бывает, чаще наоборот. Именно под таким углом зрения следует рассматривать введение в отладочные платы одной или нескольких микросхем дополнительного ОЗУ (Рис. 9.5, а...д). Их англоязычное название SRAM (Static RAM).

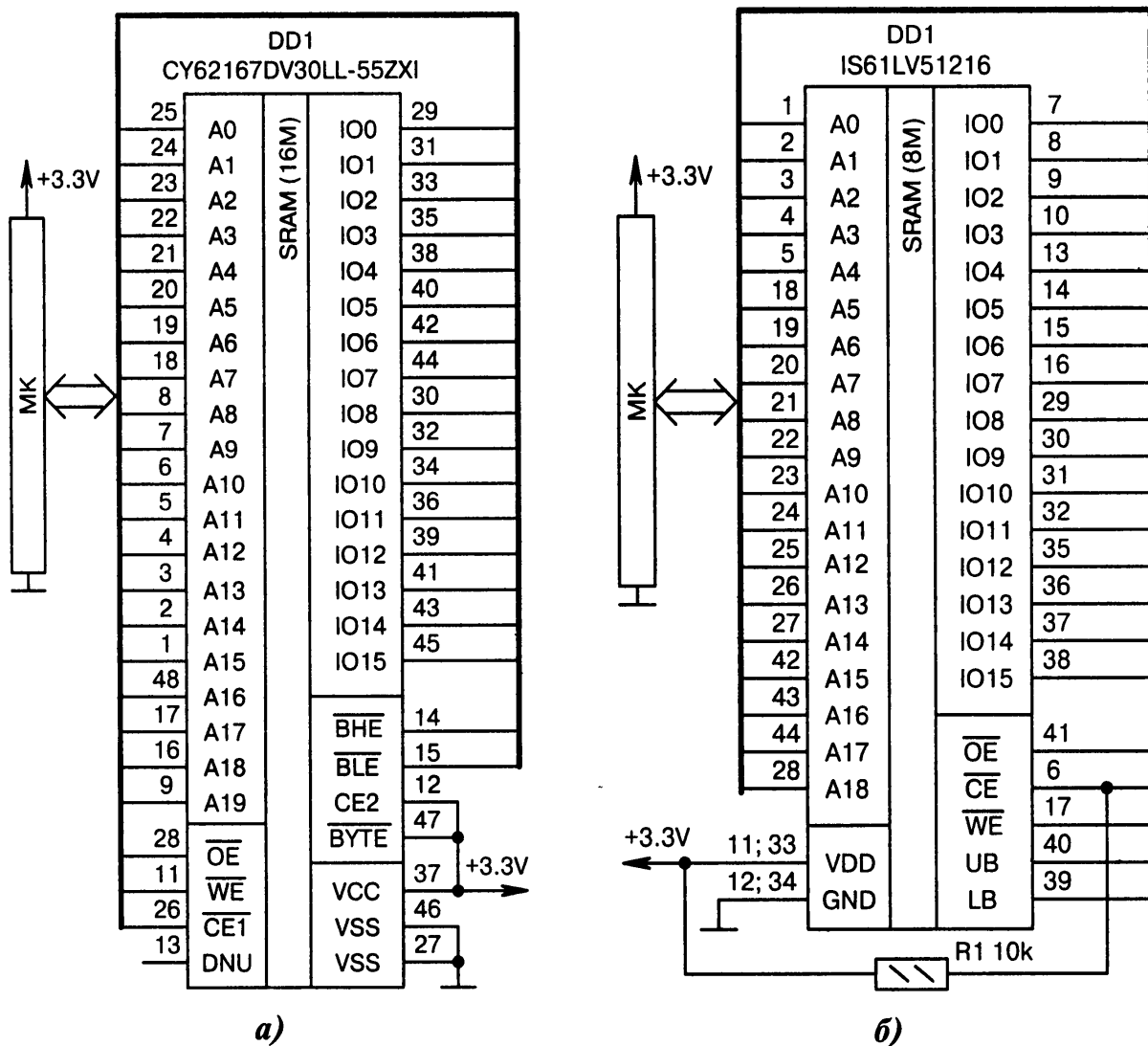
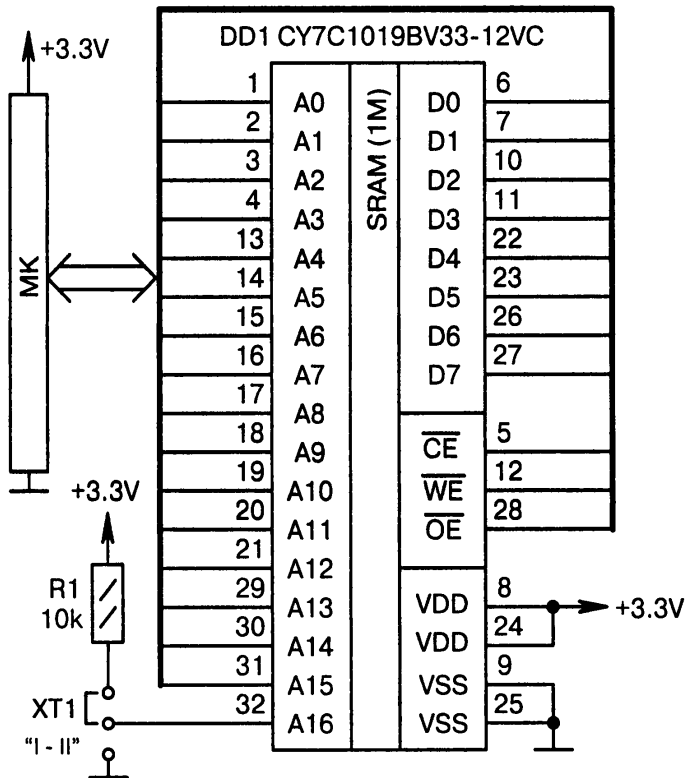


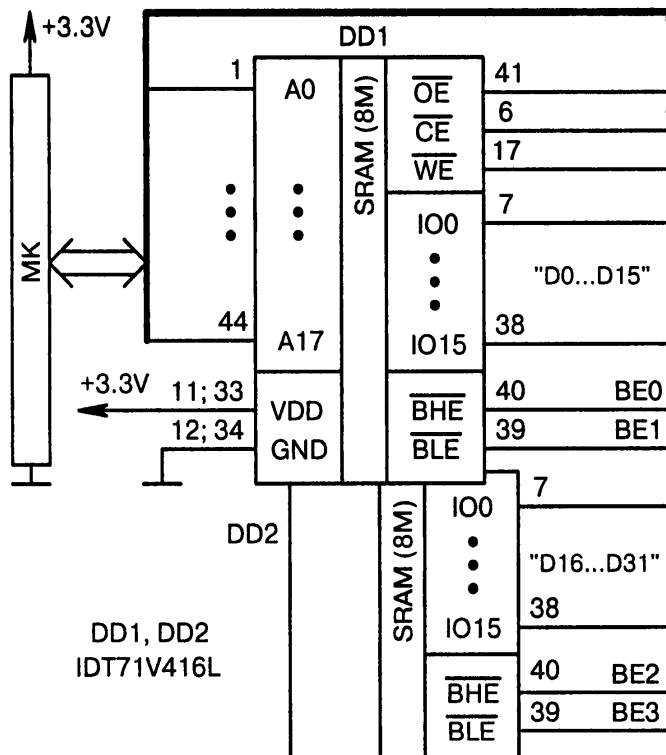
Рис. 9.5. Схемы подключения микросхем ОЗУ к МК (начало):

а) DD1 — это 16-битная микросхема статической памяти SRAM с организацией 1Mx16 и временем доступа 55 нс. Имеет разветвлённую систему команд и режимов. Варианты: DD1 = TC55VCM216 (256Kx16), вывод DNU соединить с общим проводом GND;

б) аналогично Рис. 9.5, а, но с менее «интеллектуальной» микросхемой статической памяти DD1. У неё меньшее количество адресных линий и, соответственно, меньший объём памяти (8 Мбит, организация 512Kx16). Время доступа 8, 10 или 12 нс в зависимости от модификации микросхемы. Ток потребления не более 5 мА. Резистор R1 блокирует доступ к записи/чтению данных при начальном сбросе МК. Варианты: DD1 = IS61WV102416BLL-10MLI (16 Мбит); DD1 = IS62WV25616BLL-55TLI (4 Мбит); DD1 = CY7C1061DV33-10BV1XI (16 Мбит); ☹



в)

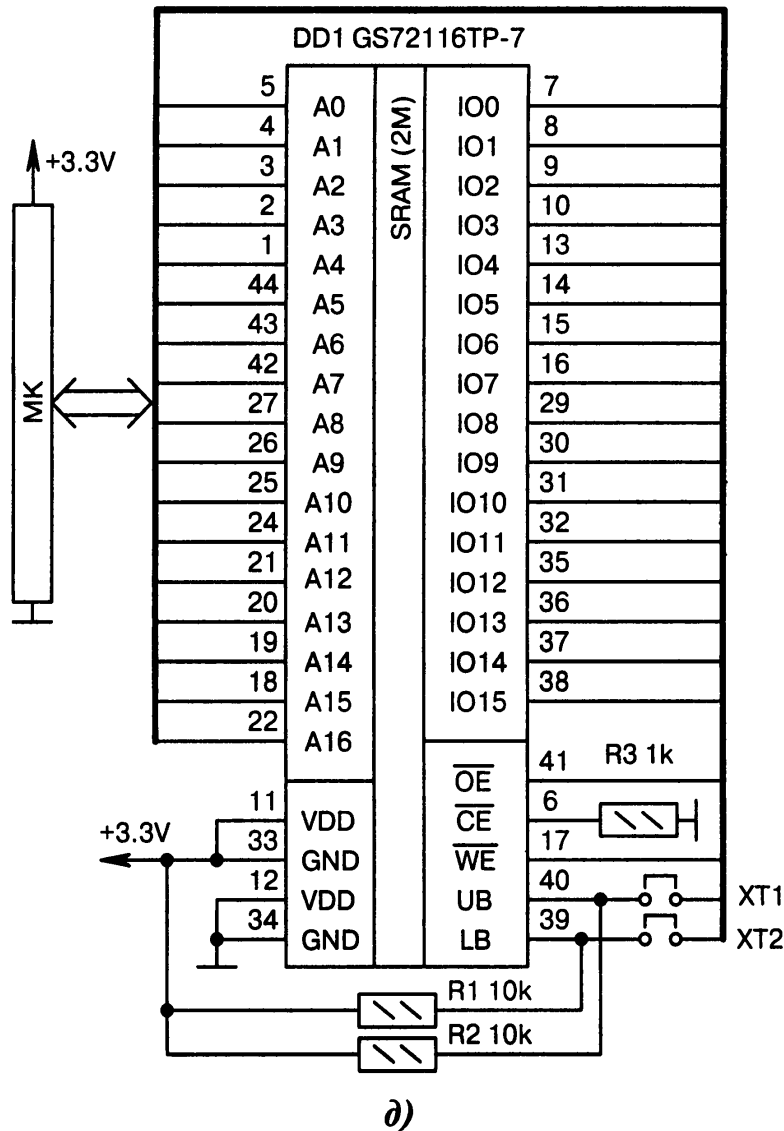


г)

Рис. 9.5. Схемы подключения микросхем ОЗУ к МК (продолжение):

в) DD1 — это микросхема «мегабитного» статического ОЗУ с организацией 128Кx8. Время доступа 12 нс. Дампером XT1 можно выбрать одну из двух возможных областей памяти. Варианты: DD1 = CY7C1009BN-12VC; DD1 = CY7C1049DV33 (ёмкость 4 Мбит, два вывода управления CE1, CE2, увеличенное число адресных линий A0...A18), XT1 и R1 отсутствуют;

г) аналогично Рис. 9.5, б, но с двумя микросхемами памяти DD1, DD2, сгруппированными в один общий массив для работы с 32-битной шиной данных D0...D31; ➔



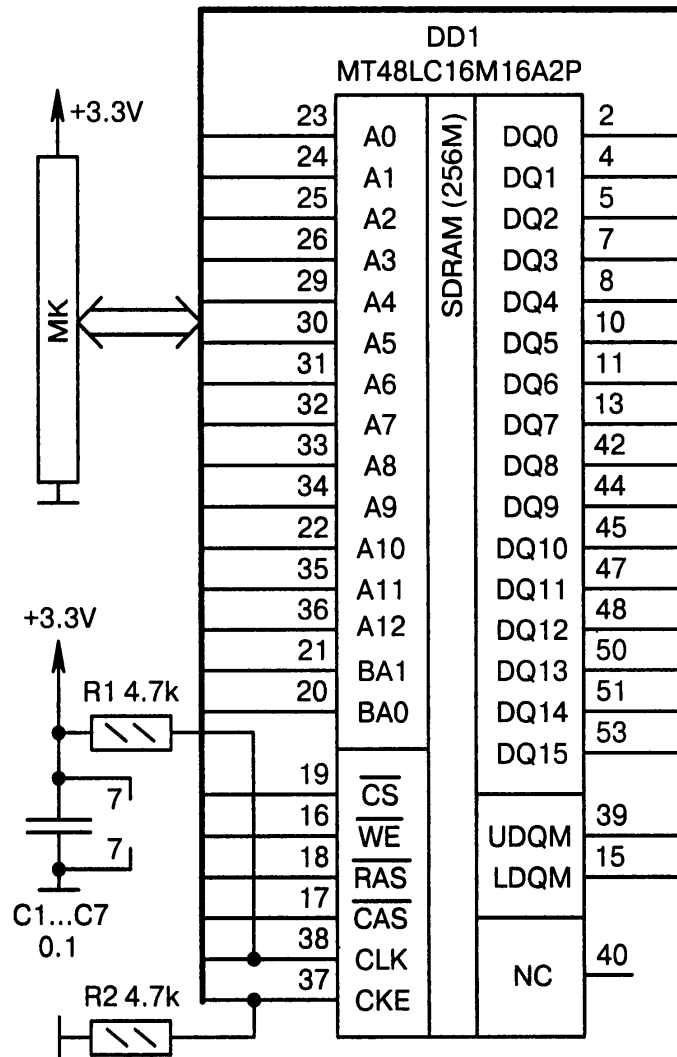
⦿ Рис. 9.5. Схемы подключения микросхем ОЗУ к МК (окончание):

д) нумерация линий $A0...A16$ и $IO0...IO15$ микросхемы ОЗУ *DD1* соответствует даташиту, но к портам МК они могут подключаться в произвольном порядке. Это не принципиально, поскольку запись/чтение всё равно будет производиться в фиксированные ячейки памяти. Изменение порядка линий связи бывает удобным при разводке проводников печатной платы. Дамперами *XT1*, *XT2* можно выбрать нижнюю ($IO0...IO7$) или верхнюю ($IO8...IO15$) область памяти. Без джамперов доступ к микросхеме *DD1* будет полностью запрещён

9.6. Микросхемы SDRAM

Аббревиатура SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) относится к синхронным динамическим ОЗУ, для нормальной работы которых требуется периодически (т. е. динамически) подзаряжать внутренние ёмкости ячеек памяти. Из-за этого в микросхемах SDRAM применяется сложная система синхронизации. Основным параметром является тактовая частота: чем она выше, тем лучше.

Достоинства SDRAM заключаются в большом объёме памяти, высоком быстродействии и низкой стоимости микросхем (Рис. 9.6, а...в).

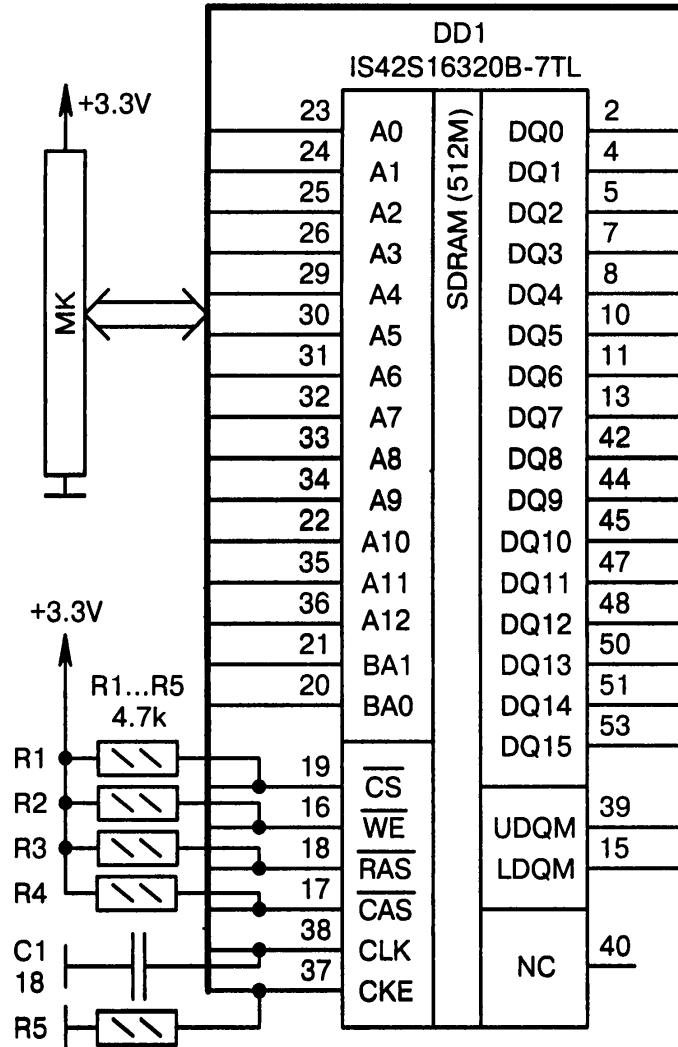


DD1:1 (3; 9; 14; 27; 43; 49) connected by +3.3V.
 DD1:6 (12; 28; 41; 46; 52; 54) connected by GND.

a)

Рис. 9.6. Схемы подключения микросхем SDRAM к МК (начало):

а) *DD1* — это микросхема памяти SDRAM, подключаемая к МК, который имеет аппаратный интерфейс FMC (Flexible Memory Controller). Для работы в этом режиме используются альтернативные функции линий портов. Внутри МК имеется специальный контроллер, формирующий правильные тайминги по всем сигналам. Максимальная тактовая частота зависит от модификации микросхемы и составляет 133...167 МГц. Цоколёвка корпуса *DD1* унифицированная для объёмов памяти 32...512 Мбит у разных фирм-изготовителей, что облегчает подбор замены. Резисторы *R1*, *R2* повышают помехоустойчивость при начальном сбросе МК, когда линии портов переходят в Z-состояние. Конденсаторы *C1...C7* необходимо устанавливать по одному между каждой парой выводов +3.3V и GND, в частности *DD1:1* и *DD1:6*, *DD1:3* и *DD1:12*, *DD1:9* и *DD1:28*, *DD1:14* и *DD1:41*, *DD1:27* и *DD1:46*, *DD1:43* и *DD1:52*, *DD1:49* и *DD1:54* согласно текстовым пояснениям на электрической схеме; ☹

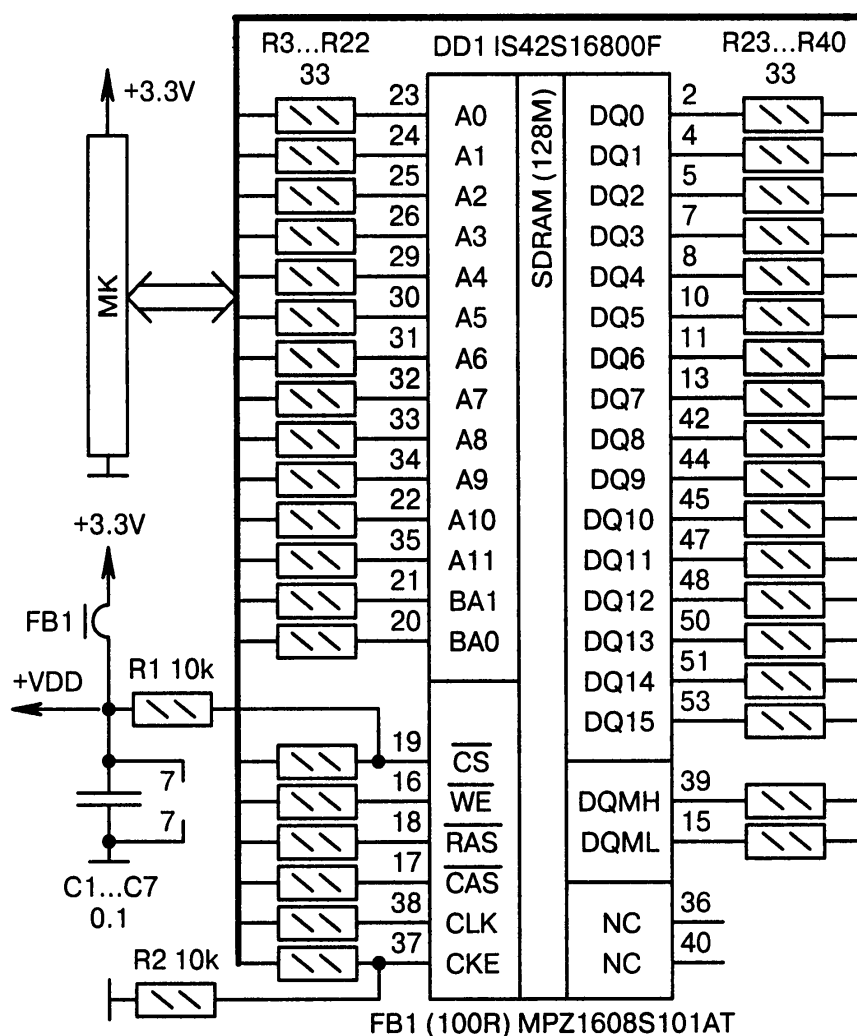


DD1:1 (3; 9; 14; 27; 43; 49) connected by +3.3V.
 DD1:6 (12; 28; 41; 46; 52; 54) connected by GND.

б)

⊖ Рис. 9.6. Схемы подключения микросхем SDRAM к МК
 (продолжение):

б) аналогично Рис. 9.6, а, но с вдвое большим объёмом памяти у микросхемы *DD1* и с другой конфигурацией подтягивающих резисторов *R1...R5*. Максимальная тактовая частота зависит от модификации микросхемы памяти и составляет 143...166 МГц. Между каждой парой цепей питания +3.3V и GND (выводы перечислены в подрисуночной надписи) необходимо устанавливать керамические конденсаторы ёмкостью 0.1 мкФ и размещать их максимально близко к одноимённым выводам микросхемы *DD1*; ⊖



DD1:1 (3; 9; 14; 27; 43; 49) connected by +VDD.
 DD1:6 (12; 28; 41; 46; 52; 54) connected by GND.

в)

● Рис. 9.6. Схемы подключения микросхем SDRAM к МК
 (окончание):

в) аналогично Рис. 9.6, а, но с «антизвонными» резисторами 33 Ом, ферритовым фильтром *FB1* и другой точкой подключения подтягивающего резистора *R1*. Резисторы *R3...R40* могут быть заменены SMD-сборками 4x33 Ом. Максимальная тактовая частота микросхемы *DD1* составляет 133...200 МГц. Керамические конденсаторы *C1...C7* устанавливаются по одному между каждой парой выводов +3.3V и GND. Варианты: *DD1* = HY57V281620FTP-H (133 МГц), *FB1* = 180R

9.7. Карты памяти microSD

Увеличить объём памяти можно не только дополнительными микросхемами, но и картами памяти. В отладочных платах наибольшее распространение получили карты формата microSD. Причина их популярности кроется в низкой стоимости, доступности и малогабаритности, что принципиально при нехватке места.

Схемотехнику подключения карт памяти к МК можно разделить на две части: информационную (Рис. 9.7, а...з) и коммутационную (Рис. 9.8, а...е).

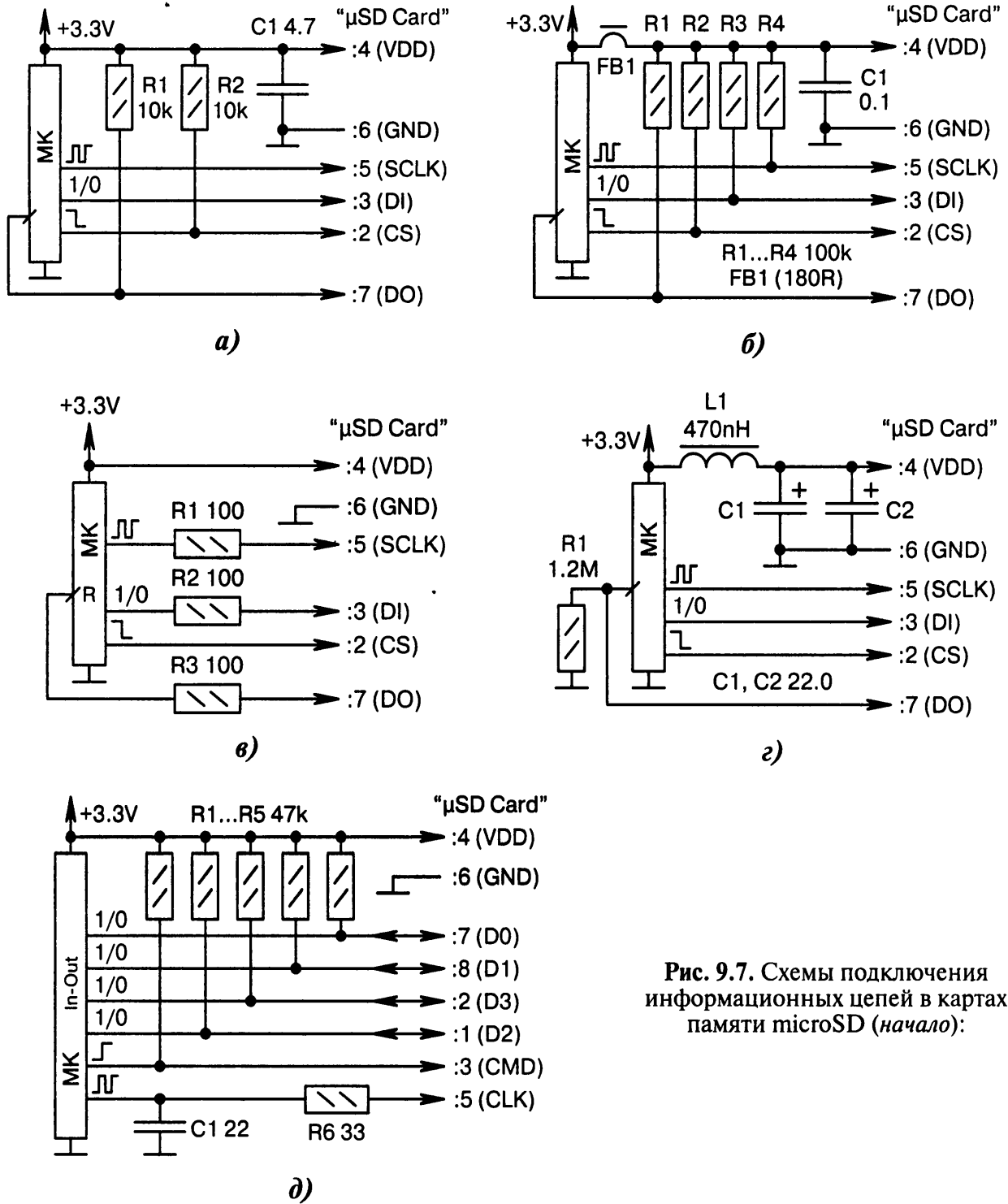


Рис. 9.7. Схемы подключения информационных цепей в картах памяти microSD (начало):

- а) связь карты с МК через интерфейс SPI [9-3]. Подтягивающие резисторы $R1, R2$ поставлены только по двум цепям, важным с точки зрения помехоустойчивости. Варианты: $R1$ отсутствует;
- б) особенность — подтягивающие резисторы $R1...R4$ поставлены по всем информационным цепям. Фильтрация питания осуществляется элементами $FB1, C1$. Варианты: $R1...R4 = 10k$;
- в) согласующие резисторы $R1...R3$ гасят колебания на фронтах импульсов. В цепи CS резистор отсутствует, поскольку сигнал не высокочастотный;
- г) резистор $R1$ не даёт «висеть в воздухе» входу МК при отсутствии карты памяти в разъёме «microSD Card». Варианты: $L1 = MPZ1608S101AT$ (ферритовая «бусинка»), $C1 = 0.1, C2 = 1.0$;
- д) связь карты памяти с МК в режиме SD/SDIO. Управляющих сигналов больше, названия другие, но физически они размещаются на тех же самых ламелях. Варианты: $C1 = 0, R6 = 0$; ☉

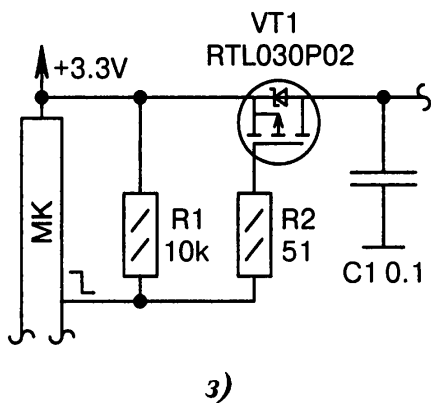
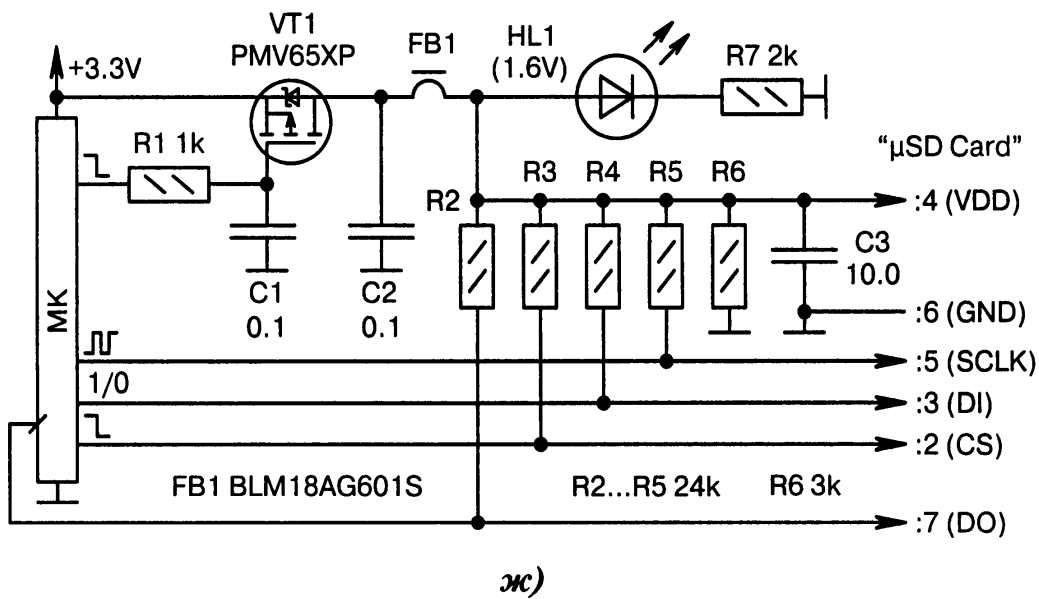
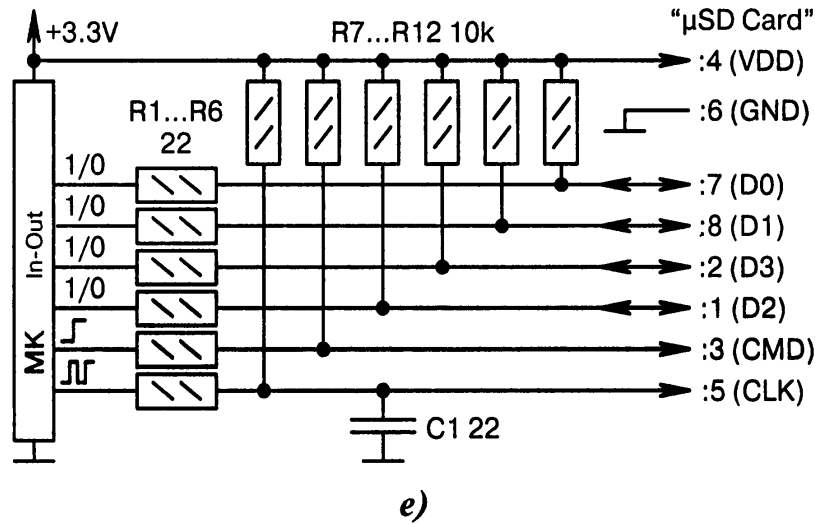


Рис. 9.7. Схемы подключения информационных цепей в картах памяти microSD (окончание):

е) МК должен поддерживать на аппаратном уровне интерфейс SDIO [9-4]. Он более быстродействующий по сравнению с SPI. Содержит сигналы шины данных $D0...D3$, тактирования CLK , управления CMD . Варианты: $R1...R6 = 33$, $R7...R12 = 100k$, $C1 = 0$;

ж) особенности — светодиод $HL1$, индицирующий подачу питания на карту памяти, фильтр $C1$, $FB1$, $C2$, а также транзистор $VT1$, осуществляющий корректную «парковку» карты памяти. Резистор $R6$ обеспечивает быстрый разряд конденсатора $C3$. Варианты: $VT1 = NDS336P$, $FB1 = 0$; $VT1 = FDN336P$, $R1 = 1.5k$, $R7 = 330$, $C3 = 47.0$; $VT1 = Si2301BDS$, $R1 = 33$;

з) аналогично Рис. 9.7, ж, но без ФНЧ в цепи затвора полевого транзистора $VT1$

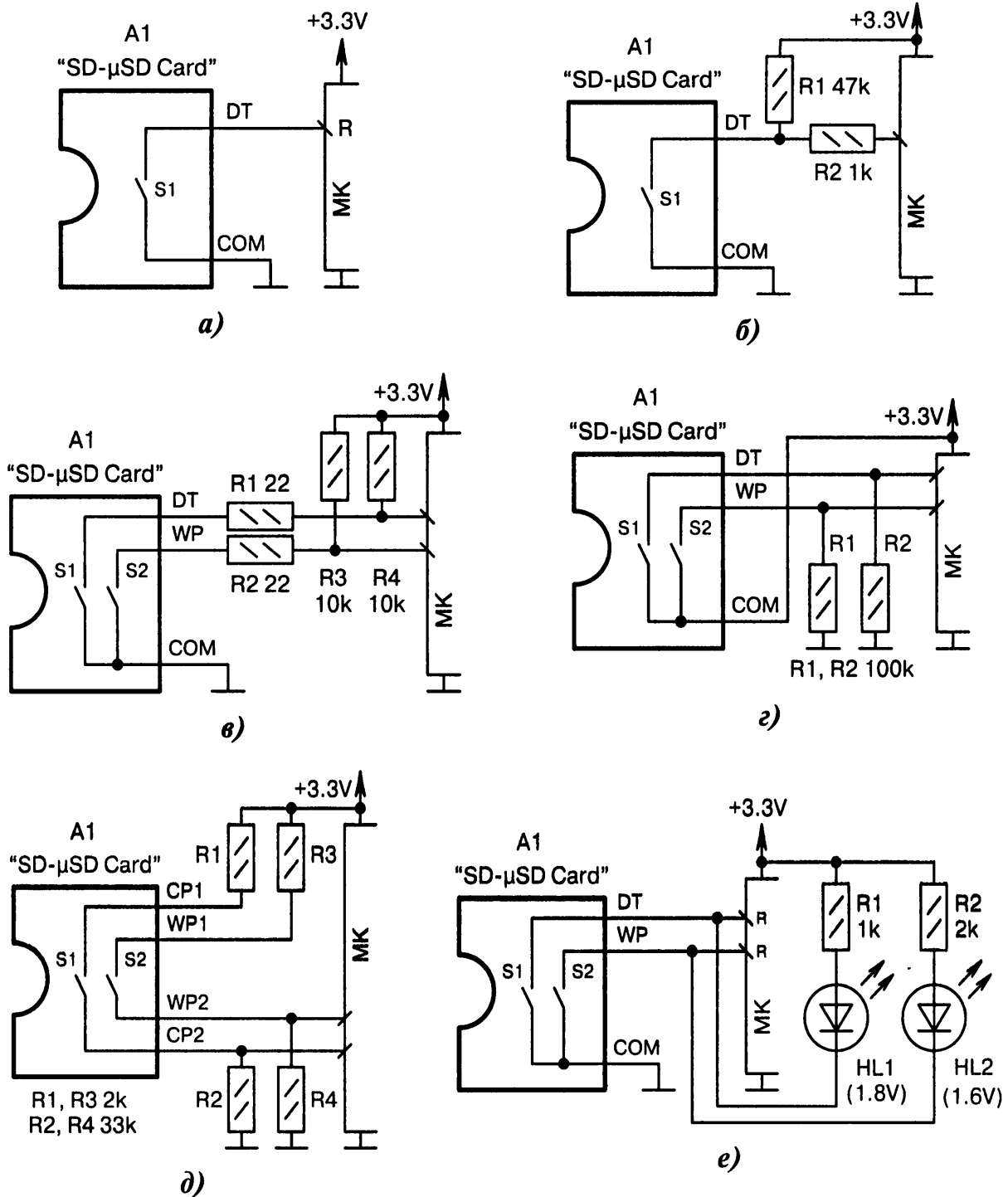


Рис. 9.8. Схемы подключения коммутационных цепей в картах памяти microSD:

а) при установке карты памяти microSD в держатель *A1* замыкается механический контакт *S1* между выводами *COM* и *DT*, что подтверждается НИЗКИМ уровнем на входе МК;

б) аналогично Рис. 9.8, а, но с защитой входа МК ограничительным резистором *R2*. Варианты: $R1 = 100\text{k}$, $R2 = 33$;

в) аналогично Рис. 9.8, б, но с дополнительным переключателем *S2*, которым можно программно заблокировать запись данных на карту памяти microSD;

г) аналогично Рис. 9.8, в, но с инверсными сигналами на входах МК и без последовательных (согласующих, токоограничивающих) резисторов;

д) переключатели *S1*, *S2* имеют отдельные (а не совмещённые) контакты *CPx* и *WPx*;

е) замыкание переключателей *S1*, *S2* визуально подтверждается светодиодами *HL1*, *HL2*

9.8. Прочие схемы устройств памяти

На Рис. 9.9, а, б показаны на контрасте две схемы устройств внешней памяти, а именно устаревшие и перспективные.

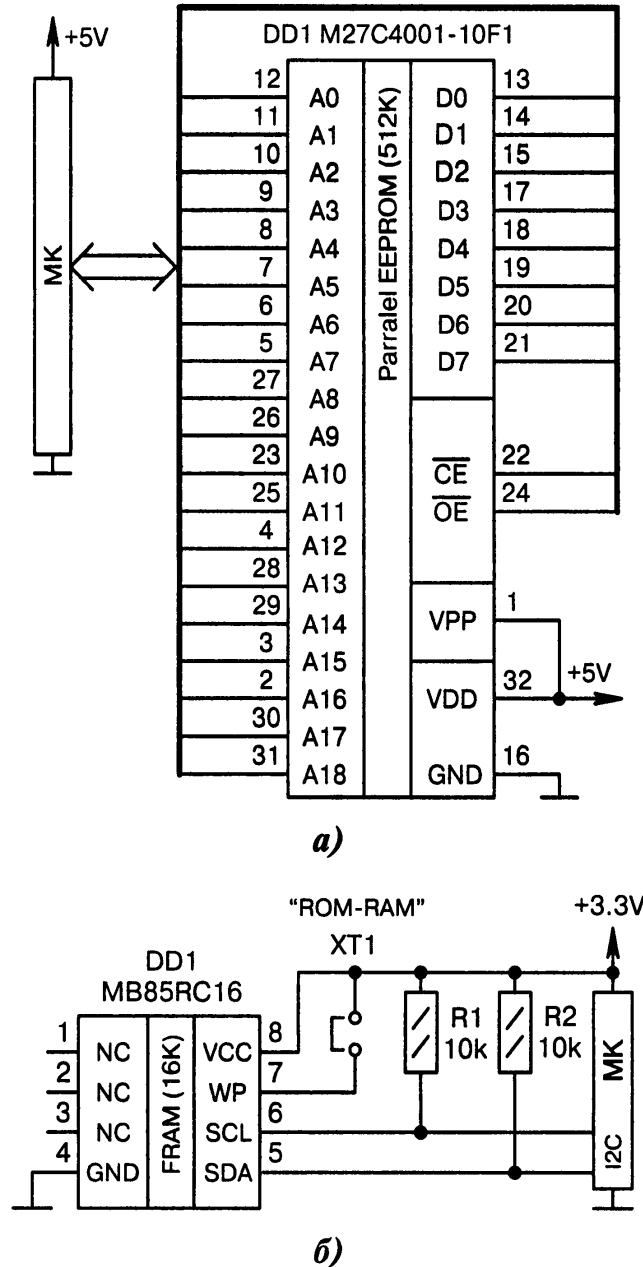


Рис. 9.9. Прочие схемы устройств памяти:

а) решение, применявшееся в старых отладочных платах. *DD1* — это микросхема параллельной памяти EEPROM с организацией 64Кх8. В современных отладочных платах чаще применяются микросхемы EEPROM с последовательным интерфейсом;

б) *DD1* — это микросхема памяти FRAM (Ferroelectric RAM [9-5]). Рабочее напряжение питания 2.7...3.6 В, тактовая частота до 1 МГц, число циклов перезаписи 10^{12} на байт, время хранения информации не менее 10 лет. Это перспективное, но пока ещё довольно дорогостоящее направление в электронной технике. Вход *WP* (Write Protect) микросхемы *DD1* имеет внутренний «pull-down» резистор. Дампером *XT1* можно превратить *DD1* или в ОЗУ (запись данных), или в ПЗУ (только чтение)

Список использованных источников и литературы к главе 9

- 9-1. Технологии флеш-памяти [Электронный ресурс] / «IXBT», 2004. — Режим доступа: <http://www.ixbt.com/storage/flash-tech.shtml>. — 14.04.2017.
- 9-2. Open NAND Flash Interface Specification Revision 2.0 [Электронный ресурс] / 2008. — Режим доступа: http://www.onfi.org/~media/onfi/specs/onfi_2_0_gold.pdf (англ.). — 14.04.2017.
- 9-3. Микроконтроллер — работаем без файловой системы [Электронный ресурс] / «Записки инженера», 2017. — Режим доступа: <http://s-engineer.ru/mikrokontroller-rabotaem-s-sd-kartoj-bez-fajlovoj-sistemoj/>. — 14.04.2017.
- 9-4. Работа с SD-картой памяти по SDIO STM32F4Discovery [Электронный ресурс] / «blablacode.ru», 2016. — Режим доступа: <http://blablacode.ru/mikrokontrollery/452>. — 14.04.2017.
- 9-5. FRAM — встроенная память со сверхнизким энергопотреблением [Электронный ресурс] / Texas Instruments, 2016. — Режим доступа: http://www.ti.com/ww/ru/mcu/fram_ultra_low_power_embedded_memory/. — 14.04.2017.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

*Существует лишь то, что можно измерить.
(Макс Планк)*

10.1. Особенности измерений

Измерение — это процесс сравнения между собой двух величин, одна из которых является эталоном. В отладочных платах измерения проводятся или с помощью внешних датчиков, или через АЦП МК. В последнем случае измеряется входное напряжение, которое затем пересчитывается в искомую величину, будь то температура, ток, влажность, освещённость и т. д.

Поскольку напряжение является главным источником информации, то пользователю надо в первую очередь освоить процесс преобразования двоичных чисел АЦП в вольты [10-1], а остальное приложится.

Здесь можно провести параллель с первичными эталонами физических величин. Как известно, эталон напряжения «1 В» строится на сверхпроводящих интегральных схемах СПИС, использующих квантовый эффект Джозефсона. А вот первичный эталон силы тока «1 А» своей собственной физической базы не имеет. Он использует меру напряжения и меру электрического сопротивления, а далее расчёт ведётся по закону Ома [10-2].

В МК применяются в основном АЦП последовательного приближения. Это означает, что измеряемое напряжение внутри МК последовательно сравнивается со стабильными уровнями по определённому алгоритму [10-3]. Данный алгоритм напоминает известную логическую игру «Быки и коровы», когда искомое число угадывается последовательным разбиением пополам каждого испытуемого диапазона чисел.

Быстродействие АЦП определяется тактовой частотой синхроимпульсов внутри МК. Их стабильность во времени гарантирует отсутствие ошибок. Следовательно, для повышения точности показаний важно иметь кварцевую стабилизацию частоты работы МК, т. е. качественный кварцевый резонатор. Чем выше его стабильность, тем больше доверия к результатам измерения.

Разрядность АЦП в современных МК достигает 12...14 бит. Этого вполне достаточно для проведения экспериментов с отладочными платами среднего ценового уровня. Чтобы добиться более высокой разрешающей способности, ставят внешние АЦП, для которых нужны специальная схемотехника и тщательно выверенная разводка печатной платы.

Ещё одним важным элементом, обеспечивающим точность показаний, является ИОН для канала АЦП. Это тот самый эталон, с которым сравнивается измеряемая величина. Он должен быть очень стабильным и малошумящим.

10.2. Измерение напряжения в отладочных платах

Измерение напряжения может быть точным, а может быть приблизительным, когда достаточно знать лишь диапазон разброса величины. В первом случае используется канал АЦП МК, во втором — различные пороговые схемы на компараторах и обычных цифровых портах МК (Рис. 10.1, а...з).

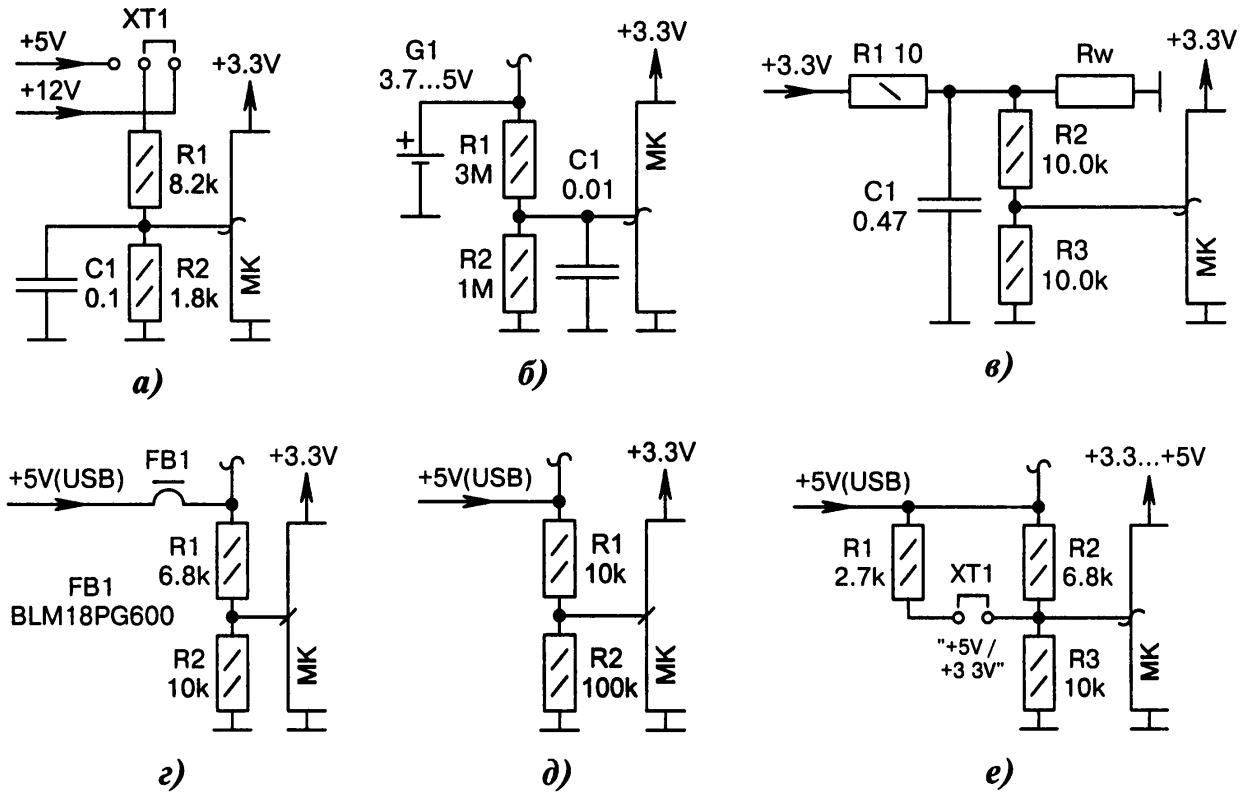


Рис. 10.1. Схемы измерения напряжения (начало):

а) МК через канал АЦП измеряет напряжение питания источников +5 В и +12 В. Джемпером *XT1* выбирается нужный измерительный канал. Напряжение на входе АЦП МК после делителя на резисторах *R1*, *R2* будет составлять, соответственно, +0.9 В или +2.16 В;

б) МК питается от батареи *G1* через стабилизатор напряжения +3.3 В (на схеме не показан). Для измерения степени разряженности батареи используется высокоомный делитель на резисторах *R1*, *R2*. Конденсатор *C1* снижает ВЧ-помехи, наводимые на вход АЦП МК;

в) если в МК имеется программная возможность переключения ИОН с внутреннего +2.5 В на внешний +3.3 В, то в первом случае измеряется напряжение на нагрузке *Rw* через делитель *R2*, *R3*, а во втором — ток, протекающий через резистор *R1* в нагрузку *Rw* (расчётным путём);

г) МК проверяет наличие напряжения +5 В, поступающего с разъёма USB, по принципу «Да, имеется» или «Нет, не имеется». Делитель *R1*, *R2* нужен, поскольку МК питается от более низкого источника напряжения +3.3 В. Варианты: $R1 = 15\text{k}$, $R2 = 22\text{k}$; $R1 = 430\text{k}$, $R2 = 620\text{k}$; $R1 = 20\text{k}$, $R2 = 39\text{k}$; $R1 = 4.7\text{k} \dots 5.1\text{k}$, $R2 = 10\text{k}$;

д) аналогично Рис. 10.1, г, но с МК, который имеет входы, толерантные к повышенному питанию +5 В. С делителя *R1*, *R2* на вход МК поступает напряжение примерно +4.5 В;

е) если питание МК изменяется в широком диапазоне +3.3...+5 В, то установкой/снятием джемпера *XT1* можно подобрать оптимальный уровень напряжения, поступающего с делителя на резисторах *R1*...*R3*. Вход МК может быть как аналоговый, так и цифровой; ➔

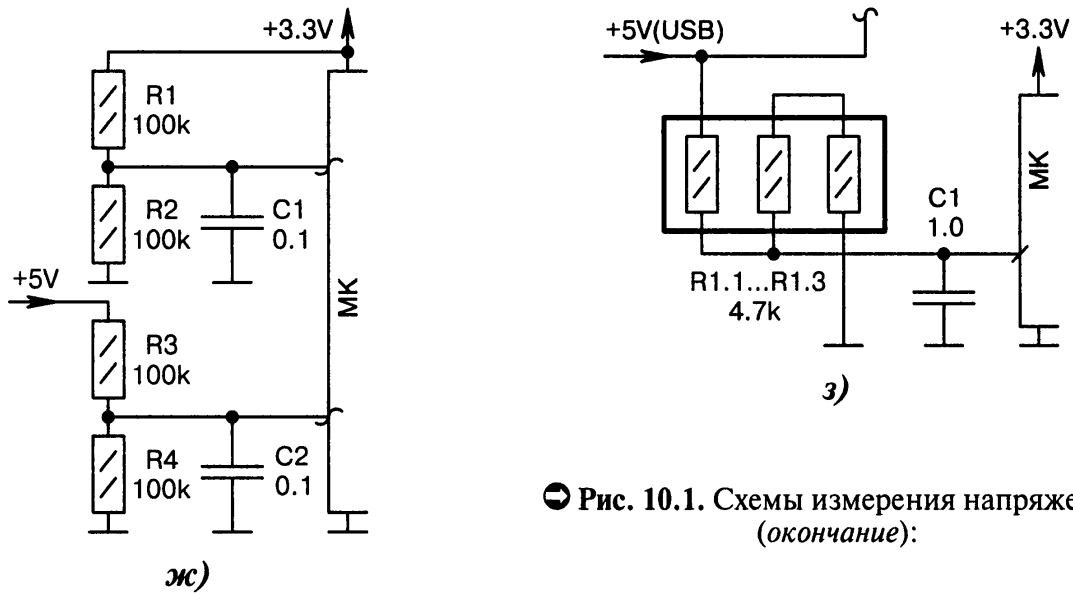


Рис. 10.1. Схемы измерения напряжения (окончание):

ж) точное измерение напряжений +3 В и +5 В при помощи двух одинаковых делителей на резисторах $R1...R4$. В программных настройках канала АЦП нельзя использовать в качестве ИОН напряжение питания МК, поскольку это приведёт к неверным показаниям в цепи +3.3 В (отсутствие каких-либо изменений при колебаниях питания). Конденсаторы $C1, C2$ устраняют импульсные помехи. Варианты: $C1 = C2 = 33$, $R1...R4 = 150k...240k$;

з) напряжение +5 В, поступающее от компьютера через кабель USB, измеряется при помощи резистивного делителя, выполненного на сборке $R1$. Конденсатор $C1$ фильтрует ВЧ-помехи

10.3. Измерение тока в отладочных платах

На Рис. 10.2, а...н показаны схемы измерения тока с использованием как внешних измерительных приборов, так и внутренних интегральных датчиков.

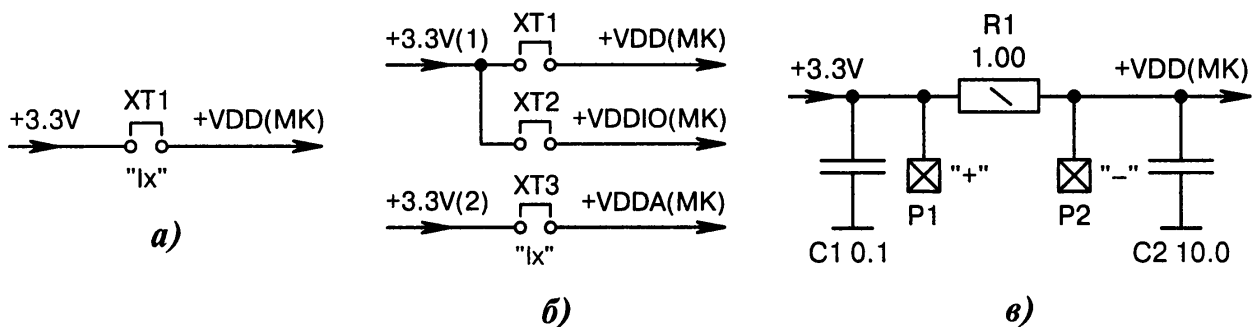


Рис. 10.2. Схемы измерения тока (начало):

а) джампер $XT1$ ставится в разрыв цепи питания МК. Для измерения постоянного тока, потребляемого МК, удаляют джампер $XT1$ и вместо него навесом подключают миллиамперметр;

б) аналогично Рис. 10.2, а, но ток измеряется отдельно по трём разным цепям МК: питание ядра ($XT1$), питание портов ввода/вывода ($XT2$) и питание аналоговой части ($XT3$);

в) вольтметром измеряется падение напряжения на контактных площадках $P1, P2$. Один милливольт соответствует току в цепи +VDD(MK) один миллиампер. В такой схеме следует избегать КЗ по выходу, что может привести к перегоранию резистора $R1$. Варианты: $R1 = 0.051$;

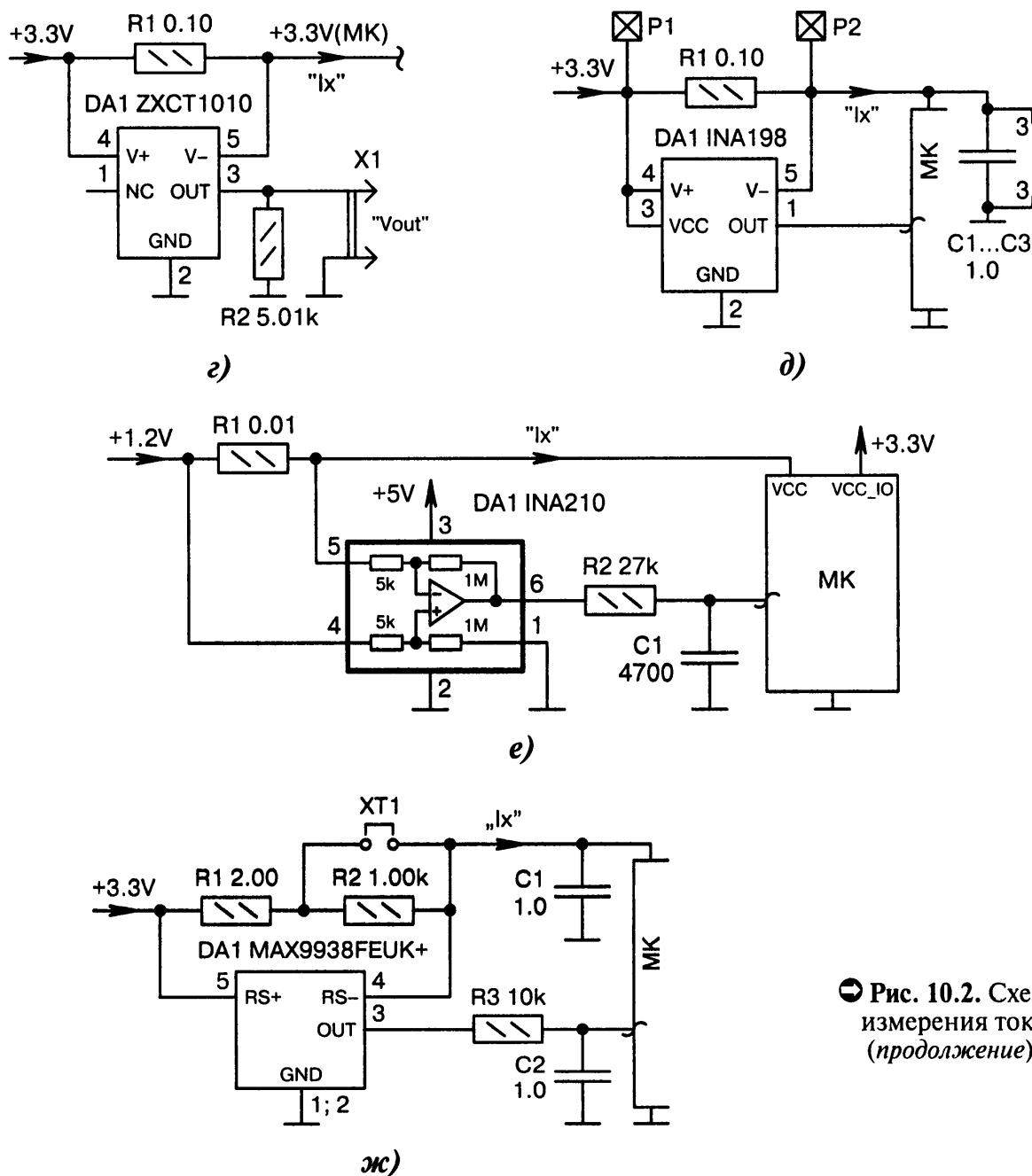


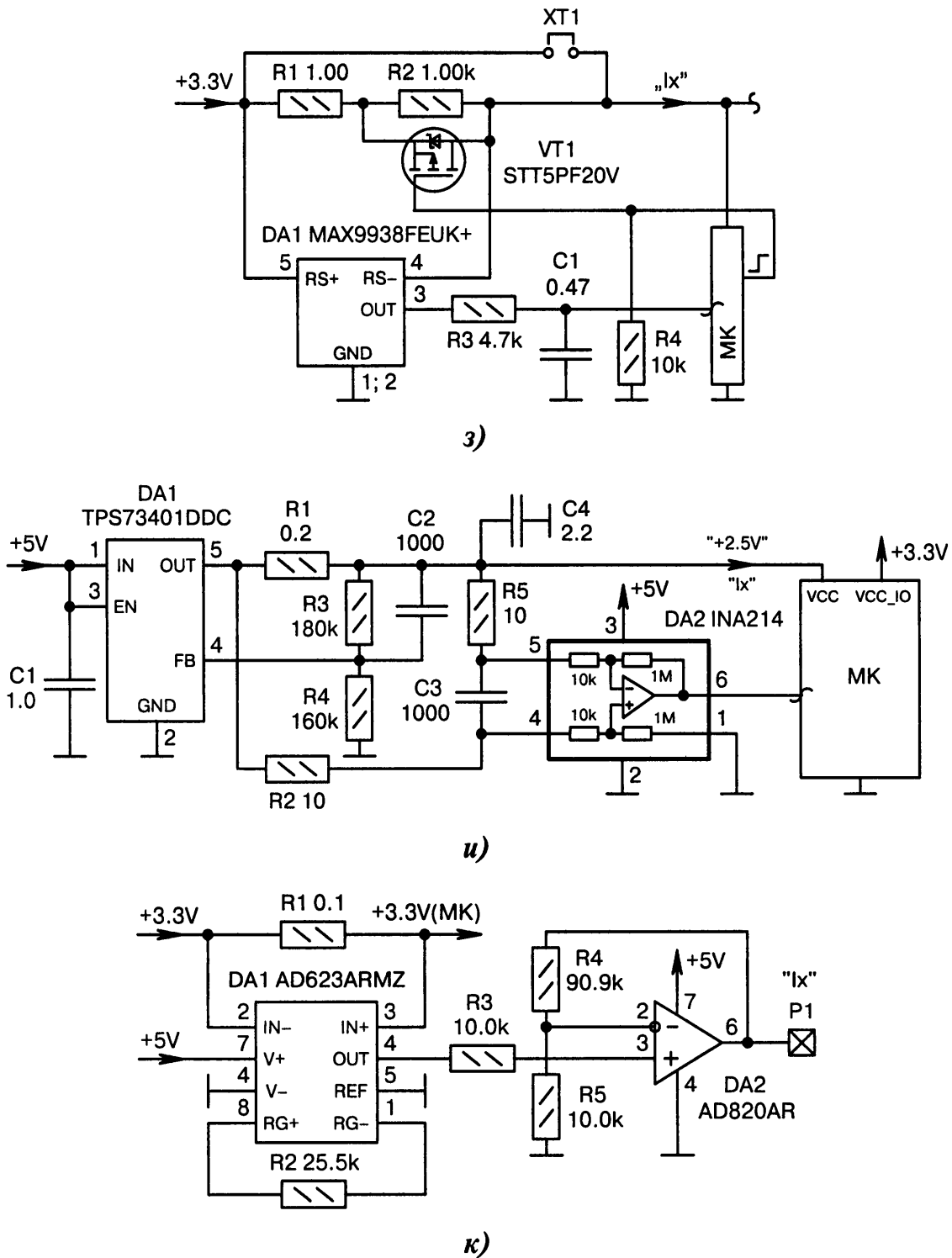
Рис. 10.2. Схемы измерения тока (продолжение):

г) измерение тока I_x в цепи +3.3 В производится при помощи микросхемы *DA1*, которая является преобразователем «ток–напряжение». К контактам разъёма *X1* подключается вольтметр, которым измеряется напряжение V_{out} . Ток рассчитывается по формуле $I_x[\text{mA}] = V_{out}[\text{mВ}] / 5$;

д) *DA1* — это специализированная микросхема, предназначенная для измерения тока. Коэффициент преобразования K_n между входным ($V+$, $V-$) и выходным (OUT) напряжениями равен 100 В/В. Точность $\pm 0.75...2\%$, полоса частот 200 кГц. Падение напряжения на измерительном резисторе $R1$ должно быть 50...100 мВ. Его можно проконтролировать на контактных площадках $P1$, $P2$. Варианты: $DA1 = \text{INA197}$ (K_n составляет 50 В/В), $DA1 = \text{INA196}$ (K_n составляет 20 В/В);

е) измерение тока ядра МК в цепи +1.2 В при помощи инструментального усилителя *DA1*, обеспечивающего точное и стабильное во времени преобразование «ток–напряжение»;

ж) аналогично Рис. 10.2, д, но с другим типом *DA1* и с двумя поддиапазонами измерения тока. Если джампер *XT1* замыкает резистор $R2$, то измеряются миллиамперы. При отсутствии джампера измеряются микроамперы. Микросхема *DA1* имеет коэффициент усиления 25, следовательно, ток рассчитывается по формуле $I_x[\text{mA}] = V_{out}[\text{В}] / (25 \cdot (R1[\text{kOhm}] + R2[\text{kOhm}]))$; ●

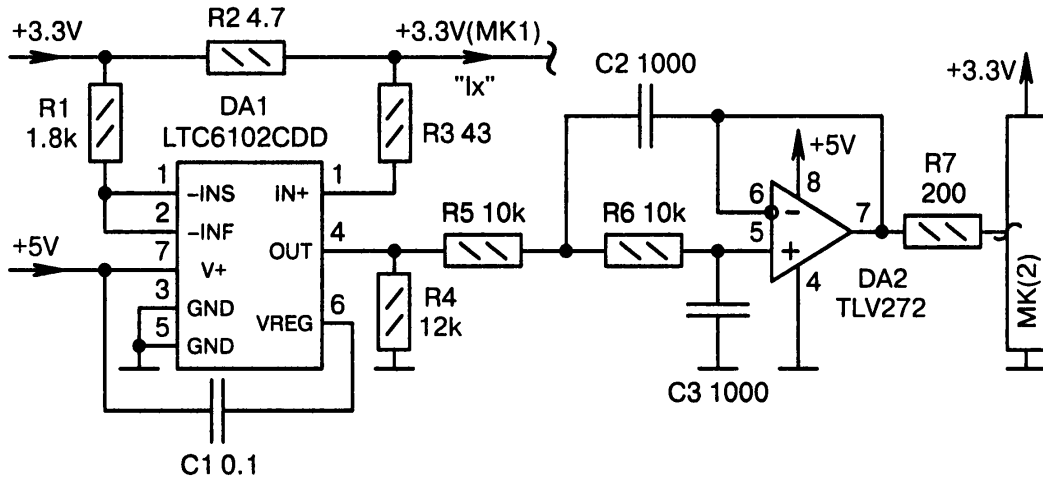


● Рис. 10.2. Схемы измерения тока (продолжение):

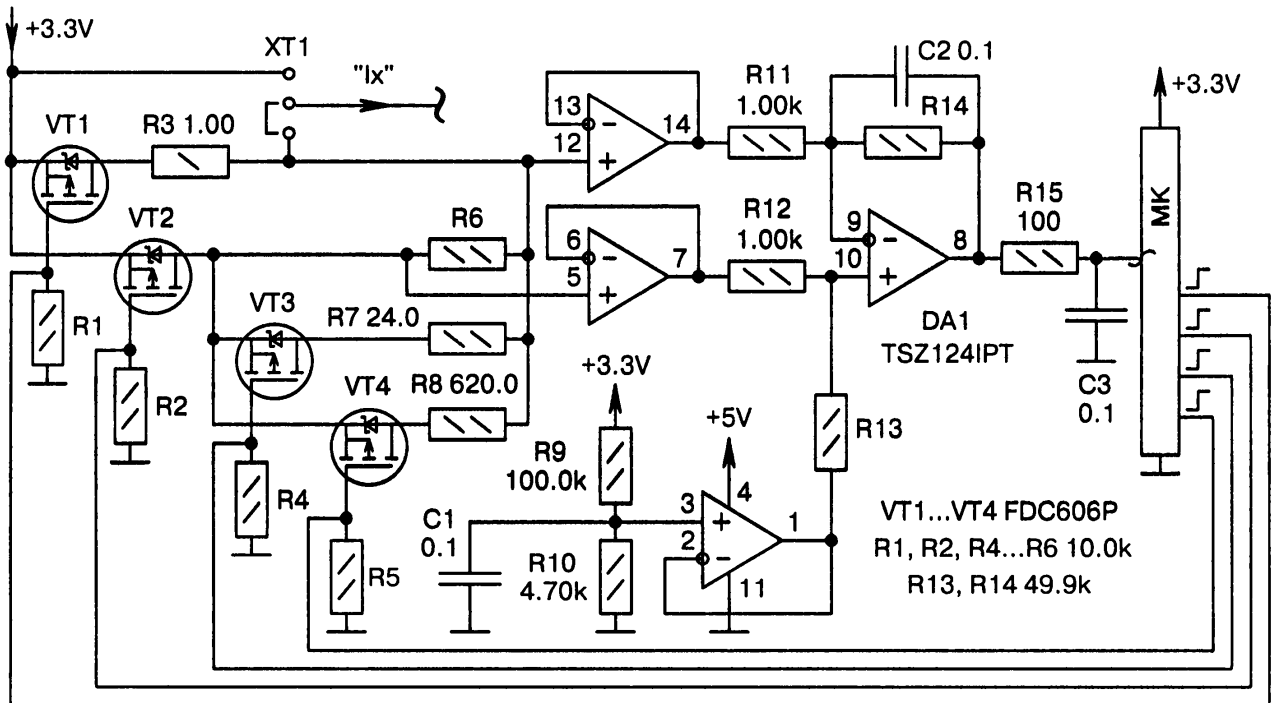
з) аналогично Рис. 10.2, ж, но с программным переключением поддиапазонов. Коммутация производится транзистором *VT1* с выхода МК. Если джампер *XT1* установлен, то измерение тока *I_x* не производится. Варианты: $R_2 = 100$, $R_3 = 0$, $R_4 = 100\text{k}$, $VT1 = \text{FDC606P}$, $C1 = 0.1$;

и) *DA1* — это стабилизатор напряжения +2.5 В, в цепь обратной связи которого включается низкоомный резистор *R1*. На нём падает напряжение, пропорциональное протекающему току *I_x*. Напряжение усиливается дифференциальным усилителем *DA2* и подаётся на МК;

к) аналогично Рис. 10.2, г, но с дополнительным усилителем *DA2*. Напряжение на контакте *P1* прямо пропорционально току потребления МК в цепи +3.3 В (измеряется вольтметром); ●



л)

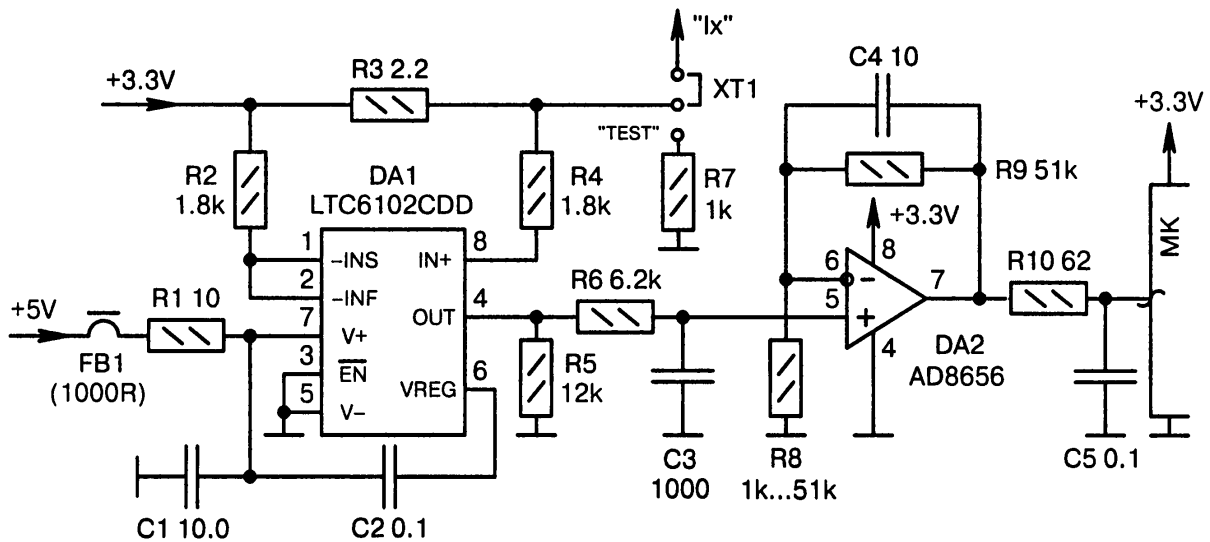


м)

Рис. 10.2. Схемы измерения тока (продолжение):

л) в системе содержатся два контроллера МК(1) и МК(2), один из них измеряет ток потребления другого I_x . Для замера тока используется трансимпедансный усилитель $DA1$ с «нулевым» дрейфом [10-4], а также активный фильтр на ОУ $DA2$. Ток потребления МК(1) рассчитывается по формуле $I_x[\text{mA}] = V_{out}[\text{B}] \cdot (R1[\text{kOm}] + R3[\text{kOm}]) / (R2[\text{kOm}] \cdot R4[\text{kOm}])$, где V_{out} — напряжение на резисторе $R4$. В системе может быть ещё один аналогичный измеритель, настроенный на другой диапазон значений тока;

м) измерение тока I_x в четырёх поддиапазонах от 0.1 мкА до 50 мА. Задающими резисторами служат $R3, R6...R8$. Они подключаются к ОУ $DA1$ транзисторами $VT1...VT4$ по сигналам с выходов МК. На микросхеме $DA1$ собран дифференциальный усилитель с необходимыми цепями смещения. Точность резисторов $R11...R14$ должна быть $\pm 0.1\%$, остальных резисторов — $\pm 1\%$. Варианты: $VT1...VT4 = \text{STS7P2UH7}$, $R1 = R2 = R4 = R5 = 100\text{k}$, $R9 = R13 = R14 = 300\text{k}$, $R10 = 15\text{k}$, $R1 = R12 = 6.04\text{k}$, $DA1 = \text{TSZ122IST}$ (с питанием микросхемы от источника +3.3 В);



н)

⊖ Рис. 10.2. Схемы измерения тока (окончание):

н) аналогично Рис. 10.2, л, но с другой схмотехникой усилителя *DA2*. Чувствительность (диапазон измерения тока) задаётся резистором *R3*. Перевод джампера *XT1* в нижнее положение подключает образцовый резистор *R7* для тестирования правильности показаний и подбора резистора *R8*. Вместо джампера может стоять электронный транзисторный ключ, управляемый от линии МК

Список использованных источников и литературы к главе 10

- 10-1. Баррет, С., Пак, Д. Встраиваемые системы. Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12/HCS12 с применением языка С / С. Ф. Баррет, Д. Дж. Пак. — М. : ДМК Пресс, 2007. — 640 с. — ISBN 5-9706-0034-2.
- 10-2. ГЭТ 4-91 Государственный первичный эталон единицы силы постоянного электрического тока [Электронный ресурс] / «КИПиС», 2017. — Режим доступа: http://www.kipis.ru/info/?ELEMENT_ID=13558. — 14.04.2017.
- 10-3. Ратхор Т. Цифровые измерения. Методы и схемотехника / Т. С. Ратхор. — М. : Техносфера, 2004. — 376 с. — ISBN 5-94836-012-1.
- 10-4. Блэк, Б. Усилители датчиков тока для разных приложений / Брайан Блэк, Linear Technology // Электронные компоненты. — 2011. — № 2. — С. 62–65.

СХЕМЫ С НЮАНСАМИ

*Теория — это когда всё известно, но ничего не работает.
Практика — это когда всё работает, но никто не знает, почему.
(Альберт Эйнштейн)*

11.1. Нюансы в тракте питания

Разъяснить технические решения, принятые в конкретной схеме, может лишь её разработчик. Остальным приходится строить догадки (Рис. 11.1, а...д).

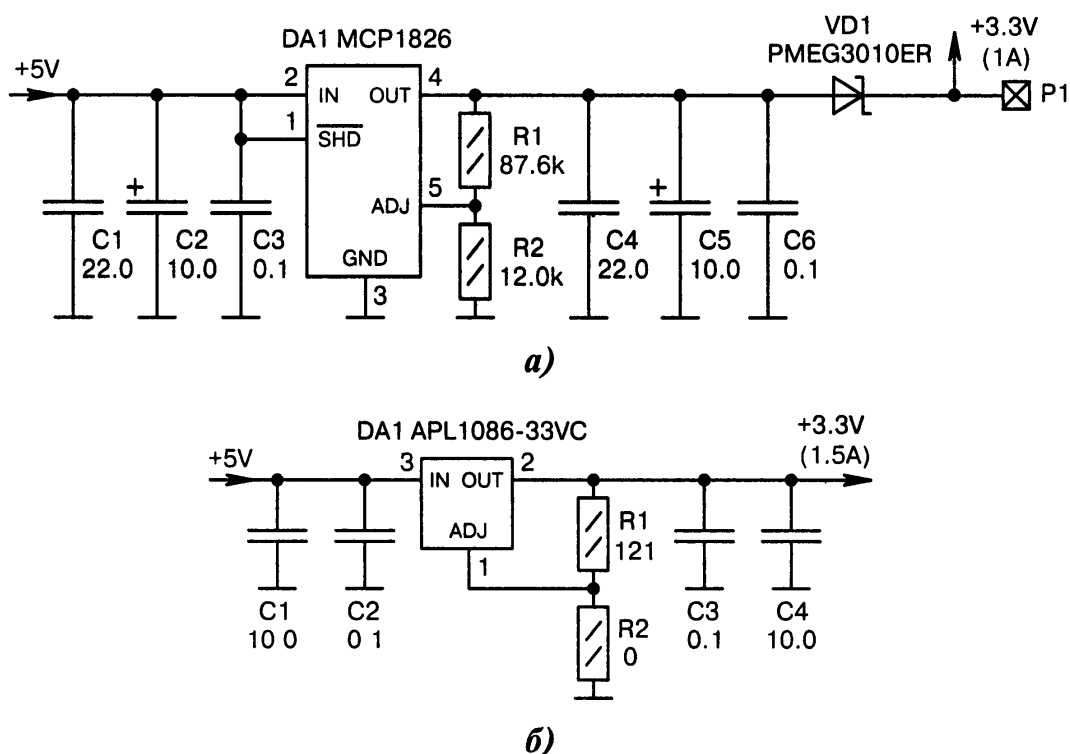
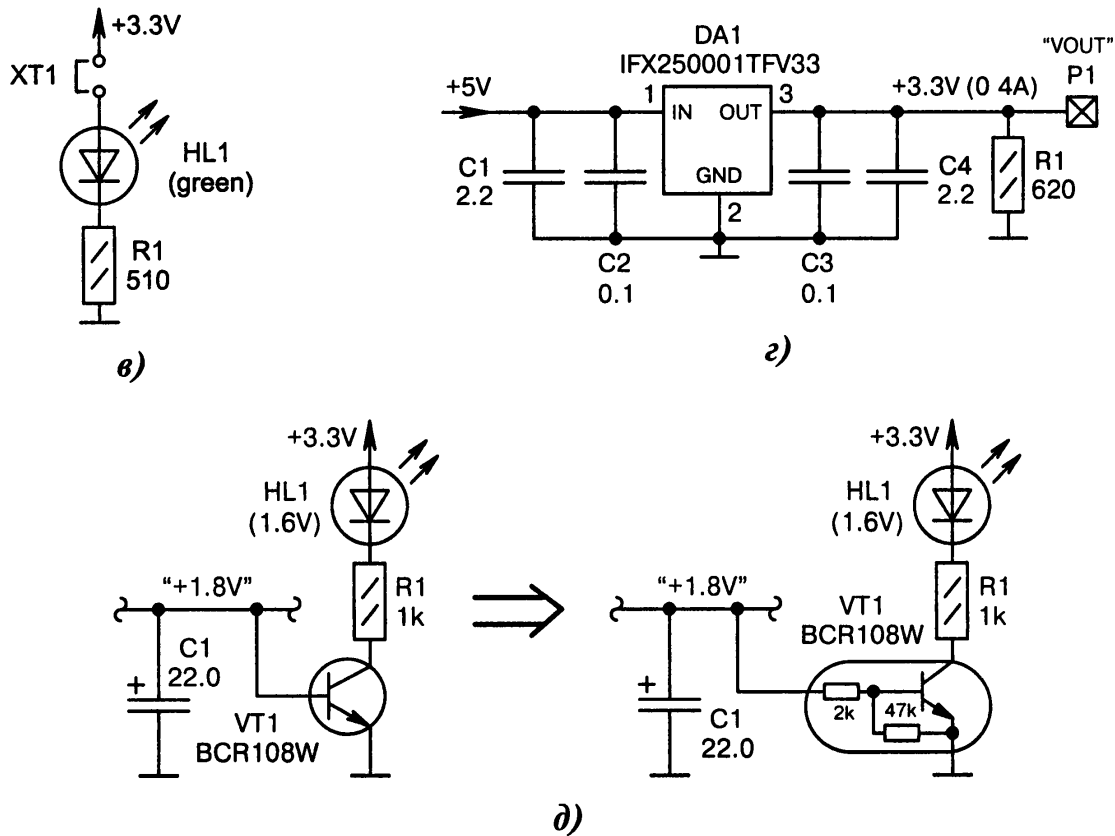


Рис. 11.1. Схемы с нюансами в тракте питания (начало):

а) зачем нужен диод *VD1*? *DA1* — это регулируемый стабилизатор напряжения. Резисторами *R1*, *R2* на его выходе *OUT* выставляется напряжение примерно +3.4 В, которое «гасится» диодом Шоттки *VD1* на 0.1...0.3 В в зависимости от тока нагрузки. Получается, что диод *VD1* ухудшает стабильность. С другой стороны, на контакт *P1* может быть подано внешнее питание +3.3 В, при этом диод *VD1* разделяет цепи и не даёт источникам питания «пересиливать» друг друга;

б) зачем нужен резистор *R1*? «Нулевой» резистор *R2* соединяет вывод 1 стабилизатора *DA1* с общим проводом, в связи с чем на выходе *DA1:2* появляется напряжение +3.3 В. Резистор *R1* якобы лишний. Но он обеспечивает начальную токовую нагрузку 10 мА для *DA1* (требование по даташиту). Кроме того, резисторы *R1*, *R2* пригодятся при ремонте, когда вместо *DA1* запаивается регулируемый стабилизатор APL1086-ADJ, а резисторами выставляется напряжение +3.3 В; ☹



● Рис. 11.1. Схемы с нюансами в тракте питания (окончание):

в) зачем нужна джамперная перемычка *XT1*? Светодиод *HL1* индицирует наличие питания +3.3 В, но при этом потребляются лишние 3 мА. Если удалить джампер *XT1*, то снижается потребление тока, что важно при батарейном питании или переводе МК в режим «глубокого сна»;

г) зачем нужен резистор *R1*? Стабилизатор *DA1* формирует напряжение +3.3 В для питания внешних устройств, подключаемых к контакту *P1*. Без резистора *R1* на контакте *P1* будет напряжение примерно +3 В, что значительно меньше нормы. Это особенность работы микросхемы *DA1*, которая согласно даташиту поддерживает выходное напряжение 3.17...3.44 В только при достаточно больших токах 5...400 мА. Резистор *R1* как раз и служит нагрузкой для выхода стабилизатора *DA1*, в связи с чем повышается выходное напряжение. Минус такого решения — на резисторе *R1* бесполезно рассеивается мощность, но она небольшая и на экономичность устройства практически не влияет. Улучшенный вариант нагрузки: вместо *R1* поставить цепочку, состоящую из резистора 220 Ом и светодиода, который индицирует наличие/отсутствие выходного напряжения. Мощность будет рассеиваться по-прежнему, но теперь уже с пользой;

д) не выйдет ли из строя транзистор *VT1* при подаче на его базу напряжения +1.8 В? На транзисторе *VT1* собран индикаторный узел. Светодиод *HL1* светится при открытом и не светится при закрытом транзисторе *VT1*. Тем самым пользователь видит, имеется или нет питание в цепи +1.8В. Нюанс в том, что, судя по электрической схеме, на базу кремниевого *n-p-n* транзистора *VT1* подаётся слишком большое напряжение 1.8 В. По идее, это должно вывести транзистор из строя или значительно «подсадить» контролируемое светодиодом напряжение. Но ларчик открывается просто. Оказывается, разработчик слишком упрощённо нарисовал УГО транзистора *VT1*. Ведь это не обычный, а «цифровой» транзистор [11-1], ток базы которого ограничивается внутренним резистором 2 кОм. Вывод — узел контроля при указанных на схеме элементах работать будет, но графическое изображение транзистора *VT1* надо изменить, как на схеме справа

11.2. Нюансы в схемах применения ЭРИ

Разработчик волен рисовать электрическую схему по вдохновению души, как художник-авангардист. Однако постороннего человека это может поставить в положение Шерлока Холмса, разгадывающего очередную загадку (Рис. 11.2, а...з).

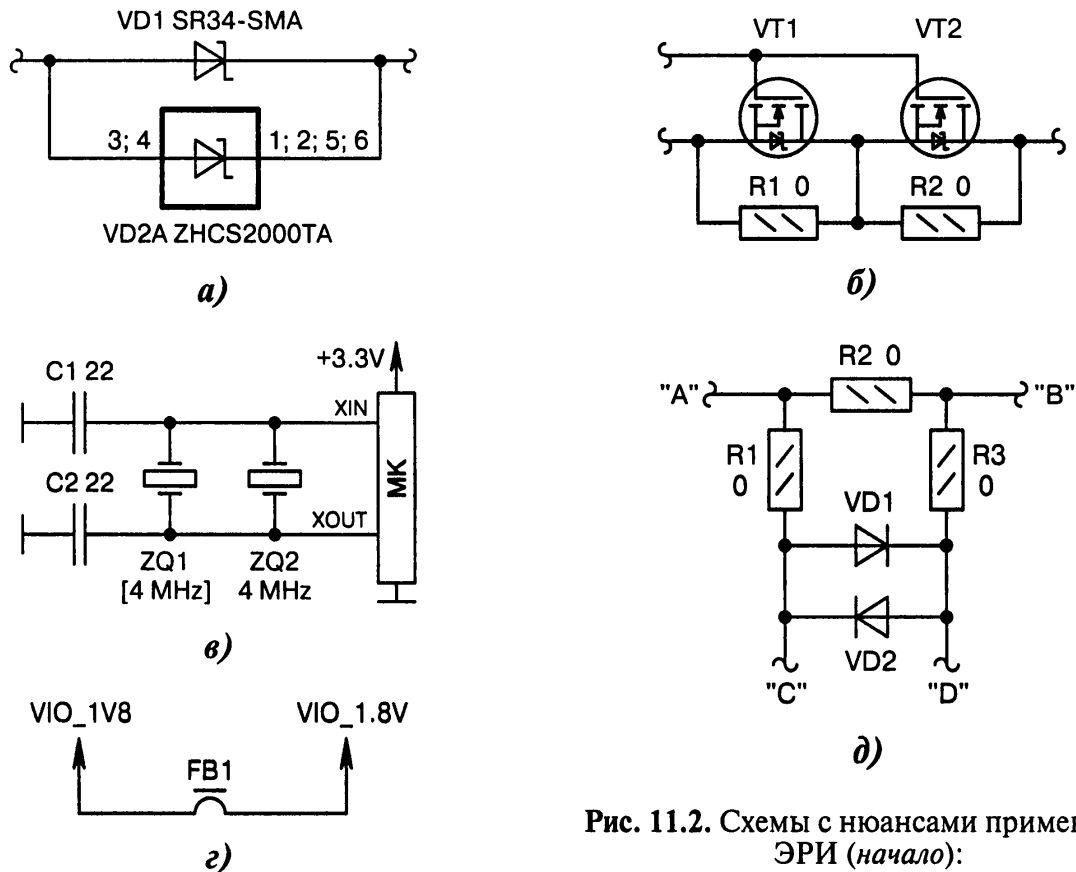


Рис. 11.2. Схемы с нюансами применения ЭРИ (начало):

а) зачем параллельно соединяются диоды? Как известно, параллельное включение диодов не эффективно ввиду разброса их ВАХ. Но внимательный читатель увидит, что нижний диод обозначается *VD2A*, а не *VD2*. Таким нестандартным способом разработчик хотел показать, что в схеме устанавливаются не два диода, а один из них — тот, который имеется в наличии;

б) зачем закорачиваются транзисторы SMD-перемычками? Транзисторы *VT1* и *VT2* нарисованы условно, каждый под своё посадочное место. Реально в схему ставится один из них в паре с соответствующим резистором: *R1* и *VT2*, *R2* и *VT1*. Если установить оба резистора сразу, то можно в диагностических целях симитировать КЗ транзисторов;

в) зачем нужны два кварцевых резонатора *ZQ1*, *ZQ2*? На самом деле ставится один из резонаторов, а именно *ZQ2* (у него надпись «4 MHz» без скобок). Резонатор *ZQ1* имеет другой тип корпуса. Он может устанавливаться взамен *ZQ2* на этапе производства или в процессе ремонта;

г) нет ли КЗ? На первый взгляд, ферритовый фильтр *FB1* замыкает одинаковые цепи. Но если приглядеться, то цепи разные. Отличаются они порядком чередования цифр — «1V8» и «1.8V»;

д) зачем закорачиваются диоды? Если верить схеме, то все четыре цепи «А»...«D» электрически соединяются между собой. Но в тексте даташита написано, что резисторами задаются два режима работы: «Автономно» ($R2 = 0$, $R1$ и $R3$ отсутствуют) и «Совместно» ($R1 = R3 = 0$, $R2$ отсутствует). Теоретически возможен ещё один режим с условным названием «Измерение», когда установлены «нулевые» резисторы $R1$, $R3$ и низкоомный резистор $R2$, падение напряжения на котором пропорционально току в цепи «А–В» (измеряется между точками «С» и «D»); ☹

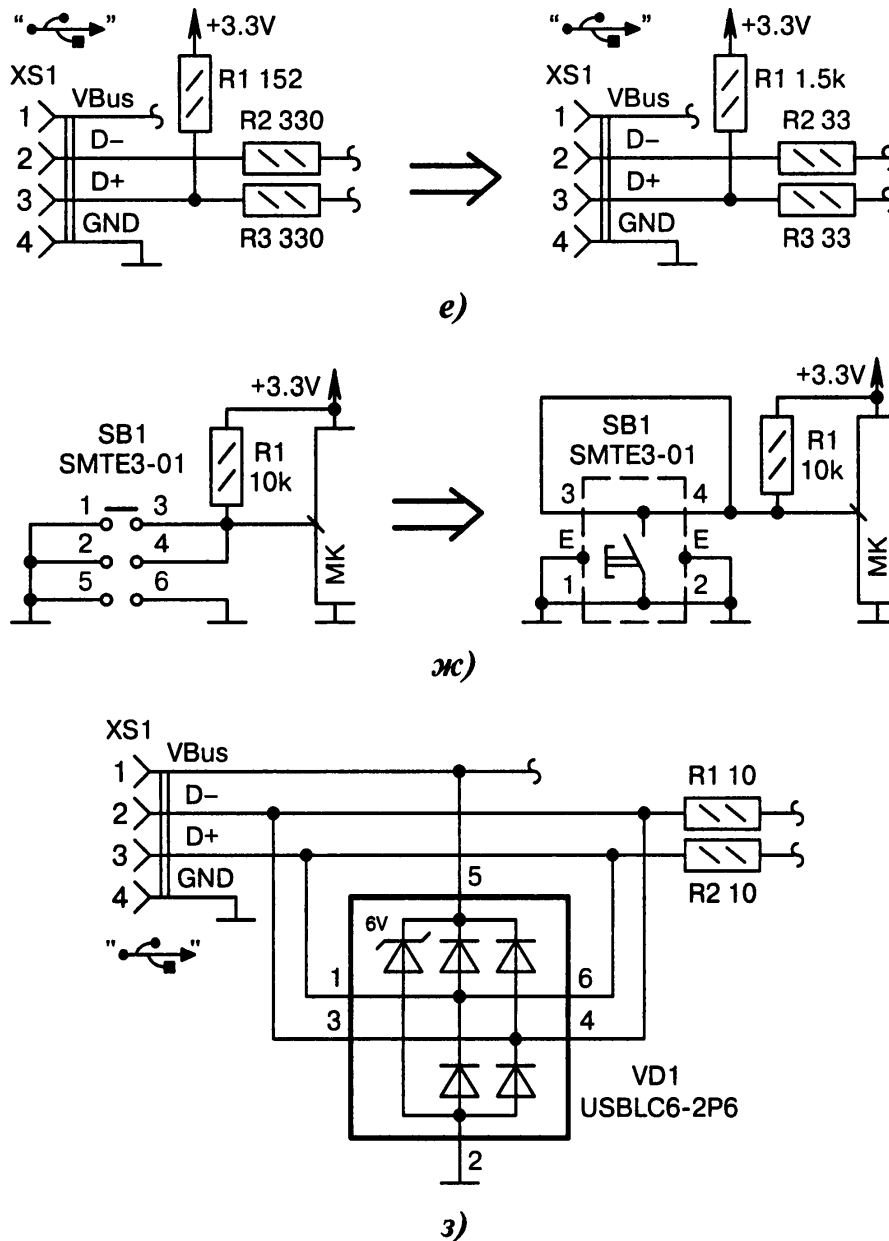


Рис. 11.2. Схемы с нюансами применения ЭРИ (окончание):

е) правильно ли выбраны резисторы $R1...R3$? Если формально, то резистор $R1$ имеет сопротивление 152 Ом, а резисторы $R2, R3$ — по 330 Ом каждый. Однако для безошибочной работы канала USB сопротивление резистора $R1$ слишком низкое, а сопротивления резисторов $R2, R3$ слишком высокие. Разгадка в том, что на схеме указаны не номиналы, а надписи на корпусе SMD-резисторов [11-2]. Расшифровываются они так: первые цифры — это сопротивление в омах, а последняя цифра означает количество нулей, которые надо добавить справа;

ж) как замыкаются контакты кнопки $SB1$? Если обратиться к даташиту на тактовую кнопку $SB1$, то можно увидеть, что разработчик схемы достаточно вольно изобразил порядок соединений. На самом деле контакты $SB1:5$ и $SB1:6$ являются отводами от металлического корпуса кнопки и физически размещаются не третьим рядом выводов, а средними «земляными» контактами с обозначением «E». На схеме справа всё нарисовано понятно и по даташиту;

з) зачем выводы $VD1:1, VD1:6$ и $VD1:3, VD1:4$ закорачиваются на печатной плате? Такой приём позволяет устанавливать/удалять сборку защитных диодов $VD1$, не нарушая работоспособности устройства. Запараллеливание проводников, кроме всего прочего, повышает надёжность

11.3. Нюансы в цепях входа и выхода

На Рис. 11.3, а...к показаны схемы, имеющие нюансы в изображении информационных цепей по входам и выходам МК.

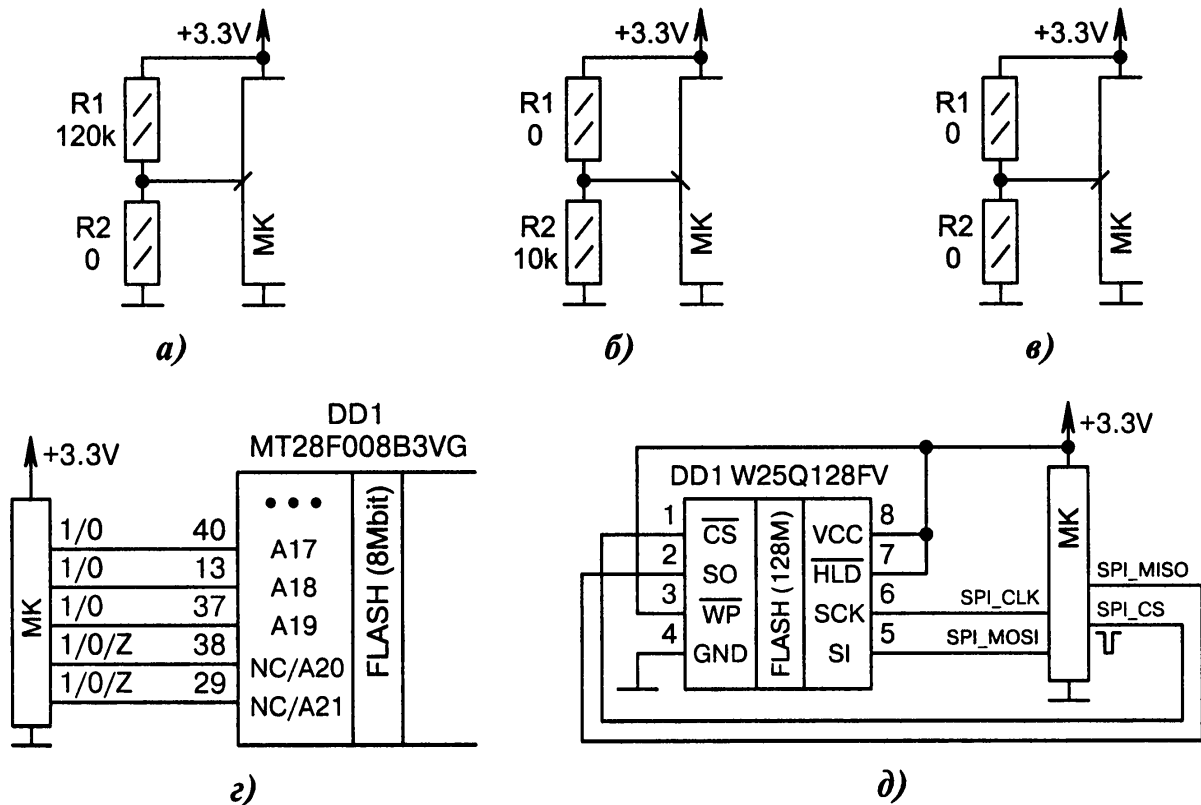


Рис. 11.3. Схемы с нюансами в информационных цепях (начало):

а) зачем нужен резистор $R1$? В исходном состоянии на входе МК НИЗКИЙ уровень, поэтому кажется, что резистор $R1$ лишний, поскольку через него зря протекает ток. Но при эксплуатации может понадобиться установить ВЫСОКИЙ уровень на входе МК, тогда резистор $R2$ выпаивают, а резистор $R1$ остаётся в качестве «pull-up». Получается, что резистор $R2$ в данной схеме выполняет функцию джампера, при этом расход тока через резистор $R1$ незначительный 27 мкА;

б) аналогично Рис. 11.3, а, но с противоположной полярностью сигналов. Альтернативный вариант — удалить резистор $R1$, а резистор $R2$ запаивать на одно из двух посадочных мест;

в) нет ли КЗ по питанию? «Нулевые» резисторы $R1$, $R2$ показаны условно, поскольку они запаиваются не одновременно, а по очереди, в зависимости от требуемого уровня на входе МК;

г) зачем подключаются к МК «пустые» выводы $DD1:38$ и $DD1:29$? Микросхема памяти $DD1$ имеет ёмкость 8 Мбит, поэтому для её работы требуются 20 адресных линий $A0...A19$. Кажется, что адресные линии $A20$ и $A21$ лишние. С другой стороны, на посадочное место $DD1$ могут устанавливаться микросхемы памяти объёмом 16 или 32 Мбит, имеющие точно такую же цоколёвку выводов. Вот для них как раз и пригодятся линии $A20$ и $A21$, связанные с МК. Для микросхем с меньшим объёмом памяти две нижние по схеме линии МК лучше перевести в высокоимпедансное Z-состояние. В качестве альтернативы можно выставлять на них тестовые сигналы;

д) можно ли выводы $DD1:3$ и $DD1:7$ «наглухо» подключать к питанию +3.3 В? Если МК работает в режиме обычного интерфейса SPI, то можно. Но при случайной ошибке в программе МК может перенастроить микросхему $DD1$ в режим Quad SPI, где выходы \overline{WP} и \overline{HLD} становятся двунаправленными. Если на них появятся НИЗКИЕ выходные уровни, то будет КЗ; ☹

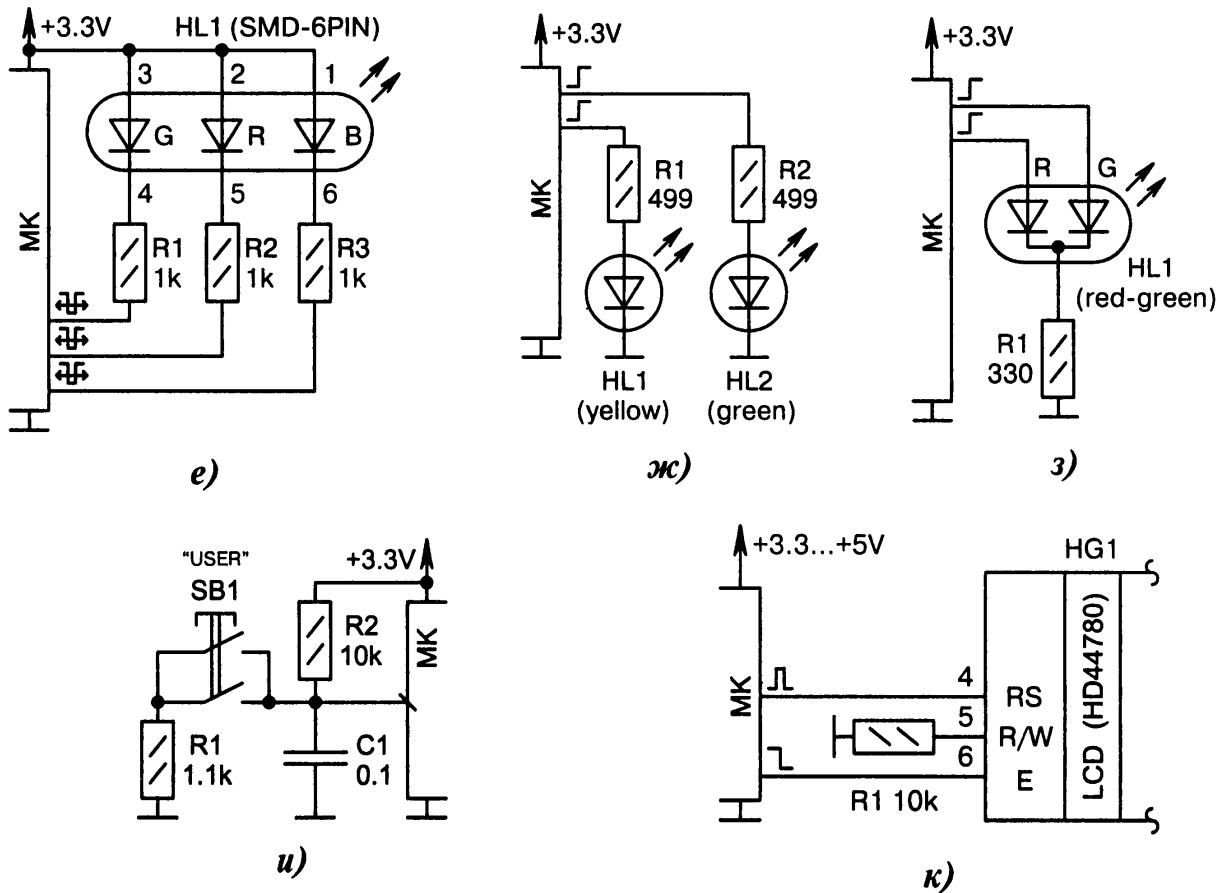


Рис. 11.3. Схемы с нюансами в информационных цепях (окончание):

е) почему резисторы $R1...R3$ имеют одинаковое сопротивление? Это допускается, несмотря на разное падение напряжения на каждом излучателе R, G, B светодиода $HL1$. Яркость будет немного разной, но при смешивании цветов это можно компенсировать программным способом, сделав подбор скважностей ШИМ-сигналов с трёх выходов МК;

ж) почему применяются резисторы $R1, R2$ повышенной точности? Резисторы $R1, R2$ определяют яркость свечения жёлтого ($HL1$) и зелёного ($HL2$) светодиодов. Расчёт их сопротивлений производится весьма приблизительно из-за большого допуска на ВАХ светодиодов. Резисторы имеют повышенную точность не из-за технической необходимости, а из-за того, что такой номинал применяется в других частях схемы. Унификация позволяет удешевить продукцию, поскольку цена большой партии ЭРИ ниже, чем единичные поставки. Возможная замена 510 Ом;

з) будет ли индикатор $HL1$ светиться жёлтым цветом? При противофазных уровнях на выходах МК индикатор $HL1$ светится или красным (1.6 В), или зелёным (1.8 В) цветом. Тот, кто рассчитывает получить смешанный жёлтый цвет при выставлении на обоих выходах МК ВЫСОКИХ уровней, будет разочарован. Ввиду того, что имеется общий нагрузочный резистор $R1$, преобладать будет красный цвет из-за меньшего падения напряжения (1.6 В);

и) зачем нужен резистор $R1$, если вместо него обычно ставят перемычку? Выгода в следующем. Резистор $R1$ ограничивает ток разряда конденсатора $C1$ при нажатии кнопки $SB1$ (уменьшаются ВЧ-помехи, снижается ток через кнопку). Кроме того, если линия МК случайно станет выходом с ВЫСОКИМ уровнем, то нажатие на кнопку $SB1$ не приведёт к КЗ на общий провод;

к) зачем нужен резистор $R1$? Сейчас резистор $R1$ обеспечивает НИЗКИЙ уровень на входе R/W , следовательно, индикатор $HG1$ функционирует в режиме записи [11-3]. Но если подать на резистор сигнал с линии МК, то можно программно перейти в режим чтения (режим с обратной связью). При «наглухо» закороченном входе R/W такой переход осуществить было бы нельзя

Список использованных источников и литературы к главе 11

- 11-1. FAQ's. What is a digital transistor? [Электронный ресурс] / ROHM, 2017. — Режим доступа: http://www.rohm.com/web/in/faq_search/-/faq_search/FaqId/234 (англ.). — 14.04.2017.
- 11-2. Маркировка резисторов SMD (для поверхностного монтажа) [Электронный ресурс] / «Радиант-Элком», 2017. — Режим доступа: <http://www.radiant.su/rus/articles/?action=show&id=334>. — 14.04.2017.
- 11-3. Управление HD44780 дисплеем [Электронный ресурс] / «GrAnd», 2011. — Режим доступа: <https://shilov.pp.ua/mirrors/makesystem.net/index.html%3Fp=9.html>. — 14.04.2017.

СХЕМЫ, КОТОРЫЕ МОЖНО УЛУЧШИТЬ

*Подвергай всё сомнению.
(Рене Декарт)*

12.1. Неточности в схемах

Ошибки и заблуждения. В словарях русского языка эти два понятия рассматриваются как синонимы. Однако по выполняемым функциям они не равноценны. Если заблуждение характеризует действие или процесс, то ошибка определяет конкретный результат. Заблуждение — это необходимое условие наступления ошибки, а ошибка — это следствие заблуждения [12-1].

Могут ли заблуждаться разработчики отладочных плат? Могут и заблуждаются. Причины разные, анализировать их сложно ввиду недостатка информации. Положительным моментом является то, что неточности в схемах, как правило, не носят фатального характера, поскольку устройство на практике всё-таки работает. Просто в одних случаях можно было бы сэкономить на радиодеталях, в других — повысить надёжность, в третьих — улучшить характеристики и т. д.

Заблуждения и ошибки надо отличать от опечаток. Разработчик машинально может провести на схеме лишнюю линию, ошибиться в номинале резистора, механически скопировать часть схемы, но при этом забыть внести в неё нужные изменения. В даташитах на отладочные платы для таких случаев в конце документа предусматривается лист регистрации изменений, где перечисляются все сделанные в разное время коррекции. Как следствие электрические схемы одних и тех же плат, но с разной датой, могут отличаться друг от друга, и это нормально.

Примеры характерных неточностей в схемах.

- Пропущен символ в наименовании ЭРИ. Имеется транзистор NTS2101, но на схеме он указан как NTS210. Вероятная причина — невнимательность.
- Неверно нарисован радиоэлемент. Имеется фототранзистор ТЕМТ6000 в двухполюсном включении «коллектор–эмиттер», но на схеме он нарисован как фотодиод. Вероятная причина — отсутствие в библиотеке элементов графического редактора УГО фототранзистора.
- Неправильно указан допуск ЭРИ. Имеется «нулевой» SMD-резистор, но на схеме он указан с допуском $0 \pm 5\%$. Дело в том, что проценты от нуля ом вычислять бессмысленно, тем более в «минус», получая отрицательное сопротивление! Должно быть написано «0» или «0...50 мОм», где величина 50 мОм взята из даташита на резисторы фирмы UNIOHM. Вероятная причина — машинная опечатка, по аналогии с другими резисторами схемы, которые действительно имеют допуск $\pm 5\%$.

12.2. Улучшения в тракте питания

На Рис. 12.1, а...д показаны схемы, применяемые в трактах питания, которые на практике работают, но их параметры можно улучшить.

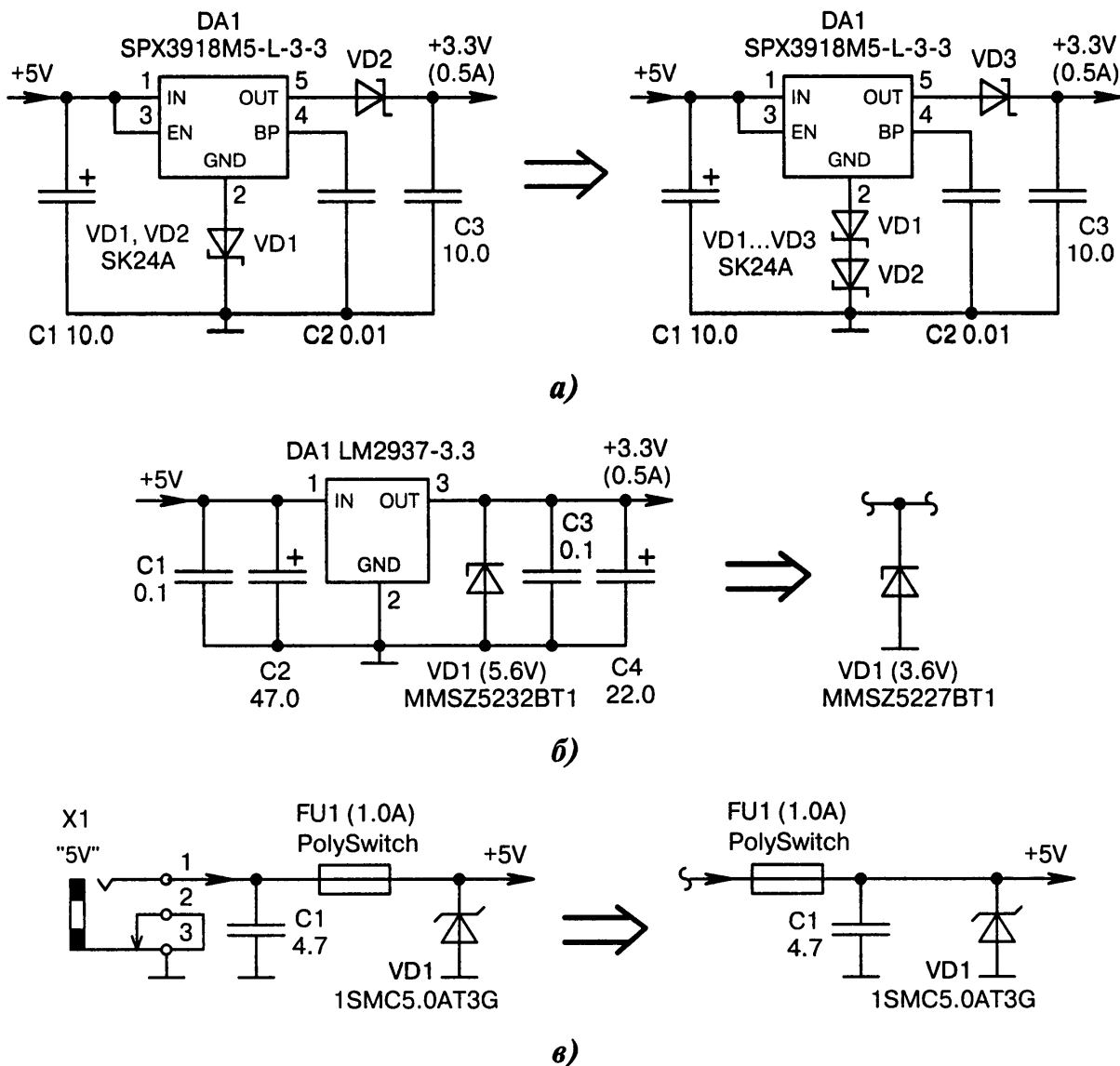


Рис. 12.1. Схемы канала питания, которые можно улучшить (начало):

а) диод $VD1$ увеличивает, а диод $VD2$ уменьшает выходное напряжение $+3.3$ В. Такое схемное решение применяется, чтобы защитить стабилизатор $DA1$ от «втекания» внешнего тока. Однако на диодах падает разное напряжение, поскольку токи через них будут разные, а именно 0.1 В на диоде $VD1$ при собственном токе стабилизатора 8 мкА и 0.2 В на диоде $VD2$ при токе нагрузки 100 мА. Чтобы уравнивать напряжения на диодах, надо добавить ещё один диод, как показано на рисунке справа, при этом выходное напряжение будет максимально близким к $+3.3$ В;

б) стабилитрон $VD1$ (мощность 0.5 Вт) имеет слишком большое напряжение стабилизации, поэтому он не защищает тракт питания при пробое между выводами $DA1:1$ и $DA1:3$. Для защиты следовало бы применить стабилитрон $VD1$, имеющий более низкое напряжение 3.6 В;

в) предохранитель $FU1$, по идее, должен срабатывать при любой неисправности в устройстве. Однако в данной схеме он «не заметит», например, пробоя конденсатора $C1$. Лучше поставить предохранитель $FU1$ первым элементом после разъёма $X1$ (схема на рисунке справа); ☹

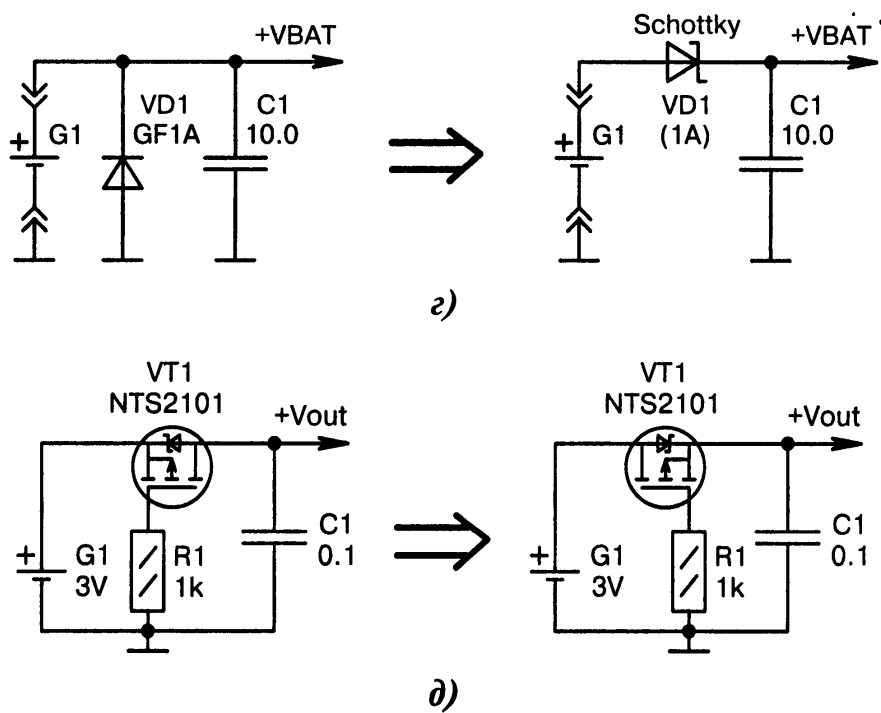


Рис. 12.1. Схемы канала питания, которые можно улучшить (окончание):

г) если диод *VD1* предназначен для защиты от переплюсовки батареи *G1*, то это сомнительное решение, поскольку батарея, в отличие от сетевого блока питания, не имеет защиты от КЗ. Диод *VD1* рассчитан на ток 1 А и при свежезаряженной батарее может перегореть. С другой стороны, при «слабой» батарее диод *VD1* останется целым, но он быстро её «подсадит»;

д) назначение транзистора *VT1* — защита от переплюсовки питания. Но в схеме слева при обратной полярности батареи *G1* ток всё равно будет протекать через внутренний диод транзистора *VT1*. Следовательно, надо у транзистора поменять местами выводы истока и стока

12.3. Улучшения в канале USB

В канале USB разработчики, как правило, придерживаются стандартов, но не всегда это получается сделать корректно (Рис. 12.2, а...г).

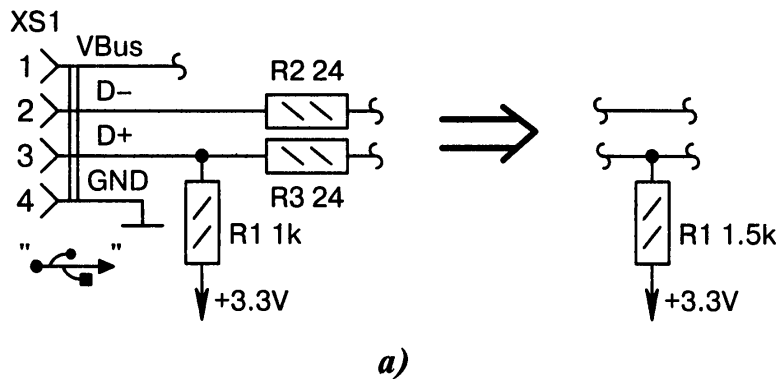


Рис. 12.2. Схемы канала USB, которые можно улучшить (начало):

а) резистор *R1* определяет режим LS. Его сопротивление при питании от +3.3 В должно составлять 1.5 кОм. Значительное отклонение от номинала может привести к сбою; ⚠

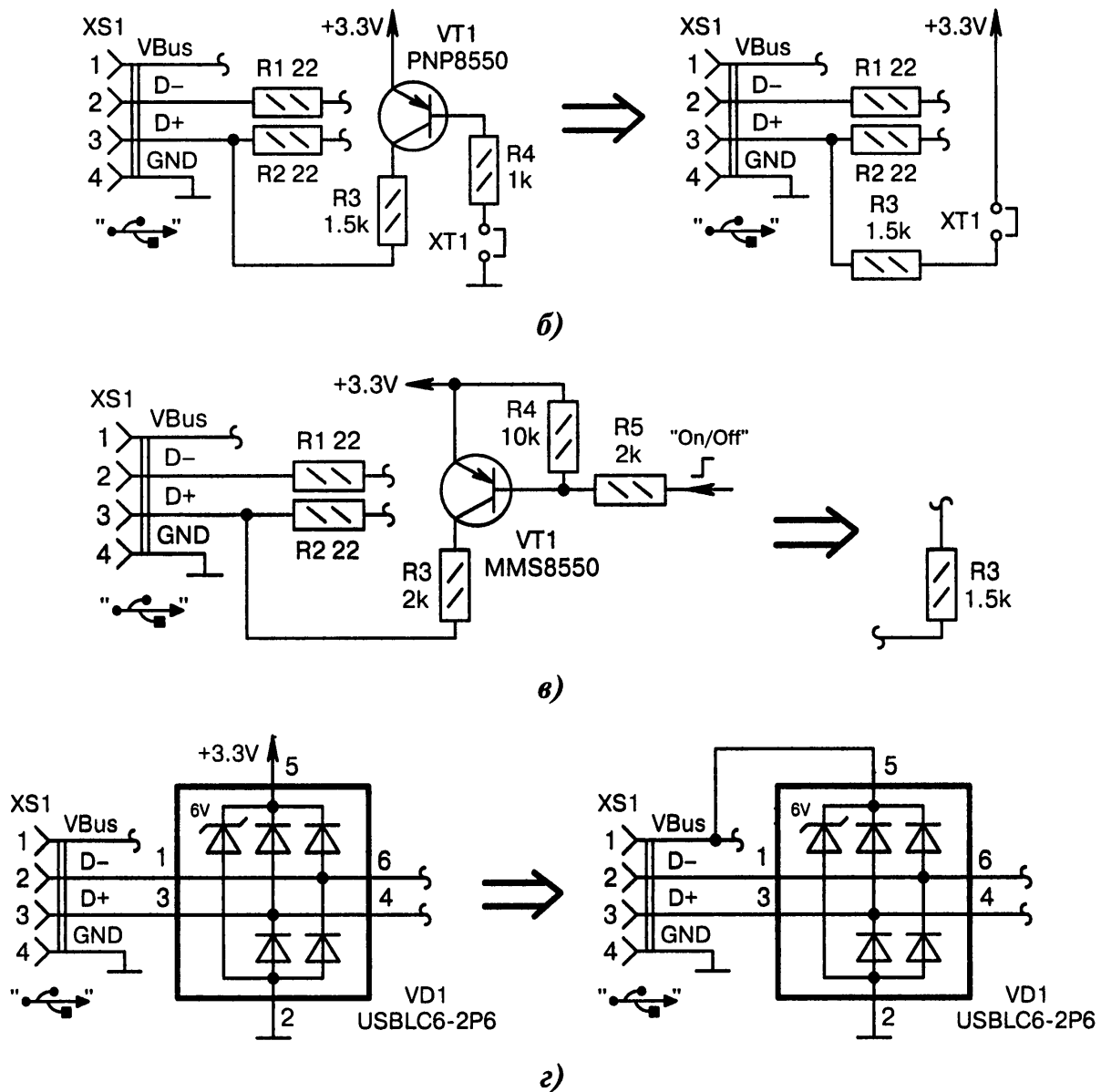


Рис. 12.2. Схемы канала USB, которые можно улучшить (окончание):

б) элементы $VT1$, $R4$ в данной схеме лишние. Дампер $XT1$ с таким же успехом можно включить между верхним выводом резистора $R3$ и цепью $+3.3V$ (рисунок справа). Судя по устаревшему типу транзистора $VT1$, узел был заимствован из какой-то другой схемы управления. Более того, заимствован был не в полном, а в усечённом виде, поскольку при удалении джампера $XT1$ база транзистора $VT1$ получается «висящей в воздухе», что снижает помехоустойчивость. Это означает, что в исходной схеме к базе транзистора подключались дополнительные элементы, которые были в спешке удалены;

в) резистор $R3$ по стандарту должен иметь сопротивление 1.5 кОм при подключении его к источнику напряжения $+3.3V$ [12-2]. Номинал 2 кОм выходит за пределы стандарта. Однако на практике такие сопротивления применяют, правда, при повышенном питании $+5V$. Более простое решение — изменить сопротивление резистора $R3$, как показано на рисунке справа;

г) подключение вывода 5 сборки диодов $VD1$ к цепи питания $+3.3V$ (а не к $VBus$) делает практически бесполезным сапрессор, ограничивающий всплески напряжения на уровне $+6V$. Логичнее подключить вывод $VD1:5$ стандартным образом, как показано на рисунке справа

12.4. Улучшения в цепях ввода/вывода сигналов

На Рис. 12.3, а...и показаны схемы, применяемые в отладочных платах во входных и выходных цепях портов МК.

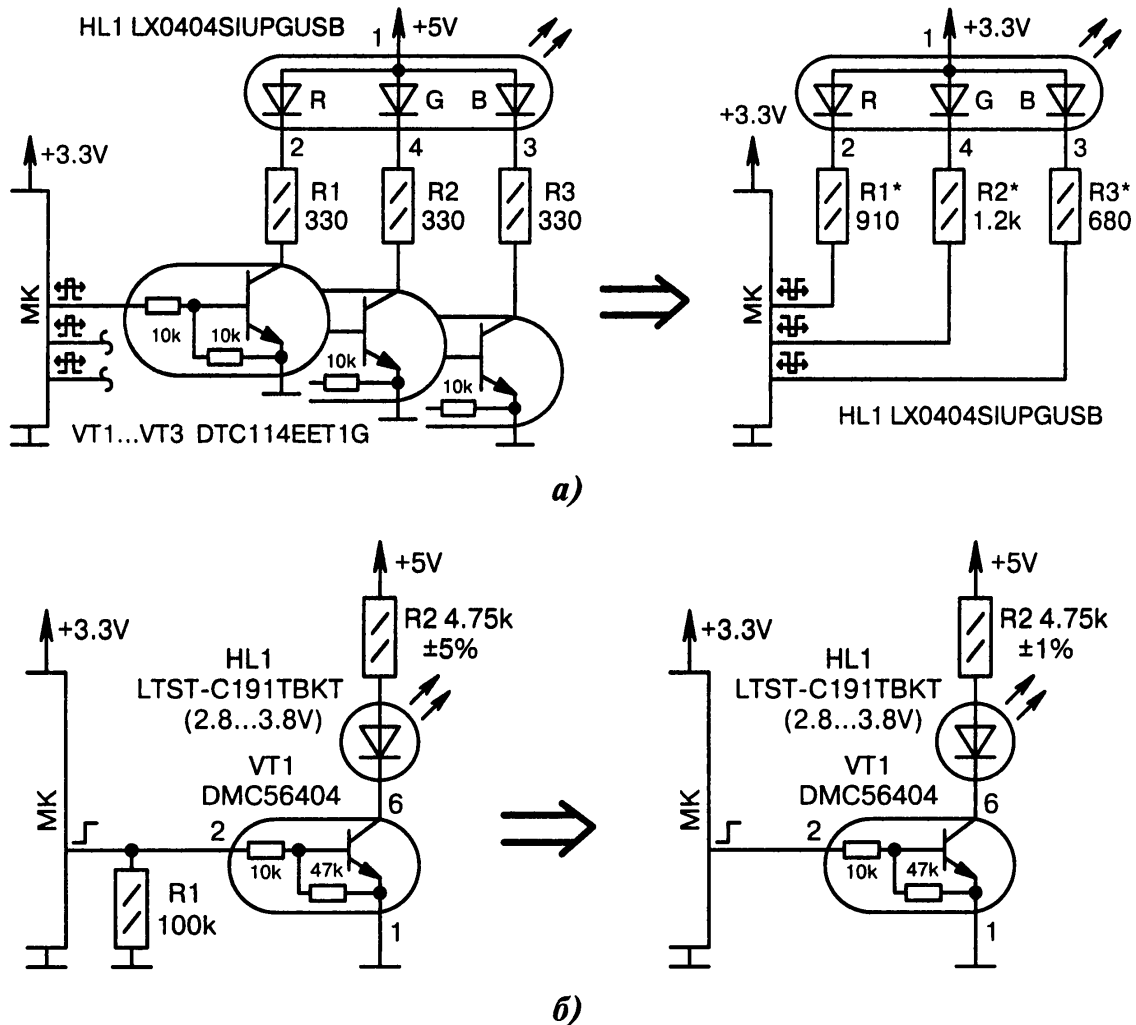


Рис. 12.3. Схемы ввода/вывода, которые можно улучшить (начало):

а) трёхцветный светодиод *HL1* подключается к МК через буферные «цифровые» транзисторы *VT1...VT3*. Подключать без транзисторов не рекомендуется, поскольку порты МК (в оригинале это ТМ4С123G) имеют низкие токи нагрузки 2...8 мА. Однако на форумах отмечают, что яркость свечения *HL1* в отладочной плате слишком высокая. В связи с этим возникает идея упростить схему, уменьшив питание до +3.3 В, удалив транзисторы и поставив другие резисторы *R1...R3* (рисунок справа). Сопротивления резисторов *R1...R3* специально сделаны разными и увеличены в несколько раз, чтобы снизить яркость и войти в допуск по току нагрузки портов МК;

б) назначение резистора *R1* — закрывать транзистор *VT1*, чтобы через него не включался светодиод *HL1* при сбросе МК. Однако внутри «цифрового» транзистора *VT1* имеются два резистора сопротивлением 10 кОм и 47 кОм, включённые параллельно *R1*. Следовательно, резистор *R1* в данной схеме лишний. Следующий момент — высокое сопротивление резистора *R2*, что приводит к низкой яркости светодиода *HL1*. Однако разработчик преднамеренно увеличил это сопротивление и сделал запись в даташите на листе коррекции. Наверное, это следствие практической эксплуатации отладочной платы. Единственная ошибка заключается в допуске $\pm 5\%$. Значение «4.75 кОм» относится к ряду E96 [12-3], поэтому допуск резистора *R2* должен быть $\pm 1\%$; ☹

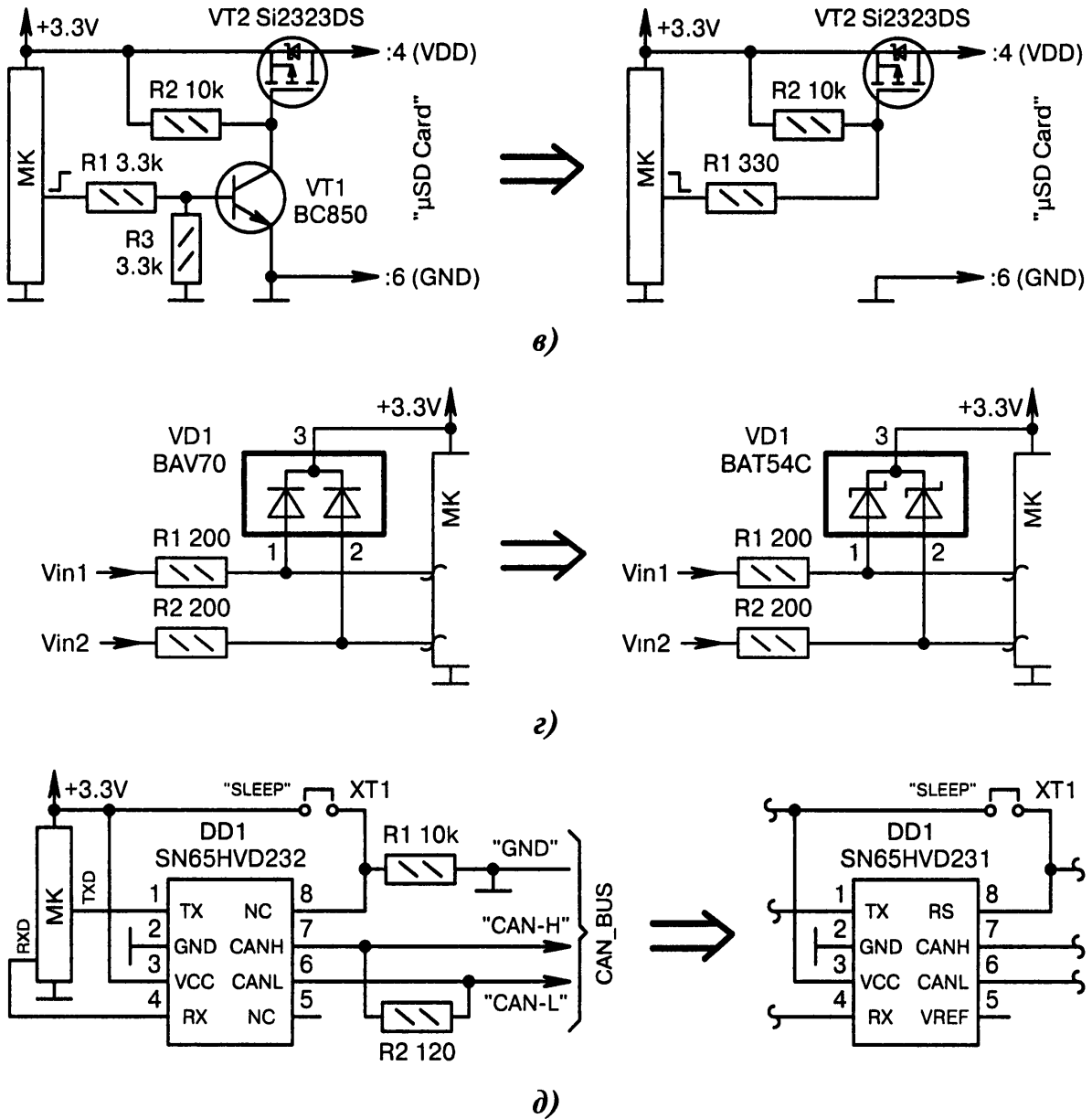
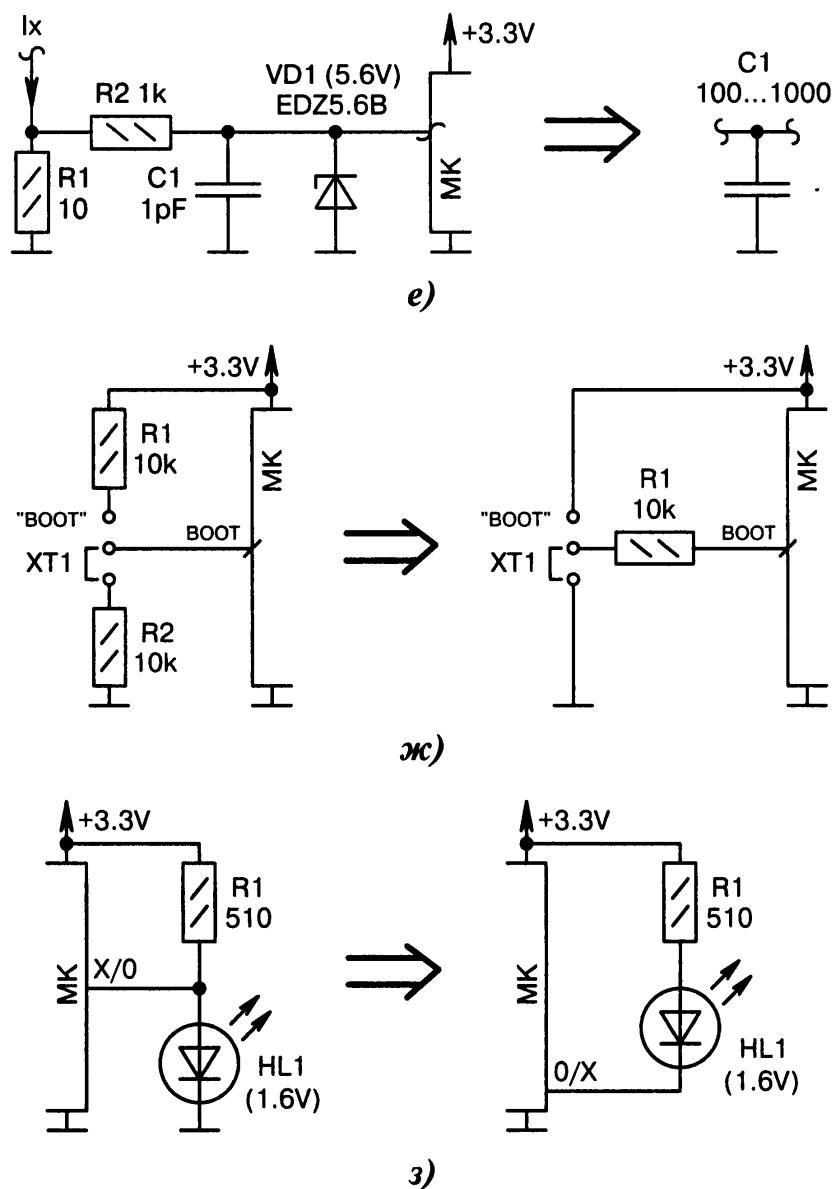


Рис. 12.3. Схемы ввода/вывода, которые можно улучшить (продолжение):

в) узел парковки питания карты памяти microSD содержит избыточное число деталей. Полевой транзистор *VT2* имеет низкий порог срабатывания, поэтому он может управляться прямо от линии МК. Если удалить элементы *VT1*, *R3*, то сигналы управления МК надо инвертировать;

г) *VD1* — это сборка SMD-диодов для защиты входов МК от высокого положительного напряжения. Однако на кремниевых диодах падает напряжение 0.7 В, что выше, чем допускается для входов МК. Например, в даташитах на PIC-контроллеры регламентируются всплески напряжения на линиях портов не более 0.3 В. На рисунке справа эта проблема решается установкой диодов Шоттки *VD1*. Единственное, что они имеют более высокую ёмкость, чем кремниевые диоды (10 пФ по сравнению с 1.5 пФ), что надо учитывать при приёме ВЧ-сигналов;

д) выводы драйвера CAN *DD1:5* и *DD1:8* обозначены как «NC» (No Connect), т. е. они ни с чем внутри микросхемы не соединяются. Следовательно, замыкание джампера *XT1* не приведёт к переходу драйвера CAN в спящий режим *SLEEP*. Возможное объяснение — на посадочное место микросхемы *DD1* могут быть один к одному установлены аналогичные драйверы SN65HVD230 или SN65HVD231. У них вывод 8 задействован: в первом случае — для приостановки работы драйвера CAN с током 370 мкА, во втором случае — для «глубокого сна» с током 40 мкА; ☹

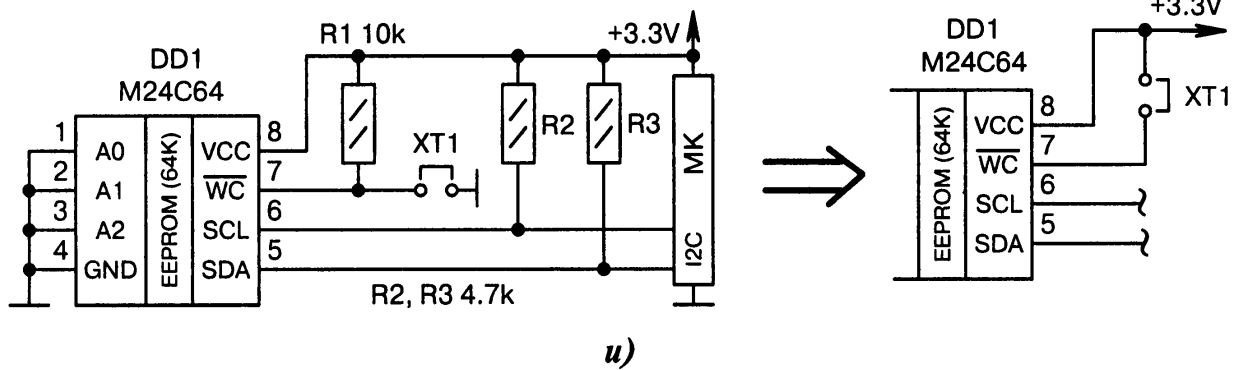


⊖ Рис. 12.3. Схемы ввода/вывода, которые можно улучшить (продолжение):

е) на резисторе $R1$ выделяется напряжение, пропорциональное току I_x . На вход АЦП МК это напряжение поступает через фильтр $R2, C1$. Стабилитрон $VD1$ защищает МК от «больших» импульсов. Однако ёмкость конденсатора $C1$ (если это не опечатка) выбрана неудачно, поскольку она гораздо меньше ёмкости монтажа и обратной ёмкости стабилитрона $VD1$ (десятки пикофарад). Следовательно, конденсатор $C1$ можно совсем исключить из схемы или увеличить его номинал, как показано на рисунке справа, сообразуясь с требуемой полосой пропускания ФНЧ;

ж) вывод $BOOT$ используется при программировании МК семейства STM32 через бутлоадер [12-4]. В данной схеме один из резисторов $R1, R2$ можно удалить, а второй поставить последовательно с входом $BOOT$, как показано на рисунке справа;

з) МК включает/выключает светодиод $HL1$ через выход с открытым стоком. Если линия порта находится в высокоимпедансном состоянии, то через светодиод $HL1$ протекает ток примерно 5 мА. Если на линии выставляется НИЗКИЙ уровень, то светодиод гаснет, но ток 5 мА всё равно потребляется через открытый транзистор внутри МК. Чтобы повысить экономичность устройства, надо изменить схему включения светодиода, как показано на рисунке справа, при этом полярность сигнала на выходе МК следует инвертировать; ⊖



➊ Рис. 12.3. Схемы ввода/вывода, которые можно улучшить
(окончание):

и) если джампер $XT1$ замыкает контакты, то на входе \overline{WC} (Write Control) микросхемы памяти EEPROM $DD1$ формируется НИЗКИЙ уровень, и она может работать как на запись, так и на чтение. Если джампер отсутствует, то запись данных в микросхему $DD1$ блокируется. В случае, когда джампер в процессе работы отладочной платы бывает по времени чаще замкнут, чем разомкнут, через резистор $R1$ протекает «лишний» ток. Чтобы повысить экономичность устройства и уменьшить количество ЭРИ, надо изменить схему, как показано на рисунке справа. Здесь учитывается тот факт, что согласно даташиту на микросхему M24C64 режим записи разрешается не только при закорачивании входа \overline{WC} на общий провод, но и при оставлении его «висящим в воздухе». Резистор последовательно с джампером ставить не обязательно, поскольку в даташите указано, что напряжение на входе \overline{WC} может превышать питание на 0.6 В, т. е. замыкание его напрямую с цепью VCC микросхемы $DD1$ вполне законно

Список использованных источников и литературы к главе 12

- 12-1. Заботин, П. Преодоление заблуждения в научном познании / П. С. Заботин. — М. : Мысль, 1979. — 191 с.
- 12-2. USB 2.0 Specification [Электронный ресурс] / «usb.org», 2017. — Режим доступа: http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_033017.zip (англ.). — 14.04.2017.
- 12-3. Стандартные ряды номинальных значений сопротивлений [Электронный ресурс] / «СМД Комп», 2005. — Режим доступа: <http://www.smd-component.ru/pdf/iec.pdf>. — 14.04.2017.
- 12-4. Программирование ARM-контроллеров STM32 на ядре Cortex-M3 [Электронный ресурс] / «radioham.ru», 2017. — Режим доступа: http://radioham.ru/teory/stm32_5.htm. — 14.04.2017.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

*Механик — это человек,
думающий при помощи гаечного ключа.
(Леонард Луис Левинсон)*

13.1. Принципы конструирования РЭА

Конструирование РЭА — это процесс, заключающийся в физическом воплощении принятых схмотехнических решений.

Электронщик составляет принципиальную схему и перечень элементов, а конструктор-механик размещает радиодетали на печатной плате и проводит между ними нужные электрические связи. Однако на многих фирмах электронщик является по совместительству ещё и конструктором. Кому, как не ему, лучше всего знать тонкости взаимовлияния между ЭРИ, а также специфические требования к тепловой обстановке и электромагнитной совместимости? А если учесть, что разводка печатной платы проводится на компьютере, то освоить одну из систем САПР не представляет большой сложности.

Принцип обратной совместимости здесь не действует. Очень редко, когда механик может толково разработать электрическую схему. Кесарю — кесарево.

При конструировании РЭА решаются следующие задачи:

- расчёт механической прочности;
- обеспечение тепловых режимов ЭРИ;
- рациональный монтаж элементов и соединительных проводников;
- экранирование и помехозащищённость;
- удобство в эксплуатации, безопасность, эргономика.

Применительно к теме отладочных плат — все перечисленные проблемы должны решаться разработчиком на этапе проектирования. Тщательная проработка механики облегчает жизнь электронщику и сокращает время отладки изделия.

Уникальность ситуации в том, что человек, имея доступ к свободным источникам информации в Интернете, может сравнивать между собой конструктивные решения разных фирм-изготовителей. Для отладочных плат такое сравнение, анализ и систематизация проводятся впервые.

Излагаемый в настоящей книге материал не ставит перед собой цели ликбеза по основам конструирования РЭА. Для этого существует популярная литература, в том числе и для начинающих [13-1]...[13-4]. Главная задача заключается в том, чтобы выявить закономерности и типовые конструкторские приёмы, которые в дальнейшем можно применять при разработке собственной аппаратуры.

13.2. «Золотое сечение»

Человек зрительно различает окружающие предметы по форме внешнего вида. Интерес к форме может быть продиктован практической необходимостью, а может быть вызван красотой и гармонией. В последнем случае мы отмечаем глубокое удовлетворение от созерцания объекта. Часто происходит это на подсознательном уровне, когда предмет, сооружение или вещь волшебным образом «притягивает взор» и от него нельзя «оторвать взгляд».

В основе гармонии лежат геометрические правила. Целое всегда состоит из частей, а части находятся в определённой пропорции друг к другу. Со времён Леонардо да Винчи считается, что идеальной пропорцией обладает так называемое «золотое сечение».

Наиболее ёмкая формулировка «золотого сечения» гласит, что меньшая часть чего-либо должна относиться к большей части, как большая часть ко всему целому. Точная пропорция «золотого сечения» от большего к меньшему составляет 1.6180339887 (число Φ), а округлённое отношение – 62% на 38% или, более точно, 612:382. Данная пропорция является универсальной и действует во всех формах пространства: на линии, в плоскости, в объёме.

Древние видели в «золотом сечении» отражение космического порядка. Античные скульпторы учитывали его в пропорциях человеческого тела. Ботаники и зоологи обнаружили схожие закономерности в живой природе. Иоганн Кеплер называл «золотое сечение» одним из сокровищ геометрии, а современная наука рассматривает как «асимметричную симметрию».

С развитием дизайна и технической эстетики действие закона «золотого сечения» распространилось на архитектуру, эргономику, конструирование машин и механизмов. В электронике под действие правил гармонии попадают габаритные размеры изделий, а также пропорции размещения органов управления.

Возвращаясь к теме отладочных плат для МК, можно сделать предположение, что красивый внешний вид у них должен получиться при отношении широкой стороны к узкой 62:38.

Но жизнь вносит свои коррективы. Единообразие в габаритных размерах и пропорциях отсутствует даже в продукции одного и того же изготовителя. Тем не менее на интуитивном уровне у разработчиков РЭА отношение «золотого сечения» служит весомым ориентиром.

К примеру, встречаются следующие размеры отладочных плат семейства ХМС1100...ХМС4700 фирмы Infineon [мм]: 85.73×53.98; 98.3×66.0; 98.52×50.8; 85.4×53.65. Если разделить длину на ширину, то соотношение сторон получается 1.5888...1.939, что достаточно близко к «золотому сечению».

Гармоничные размеры могут встречаться не только в габаритах, но и внутри печатной платы. Это касается расстояния между посадочными отверстиями, между логически выделенными блоками ЭРИ, между фигурными выемками на плате.

Близким к теме «золотого сечения» является так называемый «метод диагоналей», применяемый в живописи и фотографии [13-5]. Оказывается, что человек воспринимает важные детали не по всему холсту, а по диагоналям его внутренних квадратов. Если представить печатную плату как холст, то, размещая ЭРИ в определённых точках, можно добиться гармонии художественного восприятия.

13.3. Характеристики печатных плат

По конструктивному исполнению различают одно-, двух- и многослойные печатные платы (ПП). Стоимость и сложность их изготовления увеличиваются в перечисленном порядке. В отладочных платах применяются все три типа ПП.

Материал диэлектрика — стеклотекстолит FR4, который имеет стабильную диэлектрическую проницаемость 4.7...4.35 в диапазоне частот 0.001...16 МГц. При монтаже ЭРИ с бессвинцовой технологией лучшие результаты даёт использование высокотемпературного диэлектрика FR4 High Tg или FR5. То же самое относится к многослойным ПП и отладочным платам, рассчитанным на широкий температурный диапазон.

Отношение толщины печатной платы к допустимому диаметру переходного металлизированного отверстия (Aspect ratio) служит показателем прогрессивности технологии изготовителя. Типовым отношением для многих заводов, изготавливающих ПП, является 5:1...8:1. Это означает, что при толщине платы 1.0 мм можно сделать минимальное сквозное отверстие 0.2 мм (5:1).

На более совершенном технологическом оборудовании изготавливают ПП с пропорциями 10:1...20:1. Толщина печатной платы колеблется от 0.1...3.0 мм (одно- и двухслойные платы) до 1.0...3.0 (многослойные платы). Реальный диаметр сквозного отверстия для обычного и «глухого» сверлений составляет примерно 0.1 мм. Толщина медной фольги 18...75 мкм.

В отладочных платах низшего ценового диапазона применяются односторонний монтаж элементов и однослойные ПП. Средние по насыщенности отладочные платы выполняются на двухслойных ПП с одно- и двухсторонним расположением ЭРИ. По количеству их больше всего. Сложные многофункциональные отладочные платы, которые содержат микросхемы в BGA-корпусе, изготавливаются на многослойных ПП. Количество слоёв — от четырёх и выше.

Обязательным элементом современных плат является паяльная (защитная) маска. Она защищает стеклотекстолит от воздействия высоких температур при термической обработке согласно техпроцессу.

Цвет паяльной маски оговаривается при заказе на заводе-изготовителе. Маска может быть любого цвета радуги, но, как правило, выбирается один из оттенков зелёного. Он легче воспринимается зрением и обеспечивает хорошую контрастность. Реже встречаются маски белого, красного, синего и чёрного цветов. Считается, что белая маска отдаёт «желтизной» и утомляет глаза. Красная маска не гарантирует долговременную стабильность оттенка, а синяя и чёрная затрудняют визуальный просмотр дорожек ПП на правильность соединения.

Учитывая, что отладочные платы рассчитаны на массового потребителя и служат элементом рекламы, цветовая гамма их паяльных масок выбирается яркой, издали привлекающей внимание. Теперь понятно, почему так широко применяются маски насыщенного красного, синего и оранжевого цветов.

Температурный диапазон отладочных плат бытового назначения составляет +10...+40°C, но для плат, претендующих на применение в промышленности, он может достигать -40...+85°C. Соответственно, применяемые ЭРИ в первом случае будут иметь коммерческий 0...+85°C, а во втором — индустриальный диапазон температур -40...+85°C.

13.4. Спецификация элементов

Спецификация — это документ, в котором описываются точные характеристики всех элементов проекта (устройства, прибора, блока). На производстве это самая важная информация для отдела снабжения, а также конструкторских, технологических и диспетчерских служб. Закупив и изготовив все входящие в спецификацию элементы, можно собрать конечное устройство любой сложности, от миниатюрной флешки до космического корабля.

Полная спецификация элементов отладочной платы часто приводится в даташите или руководстве по эксплуатации в виде таблицы. В идеале она должна состоять из следующих разделов:

- перечень покупных ЭРИ;
- перечень механических деталей;
- состав программного обеспечения;
- организационные документы.

На практике пользователю предлагается для рассмотрения лишь перечень ЭРИ «Bill-Of-Materials» (BOM, он же Parts List), и то не всегда. Всё зависит от стандартов, принятых на фирме-изготовителе отладочной платы.

Перечень покупных ЭРИ. В него входят все радиодетали, распаянные на печатной плате. Разные фирмы используют собственные буквенные сокращения ЭРИ, причём настолько нестандартные, что расшифровывать их приходится со словарём в руке и с здравым смыслом в голове (см. Приложение 1).

Разнобой в наименованиях ЭРИ на одной и той же плате лишь на первый взгляд кажется спорадическим процессом. Очень часто разработчик вкладывает в названия глубокий смысл. Вот несколько примеров из одних и тех же схем.

- Разделение по физическим свойствам: *Q1* — полевой MOSFET-транзистор, *T1* — биполярный («цифровой») транзистор.
- Разделение на «цифру» и «аналог»: *IC1* — стабилизатор питания, цифровые микросхемы, *U1* — аналоговые микросхемы и ОУ.
- Разделение по выполняемым функциям: *V1* — светодиод, индицирующий наличие питания, *LED1* — светодиод, управляемый программистом.
- Разделение по назначению: *IC1* — основной МК, *U1* — МК программатора.
- Разделение по сигналам: резисторы *RTDA1*, *RTCK1*, *RRSET1* устанавливаются, соответственно, в цепях сигналов *TDA*, *TCK*, *RSET*.
- Разделение по подсистемам: *ICEC1* (конденсатор), *ICEX1* (кварцевый резонатор), *ICEU1* (микросхема) — все эти элементы относятся к ICE-дебаггеру, поэтому и маркируются «ICE»; *1R4*, *2R33* — это два резистора, относящихся к разным подсистемам; *Q100*, *Q200*, *Q303* — транзисторы трёх подсистем с трёхзначной порядковой нумерацией.
- Разделение по департаменту разработки: *DS1* — обозначение светодиода, применяемое в одном подразделении фирмы, *LED1* — обозначение светодиода, применяемое в другом подразделении той же самой фирмы.

Не следует ровнять всех разработчиков под одну гребёнку. Сложно искать смысл там, где его нет. Встречаются электрические схемы, в которых отсутствует чёткая система привязки. Например, на одной из схем керамические и полярные конденсаторы обозначаются вперемешку *C1, CB1*, логики в этом не видно.

Нумерация элементов на схеме может начинаться не с единицы, а с нуля, как принято у программистов. Примеры обозначения трёх кнопок: *SW0, SW1, SW2*.

В некоторых схемах ЭРИ вообще могут быть без цифры порядкового номера. В частности, если светодиод на плате один, то его выделяют из общей массы уникальной «говорящей» маркировкой: «POWER», «I/O», «USER».

Перечень механических деталей. Главной механической частью любого электронного изделия является печатная плата. В общий перечень деталей, кроме неё, также входят: технологические метки, крепёжные элементы, наклейки и прочее. Перечень «механики» может быть указан в даташитах или на полях электрической схемы. Для примера в Табл. 13.1 приведены наиболее употребительные сокращения механических деталей с условным порядковым номером «1».

Таблица 13.1. Позиционные обозначения механических элементов

Надпись	Расшифровка	ЭРИ	Надпись	Расшифровка	ЭРИ
<i>ADJ1</i>	ADJustment mark	Реперная метка	<i>LABEL1</i>	LABEL	Наклейка с текстом
<i>DH1</i>	Drill Hole	Крепёжное отверстие	<i>LBL1</i>	LaBeL	Наклейка с текстом
<i>E1</i>	E	Резиновый бампер, «ножки» под плату	<i>M1</i>	Mark	Реперная метка
<i>FD1</i>	FiDucial pad	Реперная метка	<i>MH1</i>	Mechanical Hole	Крепёжное отверстие (Cutting Hole)
<i>FID1</i>	FIDucial pad	Реперная метка	<i>PCB1</i>	Printed Circuit Board	Печатная плата
<i>FIXTURE1</i>	FIXTURE	Приспособление для фиксации положения платы	<i>SF1</i>	SurFace bumper	Резиновый бампер
<i>H1</i>	Hole	Крепёжное отверстие	<i>SUP1</i>	SUPport	Панелька под микросхему
<i>HS1</i>	Hole Support	Отверстие в термопаде, соединённое с общим проводом	<i>TH1</i>	Through-Hole	«Земляная» контактная площадка
<i>HW1</i>	Mounting HardWare	Крепёжный набор: шайба, стойка, винт	<i>Z1</i>	Z	Подставка, бампер (Adhesive Feet, «ножки» под плату)

Программное обеспечение делится на две части: внутренняя прошивка МК «фирмваре», обозначается *FW1* (FirmWare), и внешнее компьютерное программное обеспечение для тестирования и начального старта *TEST1* (TEST).

Организационные документы:

- *PCBDOC1* (PCB DOCumentation) — документация для физического изготовления печатной платы;
- *TESTDOC1* (TEST DOCumentation) — инструкция по тестированию работоспособности отладочной платы.

Интересный момент — механические, программные и организационные элементы некоторые разработчики размещают на электрических схемах отдельным блоком. Получается слоёный пирог «три в одном» (Рис. 13.1).

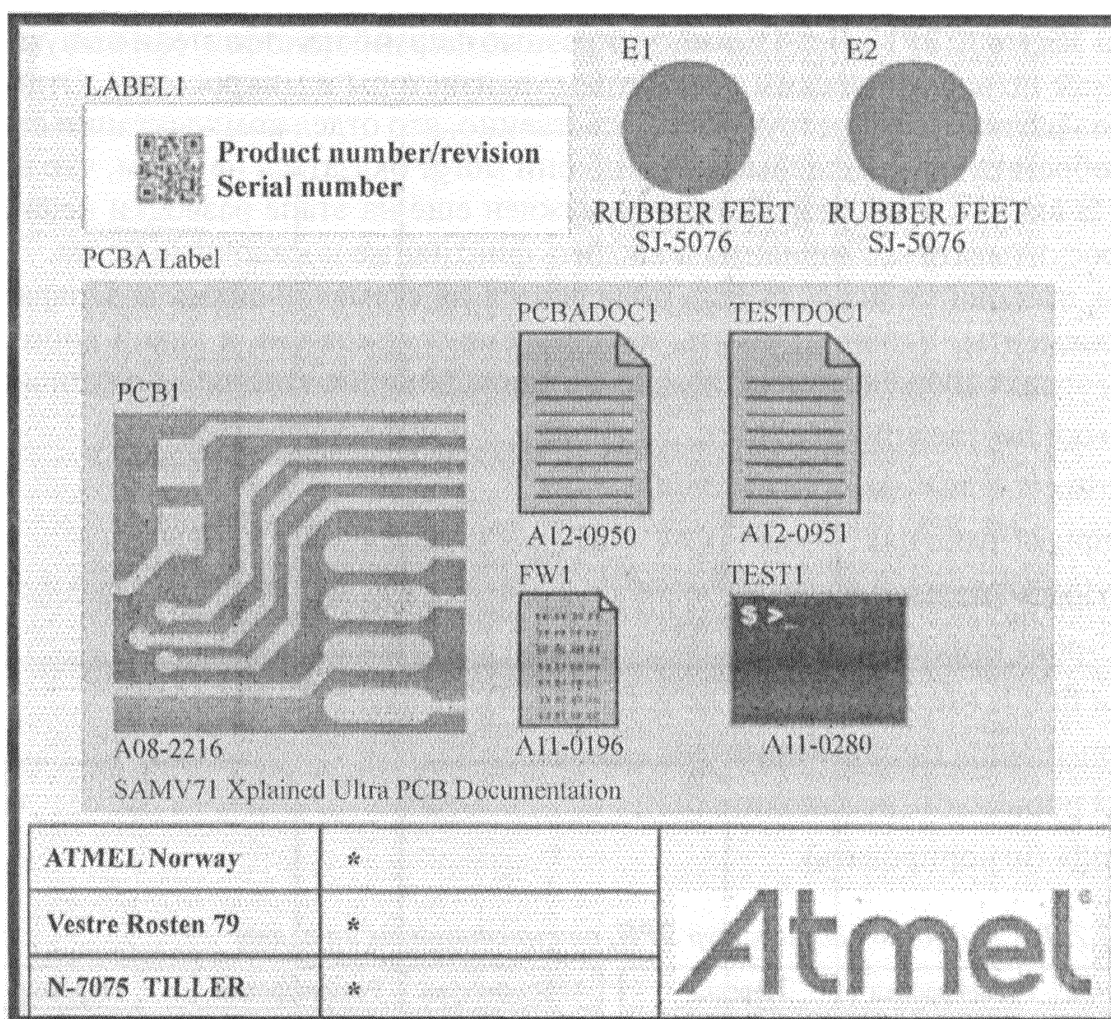


Рис. 13.1. Пример размещения вспомогательной информации на схеме

На схемах отладочных плат производства стран СНГ обозначение ЭРИ выполняется по действующим стандартам в привычной для нас форме [13-6].

Примеры: *BA1* (громкоговоритель), *BL1* (фотоприёмник), *BM1* (микрофон), *BQ1* (керамический резонатор), *C1* (конденсатор керамический, электролитический), *DA1* (аналоговая микросхема, ОУ), *DD1* (МК, цифровая микросхема), *FU1* (предохранитель), *HA1* (бuzzer, пьезопищалка), *HG1* (ЖКИ, дисплей), *HL1* (светодиод), *L1* (дроссель, катушка индуктивности), *K1* (реле), *R1* (резистор, переменный резистор, сборка резисторов), *RK1* (термистор), *SA1* (переключатель), *SB1* (кнопка), *VD1* (диод, сапрессор, стабилитрон), *VT1* (транзистор полевой, биполярный, «цифровой» транзистор), *VU1* (оптопара), *X1* (разъём, джампер), *Z1* (ферритовая «бусинка»), *ZQ1* (кварцевый резонатор).

Встречаются и необычности. Например, МК обозначается «*D1*», а не «*DD1*». Это правилами допускается, поскольку внутри контроллера могут содержаться как цифровые, так и аналоговые узлы. А вот обозначение светодиода в виде «*VD1*» вызывает сомнение. Логичнее было бы применить надпись «*HL1*», поскольку это в первую очередь элемент индикации, а уже во вторую — световой диод.

13.5. Отсутствующие ЭРИ

Отладочные платы относятся к серийному (массовому) производству, поэтому при их изготовлении возникают специфические нюансы. В частности, существует проблема закупки ЭРИ. Дело в том, что разные фирмы-изготовители выпускают однотипные по электрическим параметрам транзисторы и микросхемы. Отличия могут быть разве что в конструктиве. Естественно, что отдел комплектации старается приобретать более дешёвые ЭРИ, но они могут оказаться не в том, что надо, корпусе. В связи с этим разработчик вынужден ещё на этапе разводки печатной платы просчитывать все варианты и вводить фиктивные посадочные места.

Теперь становится ясно, откуда появляются на схемах двойные и запараллеленные элементы. Чтобы отличить, какой элемент основной, а какой дополнительный, вводят аббревиатуры (Табл. 13-2) и поясняющие текстовые надписи:

- «do not fit» (не вписывается);
- «do not mount» (не монтируется);
- «empty» (пусто);
- «no load» (не нагружен);
- «no-pop» (никакой);
- «not fitted» (не оборудован, не установлен);
- «non-mount» (не монтируется);
- «not populated» (не заполняется);
- «omit» (игнорировать).

Таблица 13.2. Расшифровка аббревиатур ЭРИ, отсутствующих на плате

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод	Аббревиатура	Расшифровка	Перевод
DC	Don't Connect	Не соединяется	DNM	Do Not Mount	Не монтируется
DNE	Do Not Enable	Не разрешается	NP	Not Place	Не ставить
DNF	Do Not Fit	Не вписывается	N/A	Not Available	Недоступно
DNI	Do Not Insert	Не включается	NA	Not Available	Недоступно
DNP	Do Not Place	Не ставится	NI	Not Install	Не устанавливать
DNU	Do Not Use	Не используется	NM	Not Mounted	Не монтировать

Возле джамперов и съёмных перемычек на схемах могут даваться указания:

- SHORT (установлен, замкнут, контакт имеется);
- OPEN (снят, разомкнут, контакта нет).

Ещё один случай, когда в схему вводятся лишние элементы, — это регулирование какого-то параметра или смена режимов работы. Обычно для таких целей используют чип-резисторы, которые разрешается перепаявать в процессе эксплуатации. Чтобы указать точное место, куда и в каких случаях ставятся резисторы, их отмечают «звёздочкой» и текстовым пояснением на полях схемы.

Пример: «Internal Regulator — Remove R17, R16, R38, R33, Install R21, R32; External Regulator — Remove R21, R15, R32, Install R17, R16, R38, R33». Первая часть текста относится к внутреннему, вторая — к внешнему регулированию.

13.6. Прямоугольные платы

Габаритные размеры отладочных плат не стандартизованы, поэтому все они в дальнейшем для сравнения конструктивных особенностей будут приведены к единому размеру в пропорции «золотого сечения» 62:38 (Рис. 13.2, а...к).

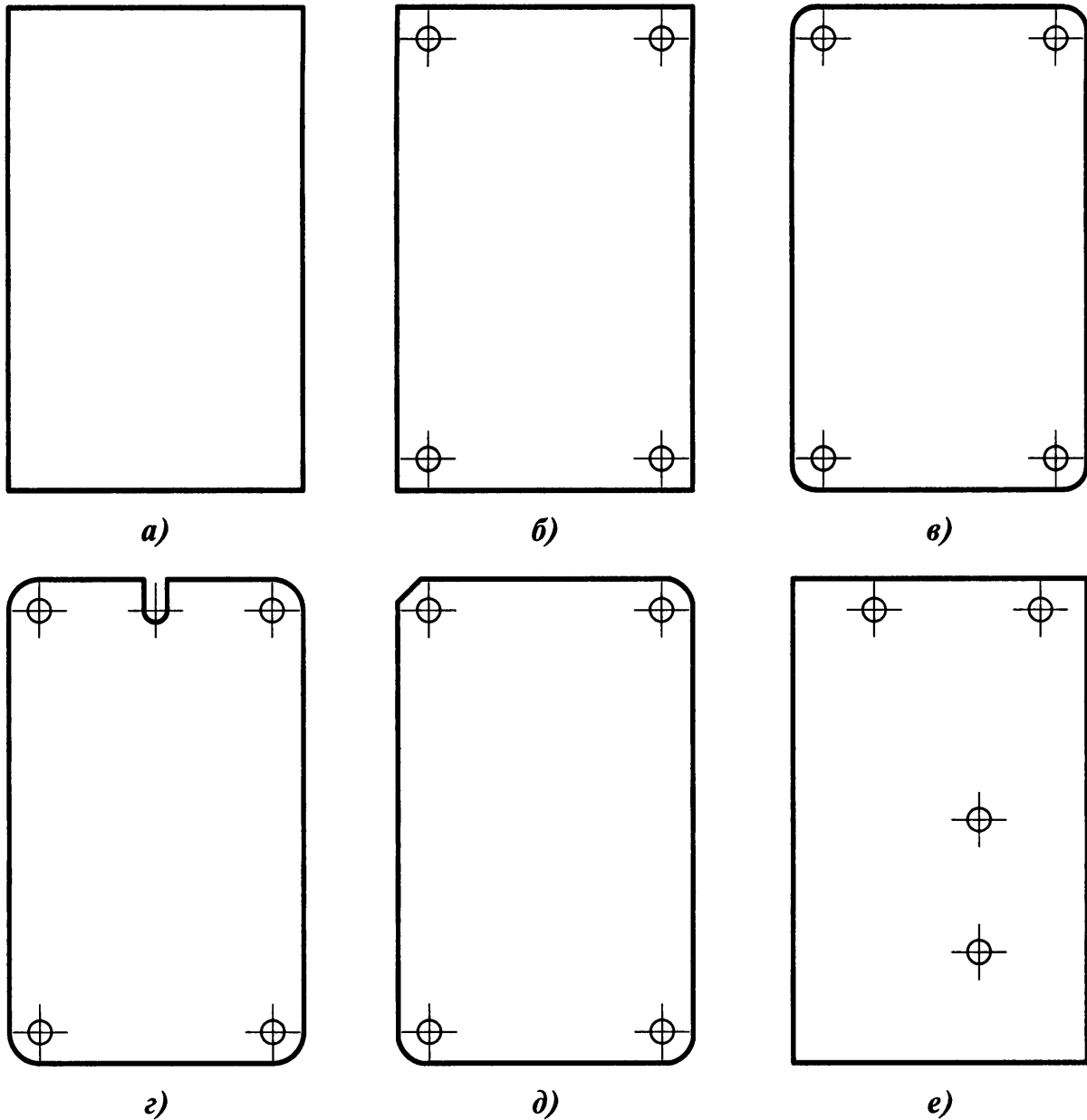
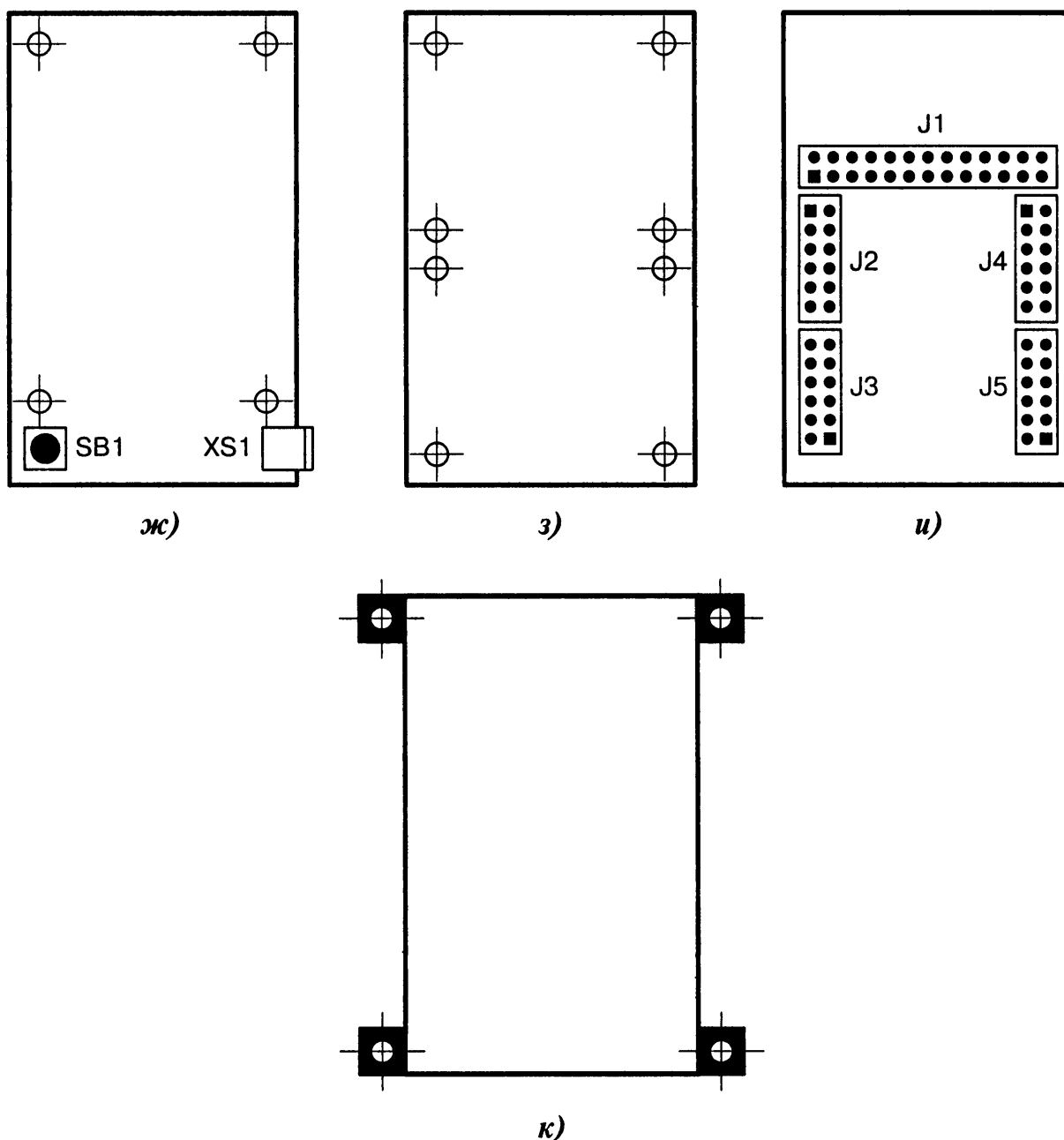


Рис. 13.2. Разновидности прямоугольных плат (начало):

- а) плата без крепёжных отверстий. Встречается, но редко;
- б) плата с четырьмя крепёжными отверстиями, расположенными симметрично по углам;
- в) особенность — полукруглые края платы. Это рекомендуется правилами техники безопасности, чтобы случайно не пораниться об острые края и не порвать себе одежду;
- г) глубокий паз сверху может пригодиться при нестандартном креплении платы или для правильной её ориентации в пространстве (так называемый «ключ»);
- д) здесь «ключом» ориентации является скос в левом верхнем углу платы;
- е) крепёжные отверстия могут размещаться на плате несимметрично относительно осей; ☹



⊖ Рис. 13.2. Разновидности прямоугольных плат
(окончание):

ж) нижние крепёжные отверстия подняты немного вверх из-за того, что на их законном месте «припарковались» два элемента: тактовая кнопка *SB1* и разъём *XS1*;

з) удвоенное количество крепёжных отверстий (восемь вместо четырёх) может быть связано с установкой каких-либо массивных радиоэлементов, например разъёмов. Возможен также вариант частичного крепления платы на четырёх верхних или нижних отверстиях, разумеется, если нет опасений за нависающий край. Ещё одно объяснение — в целях повышения жёсткости крепления при больших габаритах платы или её большой длине;

и) механическое крепление платы производится при помощи пяти разъёмов «стык в стык», крепёжные отверстия отсутствуют. Применяется в основном в шилдах;

к) печатная плата своих крепёжных отверстий не имеет, но их функцию выполняют навесные металлические «уши». Они припаиваются с обратной стороны платы и служат для её крепления через четыре отверстия

13.7. Фигурные платы

Фигурные платы отличаются элегантным внешним видом и скруглёнными краями, обеспечивающими комфорт и безопасность (Рис. 13.3, а...ж).

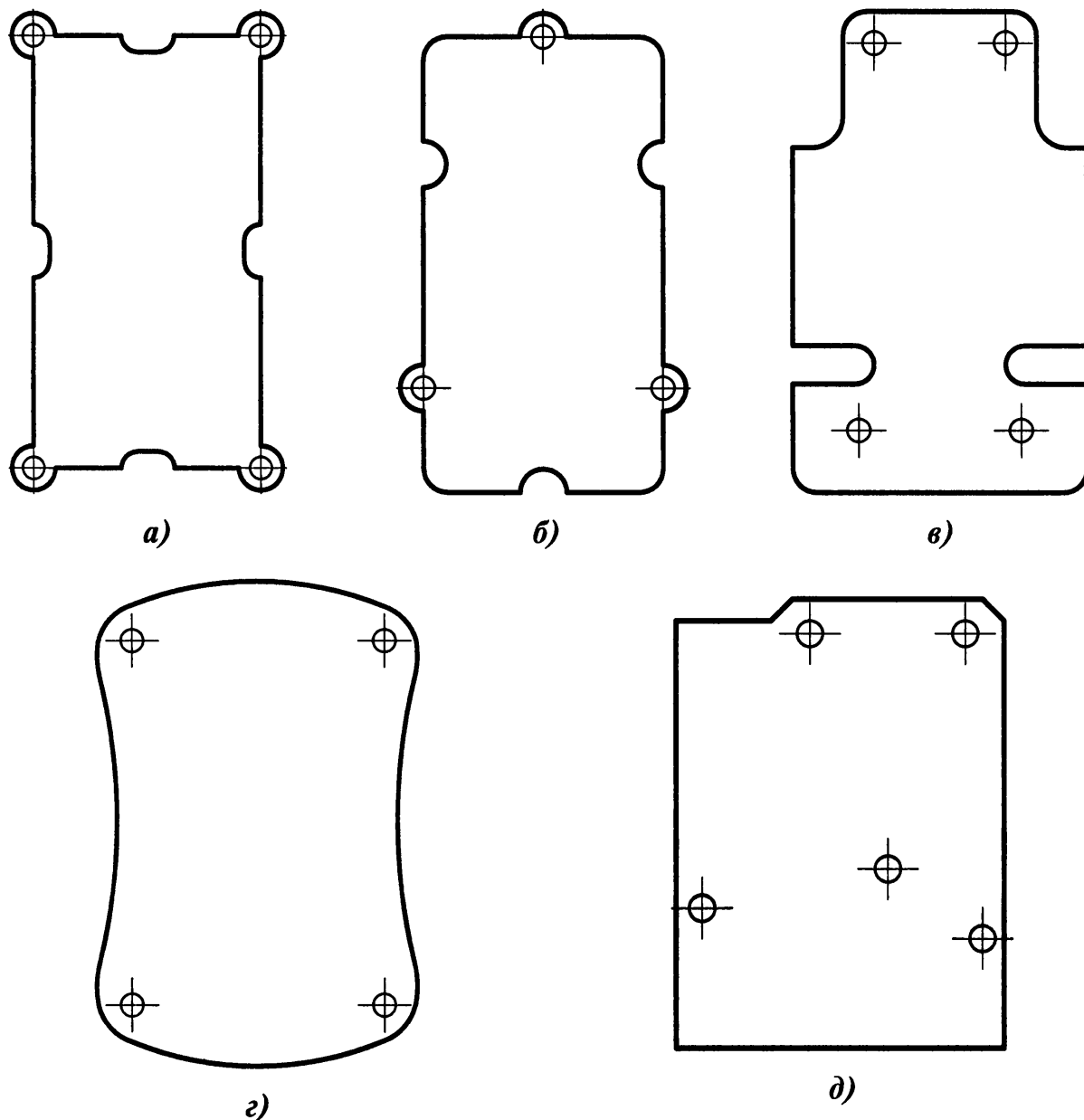
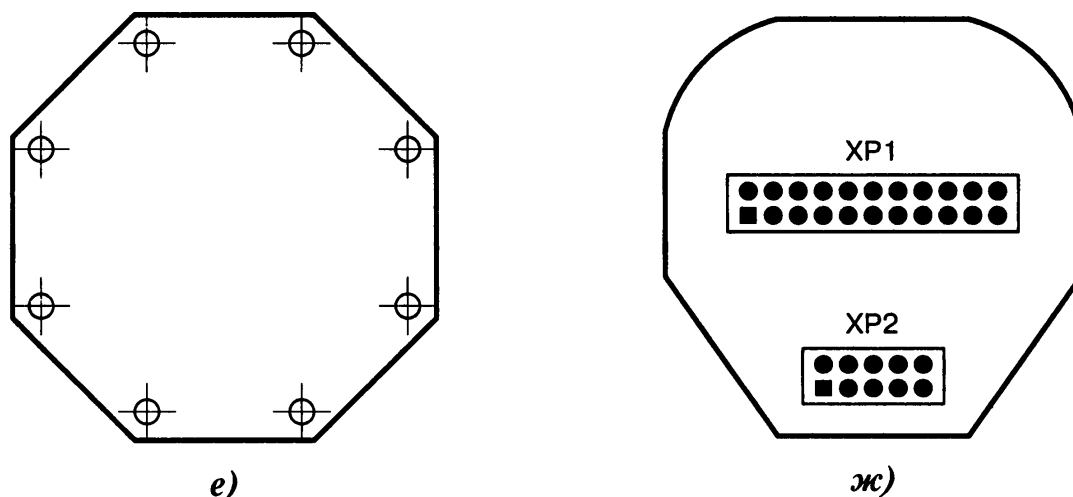


Рис. 13.3. Разновидности фигурных плат (начало):

- а) крепёжные «уши» выполнены фигурными врезками по краям платы. Это даёт дополнительное пространство и повышает (при прочих равных условиях) плотность упаковки ЭРИ;
- б) особенность — минимально достаточное число крепёжных отверстий;
- в) прежде чем выбрать столь необычную форму платы, разработчик должен детально просчитывать экономические затраты. Они будут тем больше, чем вычурнее изгибы платы;
- г) такая форма платы специально приспособлена для удобного и комфортного держания в руке, в частности плату можно использовать как 3D-джойстик или пульт управления;
- д) пример платы нестандартной формы. Пропорции платы могут далеко отличаться от «золотого сечения», иметь несимметричные края с выступами, а также несимметричные крепёжные отверстия. Обычно такие платы разрабатываются под конкретное место в конструкции; ☹



⊖ Рис. 13.3. Разновидности фигурных плат
(окончание):

е) восьмигранная плата может применяться, например, в устройствах световых эффектов, когда светодиоды размещаются по кругу или в виде фары;

ж) фигурный шилд вставляется сверху в отладочную плату, не требуя отдельного крепления, поскольку крепёжными элементами служат разъёмы *XP1*, *XP2*

13.8. Крепёжные отверстия

Хотя крепёжные отверстия могут иметь разный диаметр и находиться на разном удалении от углов платы, но их конструктивное оформление легко систематизируется (Рис. 13.4, а...д).

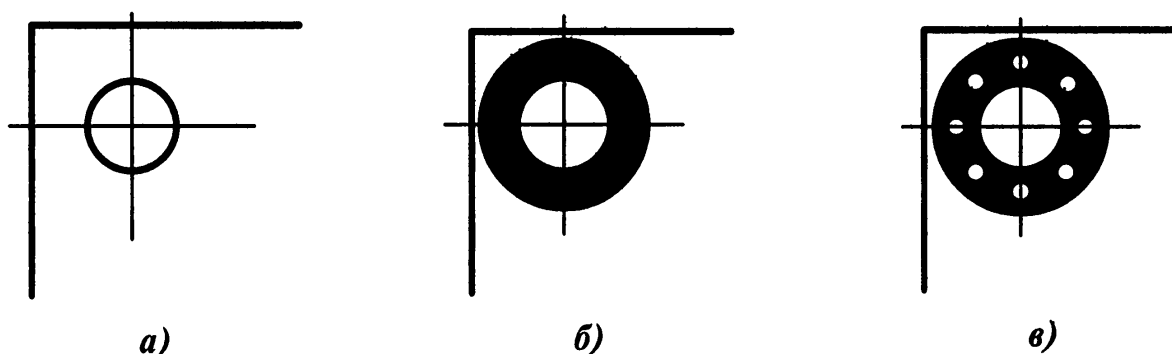
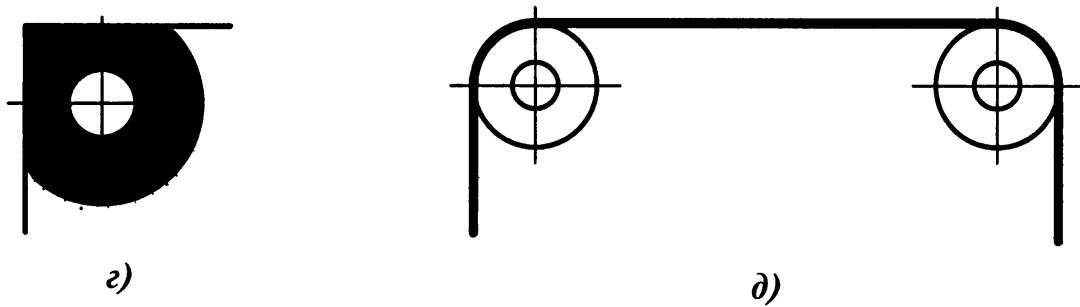


Рис. 13.4. Крепёжные отверстия на платах
(начало):

а) простой вариант, когда крепёжное отверстие обычное, не металлизированное. Варианты: сквозное отверстие с узкой полоской металлизации по контуру;

б) крепёжное отверстие с широкой полосой металлизации по контуру, что может пригодиться, например, для установки шайбы под винт;

в) особенность — широкая полоса металлизации с пустыми точками по кругу. Это больше напоминает элемент декора (для красоты, для узнаваемости фирменной продукции). С другой стороны, пустые точки повышают технологичность при изготовлении платы на производстве, поскольку предотвращают наплывы припоя при лужении больших медных поверхностей; ⊖



⊖ Рис. 13.4. Крепёжные отверстия на платах (окончание):

г) аналогично Рис. 13.4, б, но со сплошной металлизацией в углу платы;

д) крепёжные отверстия обычные, без металлизации. Особенность — вокруг отверстий краской отмаркирован контур для размещения шайбы. Это предупреждение о том, что данное пространство нельзя занимать другими элементами

13.9. Контактные отверстия

Контактные отверстия служат для связи отладочной платы с внешним миром. Размещаются они, как правило, по краям печатной платы. Они могут быть пустые (для последующей запайки проводников), а могут содержать гребёнку штыревых соединителей, что не принципиально (Рис. 13.5, а...ж).

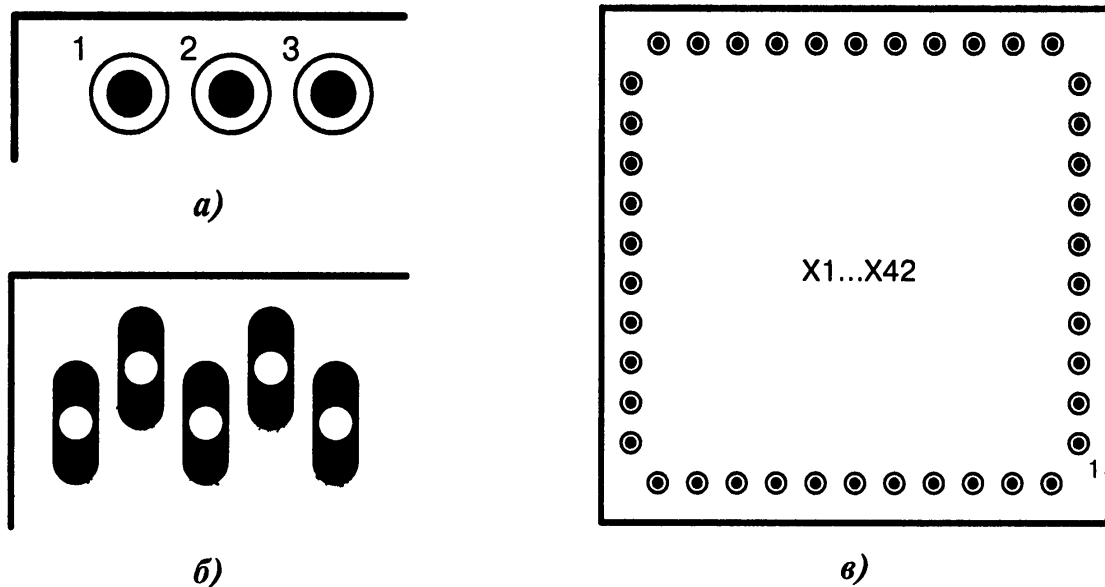


Рис. 13.5. Контактные отверстия на платах (начало):

а) увеличенный вид круглых контактных отверстий. Цифровую нумерацию возле каждого вывода указывать не обязательно, достаточно отмаркировать первый контакт;

б) зигзагообразная раскладка отверстий применяется для облегчения пайки проводов. С той же целью увеличивается площадь контактных площадок вокруг отверстий;

в) контактные отверстия $X1...X42$ размещаются симметрично по всем четырём сторонам платы. Это создаёт максимальное удобство разработчику при разводке печатных проводников. Нумерация контактных площадок ведётся против часовой стрелки с нижнего правого угла; ⊖

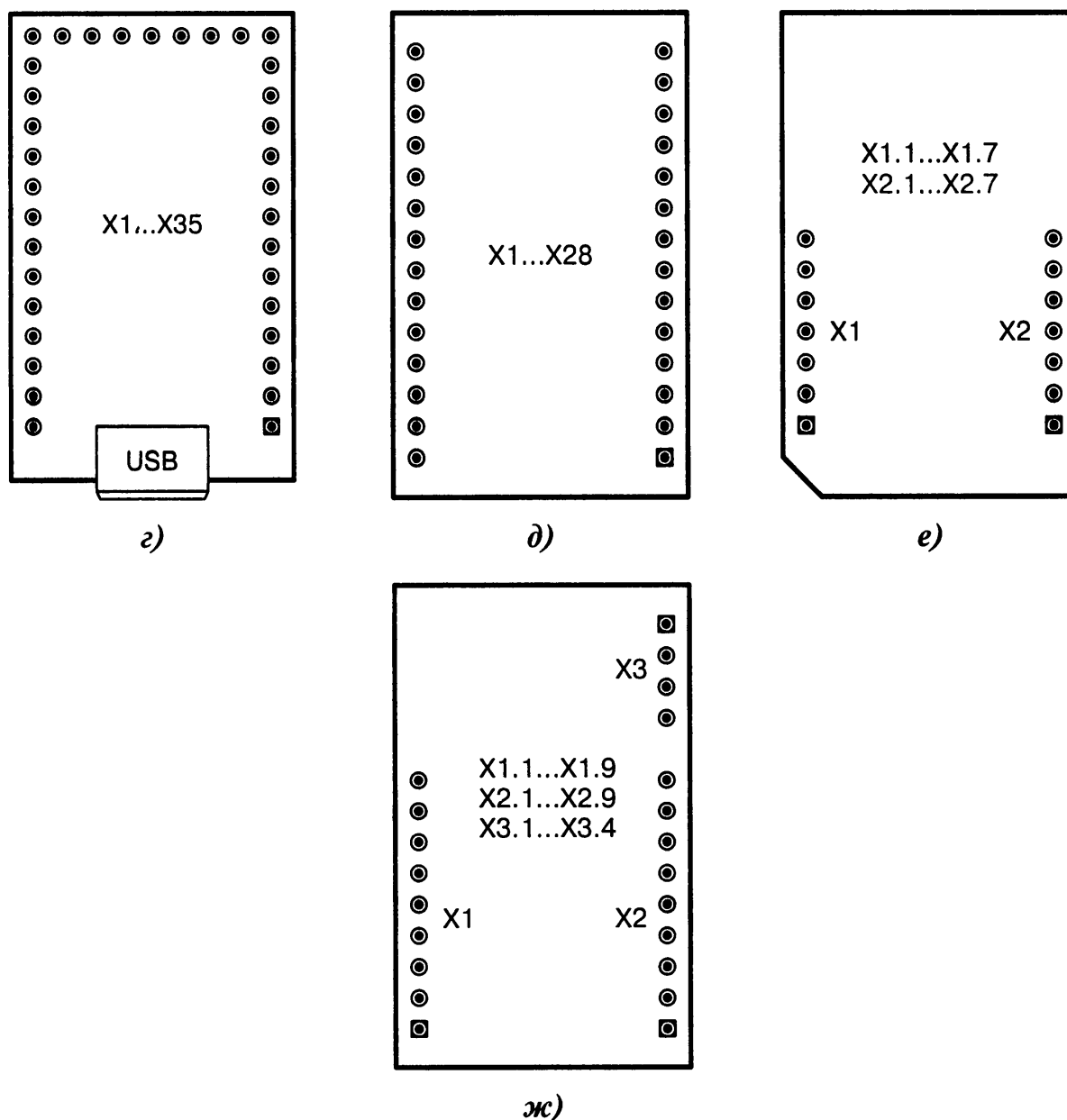


Рис. 13.5. Контактные отверстия на платах (окончание):

- г) полностью круговое размещение контактных площадок может не получиться по объективным причинам, в частности если на одной из боковых сторон размещается USB-разъём;
- д) особенность — два ряда контактных отверстий имеют сквозную нумерацию, которая ведётся против часовой стрелки с нижнего правого угла, аналогично микросхемам в DIP-корпусе;
- е) контактные площадки не обязательно должны заполнять всю длину (ширину) платы;
- ж) на плате размещаются контактные отверстия трёх разных функциональных групп, причем нумерация контактов у них идёт снизу вверх ($X1$, $X2$) и сверху вниз ($X3$)

13.10. Физически разделяемые платы

Речь пойдёт о платах, на которых размещается не одно, а несколько устройств, например микроконтроллерный блок и USB-программатор. «Грамотно» разведённая печатная плата в дальнейшем может быть физически разрезана пополам,

причём обе половины устройства будут функционировать нормально. Чтобы такой вариант стал возможным, на платах делаются прорезы (Рис. 13.6, а...в).

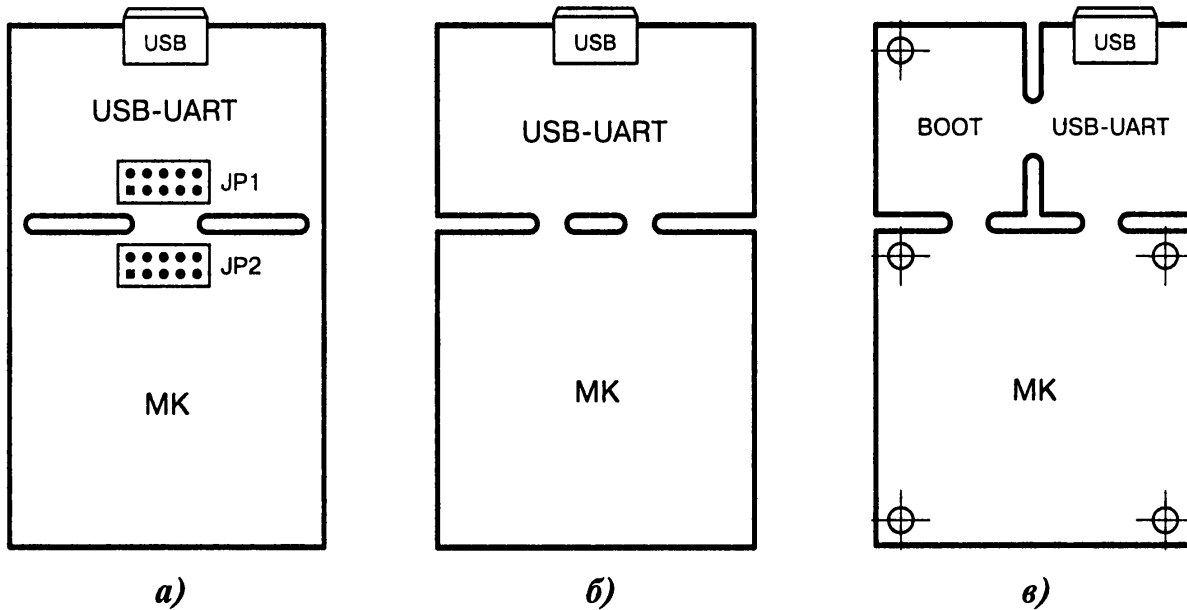


Рис. 13.6. Физически разделяемые платы:

- а) после деления платы на две части её функциональность в любой момент времени можно восстановить внешним кабелем, соединяющим «один к одному» разъёмы *JP1* и *JP2*;
- б) печатная плата логически и физически разделяется на две части. Конвертор USB-UART можно использовать отдельно, если разрезать плату в местах горизонтальных выемок;
- в) плату можно разделить на три части: МК, конвертор USB-UART, программатор BOOT

13.11. Разъёмы на платах

Гребёнки штыревых разъёмов являются основным визуальным признаком отладочной платы. Через них стыкуются шилды и внешние узлы (Рис. 13.7, а...ж).

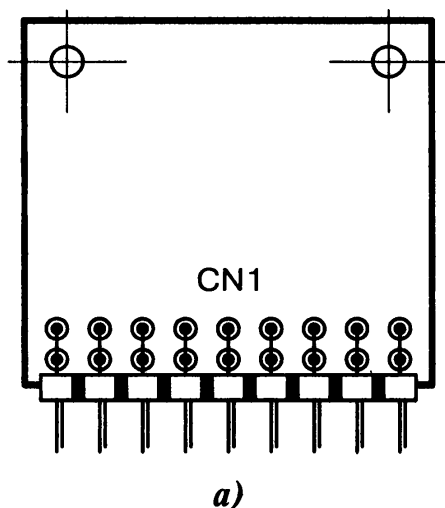
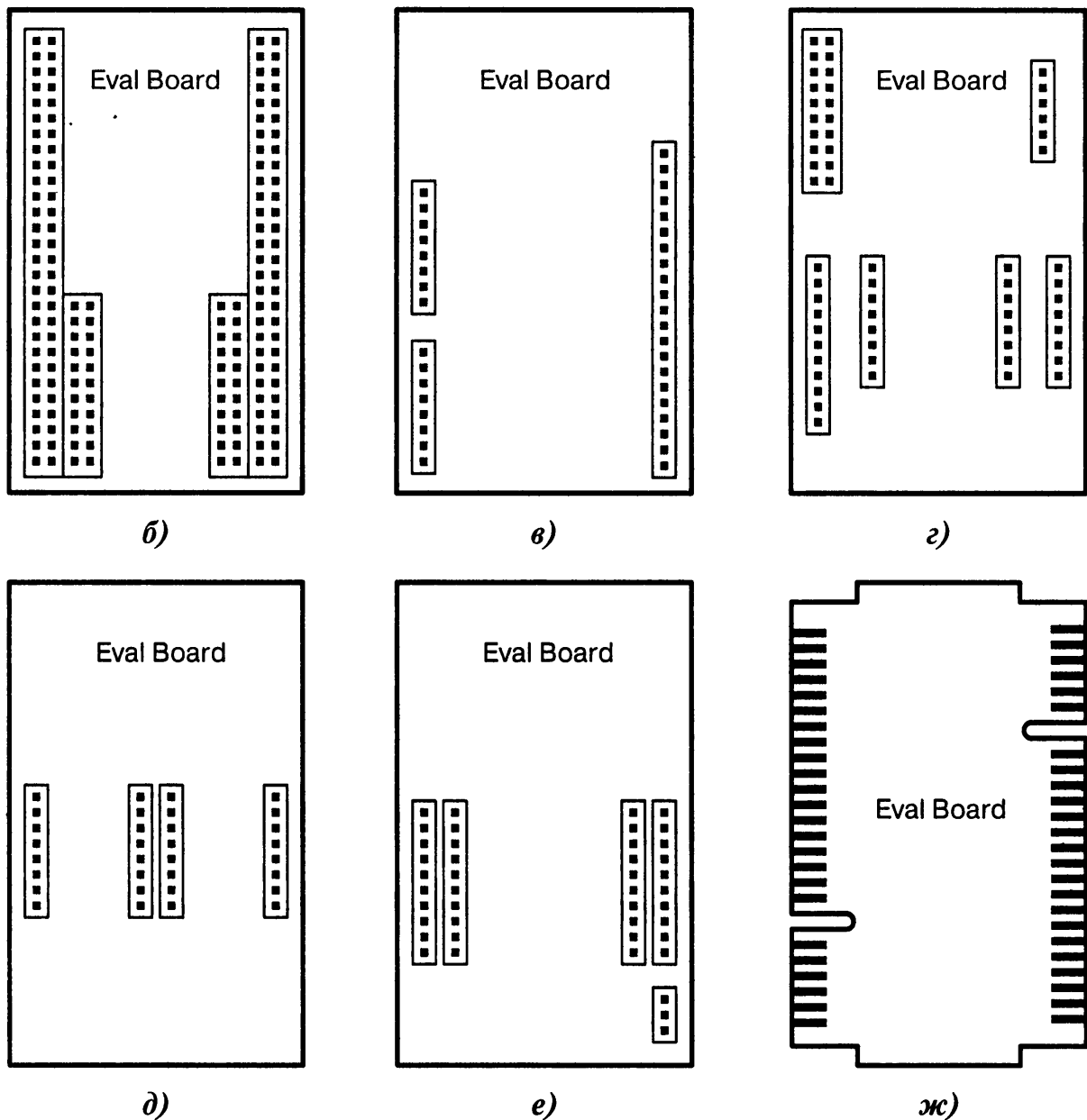


Рис. 13.7. Размещение разъёмов на платах (начало):

- а) двухрядный штыревой разъём *CN1* позволяет использовать отладочную плату в качестве отдельного модуля, вставляемого в общую корзину или кроссплату; Ⓞ



⊖ Рис. 13.7. Размещение разъёмов на платах (окончание):

б) шилды могут вставляться как во внешние, так и во внутренние пары разъёмов. Имеются в виду шилды разной длины с разным межцентровым расстоянием;

в) особенность — разное число разъёмов на каждой стороне платы и разное число выводов в разъёмах. Отсутствие симметрии не должно влиять на жёсткость крепления шилдов;

г) комбинация одно- и двухрядных разъёмов, причём некоторые из них могут использоваться не для стыковки шилдов, а для подключения кабелей или контроля сигналов;

д) на плату можно поставить один шилд 2×8 с одинарным или с двойным расстоянием между линейками контактов. Можно также поставить два узких шилда 2×8 с одинарным расстоянием или один широкий шилд 3×8 (4×8) с тремя или четырьмя разъёмами;

е) на плату можно поставить шилды с 20 контактами (2×10), а можно с 40 контактами (4×10). Нижний разъём с тремя контактами удобно использовать для подачи питания;

ж) боковые разъёмы состоят из печатных металлизированных ламелей, выполненных по образцу компьютерных PCI-слотов. В них могут вставляться шилды, или их можно вставлять в разъёмы на общей кроссплате

13.12. Угловое подключение шилдов

Шилды могут устанавливаться сверху на штыри отладочной платы или сбоку через стандартные угловые разъёмы из серий DB, IDC, DIN (Рис. 13.8, а...в).

Число контактов зависит от назначения разъёма и возложенных на него функций. Для уменьшения габаритов используют многорядные разъёмы повышенной плотности, которые обеспечивают жёсткость механического сочленения. На платах с поверхностным монтажом ставят SMD-разновидности разъёмов. Стыковочные и присоединительные размеры у них такие же самые.

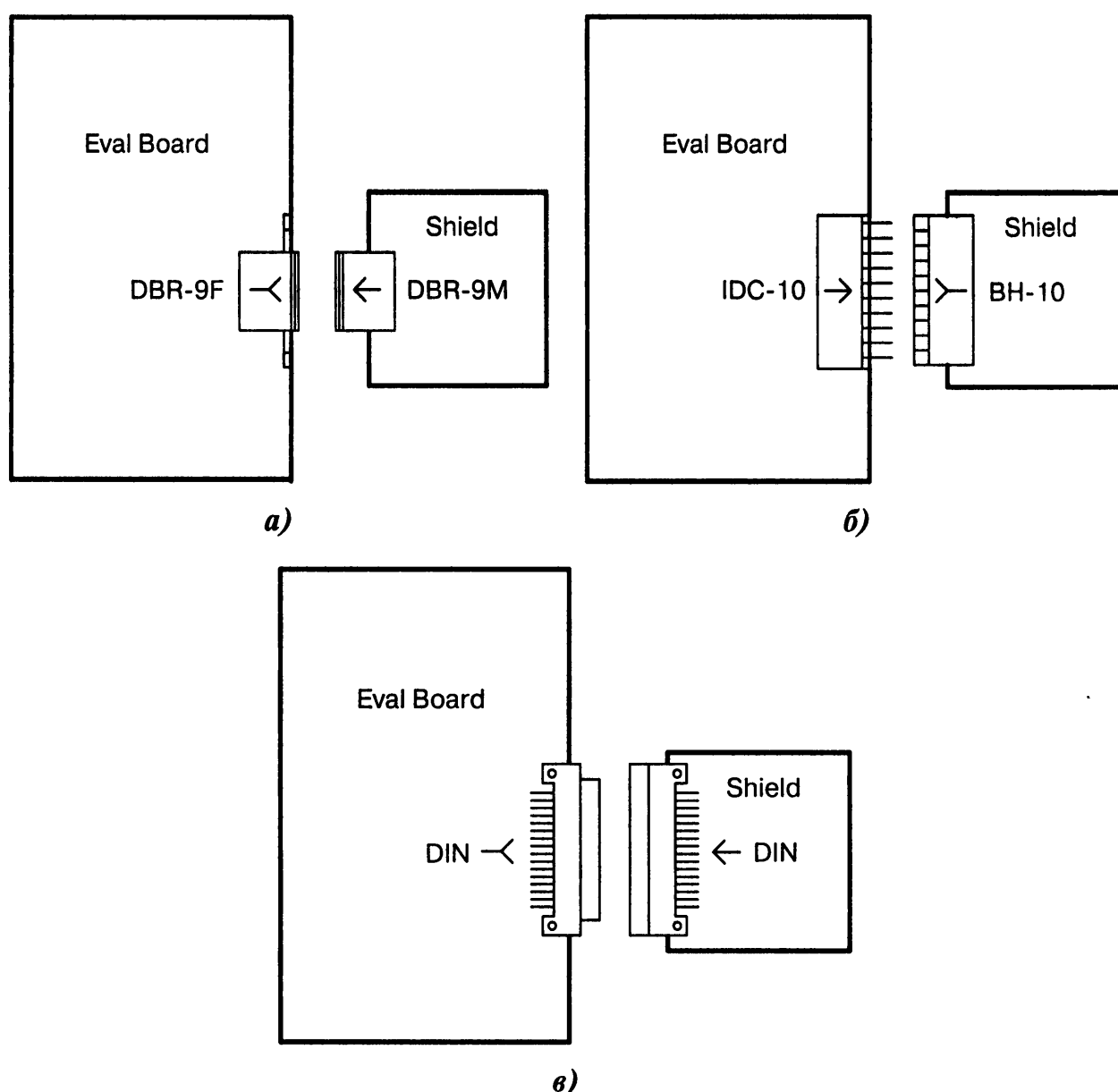


Рис. 13.8. Угловое подключение шилдов:

а) для соединения платы и шилда используются угловые разъёмы семейства D-SUB. Число контактов от 9 до 37. Обозначение углового разъёма: DBR-9...DBR-37 [13-7];

б) разъёмы семейства IDC (ответная часть ВН) могут иметь число контактов от 6 до 64;

в) разъёмы немецкого стандарта DIN обладают высокой прочностью и износостойкостью, поэтому их применение в отладочных платах приветствуется (если позволяют финансы)

13.13. Макетная область

Макетная область (по-другому монтажная область, «море контактов», область прототипирования) — это свободное место на печатной плате, специально зарезервированное для будущих экспериментов. Имеется в виду, что пользователь в процессе эксплуатации отладочной платы захочет дополнить её какими-то своими ЭРИ: резисторами, конденсаторами, диодами, микросхемами и т. д. Электрические связи между ними проводятся тонкими проводниками или перемычками. Полученный макет соединяется с основной схемой или используется автономно.

Базовым элементом макетной платы служат металлические контактные площадки. Они могут размещаться в разных местах печатной платы (Рис. 13.9, а...е).

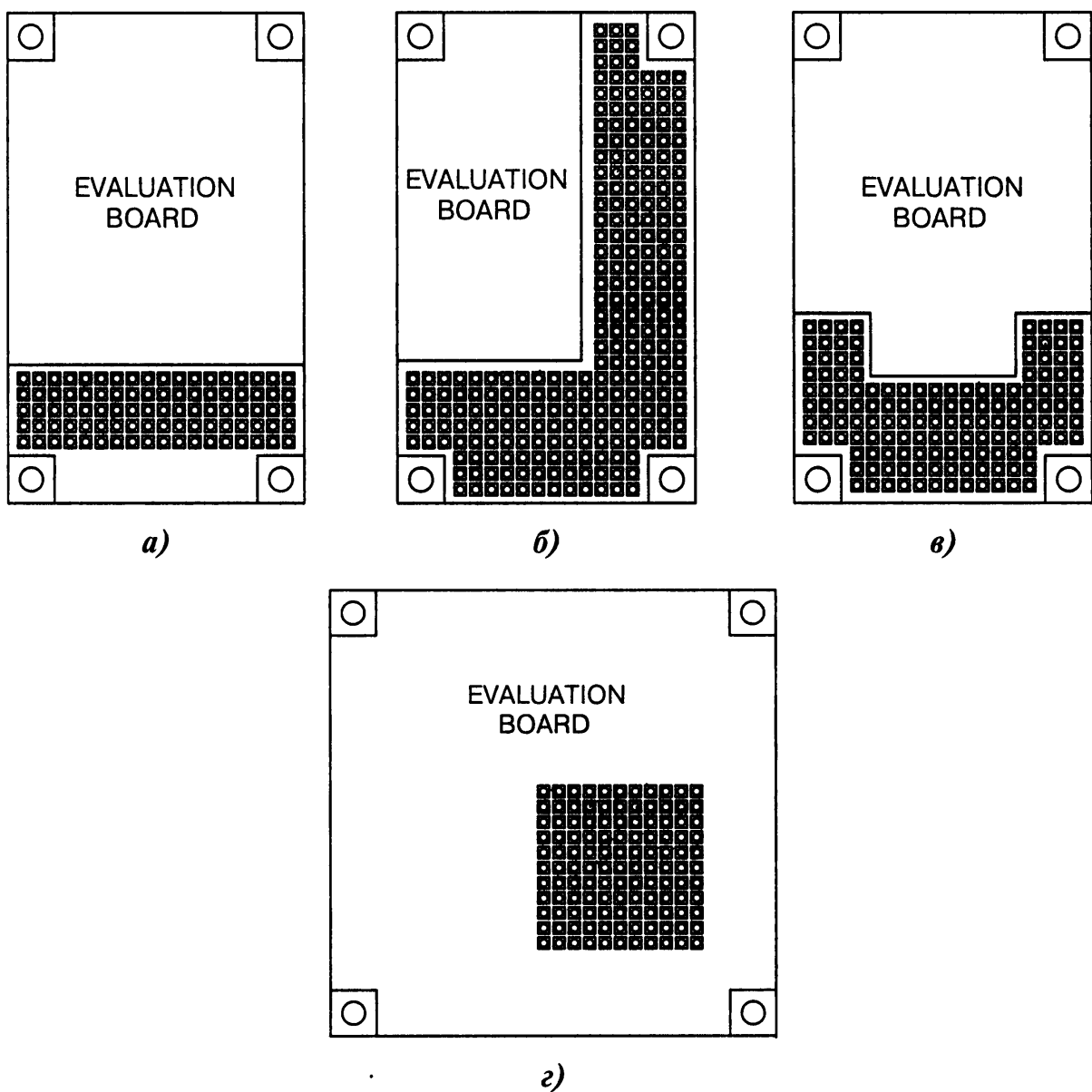
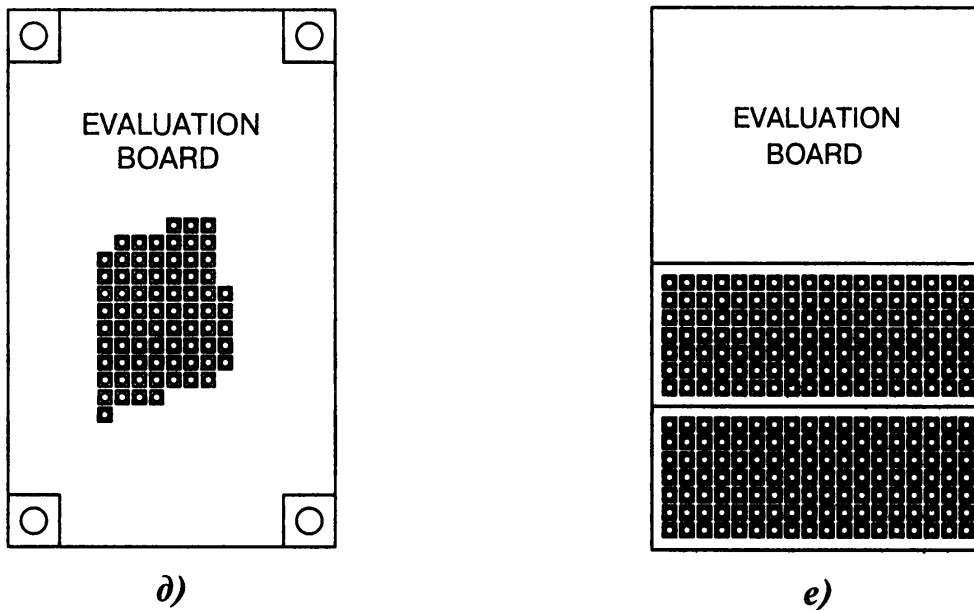


Рис. 13.9. Размещение макетной области на печатной плате (начало):

- а) размещение макетной области снизу (сверху) от основной части элементов;
- б) размещение макетной области «в охват» основной части элементов;
- в) фигурная форма макетной области;
- г) размещение макетной области не у краёв, а ближе к центру отладочной платы; Ⓣ



➡ Рис. 13.9. Размещение макетной области на печатной плате (окончание):

- д) несимметричная макетная область с «рваными краями»;
- е) плата содержит две прямоугольные макетные области, нижнюю из которых можно безболезненно отделить (отпилить, отрезать)

13.14. Топология контактных площадок

Существует большое количество разновидностей контактных площадок, из которых состоит макетная область. Чаще всего площадки имеют сквозные металлизированные отверстия. В них удобно вставлять и запаивать навесные ЭРИ, а также пропускать через них на оборотную сторону тонкие провода.

Иногда между контактными площадками заранее проводятся электрические связи при помощи печатных проводников. Нумерация и маркировка контактных площадок наносятся краской. По форме они бывают: круглые, квадратные, прямоугольные, со сквозными отверстиями и без них (Рис. 13.10, а...н).

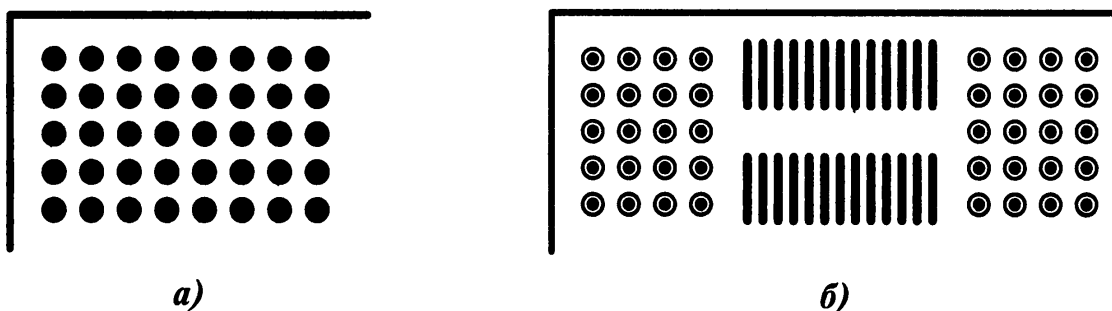
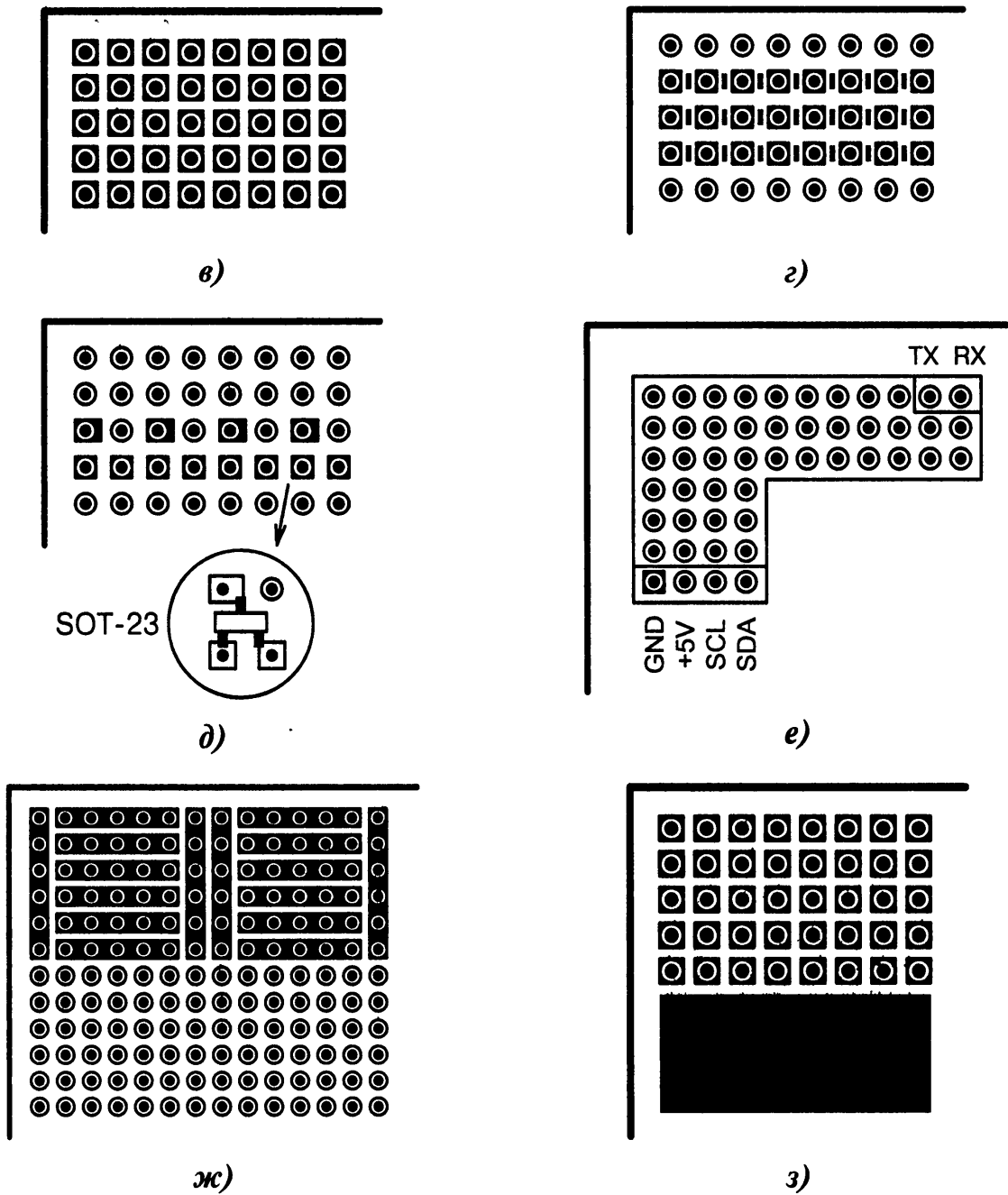


Рис. 13.10. Топология контактных площадок (начало):

- а) контактные площадки планарные, не сквозные, для монтажа SMD-элементов. Это полезно в том случае, если обратная сторона платы занята проводниками или ЭРИ;
- б) комбинирование круглых сквозных отверстий по бокам и двух рядов ламелей в центре, которые служат для припаивания микросхем в корпусах SOIC-8...SOIC-28; ➡



➡ Рис. 13.10. Топология контактных площадок (продолжение):

в) контактные площадки квадратной формы, как в «японских» макетных платах;

г) расстояние между отверстиями составляет 2.54 мм. Тонкие металлизированные ламели между квадратными площадками во втором, третьем и четвёртом рядах сверху предназначены для элементов с расстоянием между выводами 1.27 мм;

д) удлинённые контактные площадки в третьем и четвёртом рядах сверху предназначены для установки SMD-элементов в корпусе SOT-23;

е) отчёркнутые контактные площадки внизу слева и вверху справа выделены маркировочными контурами. К этим площадкам подводятся информационные сигналы интерфейсов I²C (*SCL*, *SDA*), UART (*TX*, *RX*), а также цепи питания (+5V, *GND*);

ж) в верхней части макетного поля находятся электрически соединённые, а в нижней — электрически разъединённые контактные площадки;

з) назначение широкой нижней металлизированной площадки — теплоотвод для стабилизатора питания в корпусе DPAK (запаивается на площадку в удобном по конструкции месте); ➡

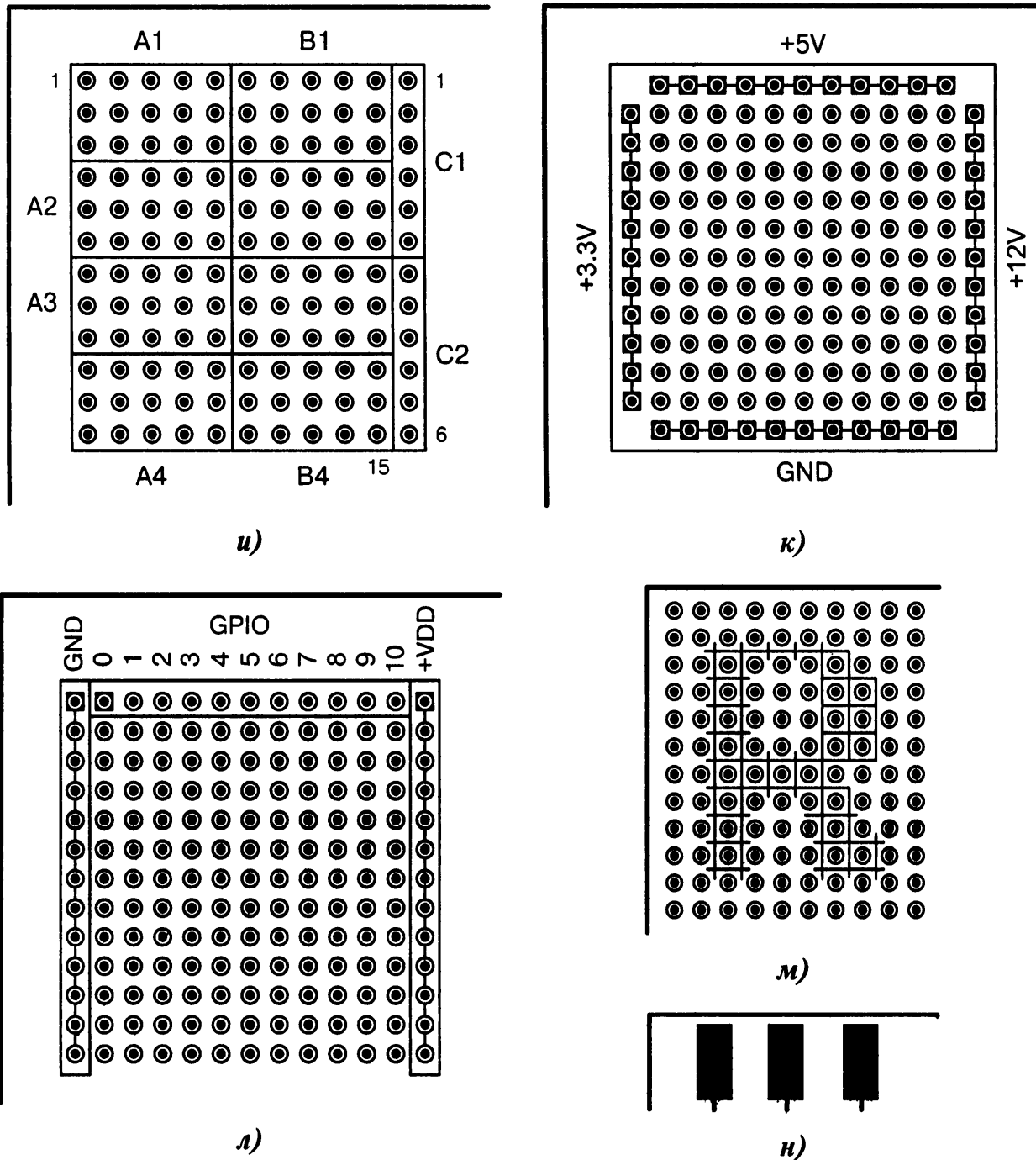


Рис. 13.10. Топология контактных площадок (окончание):

и) металлизированные контактные площадки для макетирования Proto Field разбиваются на 10 функциональных групп: $A1...A4$, $B1...B4$, $C1$, $C2$. Первые 8 групп имеют по 15 площадок, две последние — по 6. Маркировка отверстий «1», «6», «15» показана только для крайних точек;

к) к боковым контактным площадкам подводятся цепи от трёх разных источников питания: +3.3 В, +5 В и +12 В;

л) площадки с левой стороны платы подключаются к общему проводу GND , площадки с правой стороны — к питанию $+VDD$, верхние площадки — к линиям портов МК $GPIO1...GPIO10$;

м) стилизованная фирменная буква «R» сформирована в слое шелкографии белыми маркировочными линиями, проложенными между контактными площадками;

н) внешние провода к отладочной плате могут подпаиваться не только через сквозные отверстия, но и через контактные ламели, которые обычно имеют прямоугольную форму

13.15. Сенсорные кнопки

Сенсорные кнопки — это металлизированные площадки на печатной плате, предназначенные для касания пальцем руки. Факт нажатия на сенсорную кнопку определяется программой МК по изменению вносимой ёмкости или по уровню остаточного напряжения. Сенсорные кнопки должны иметь форму и габариты, рассчитанные на руку взрослого человека (Рис. 13.11, а...д).

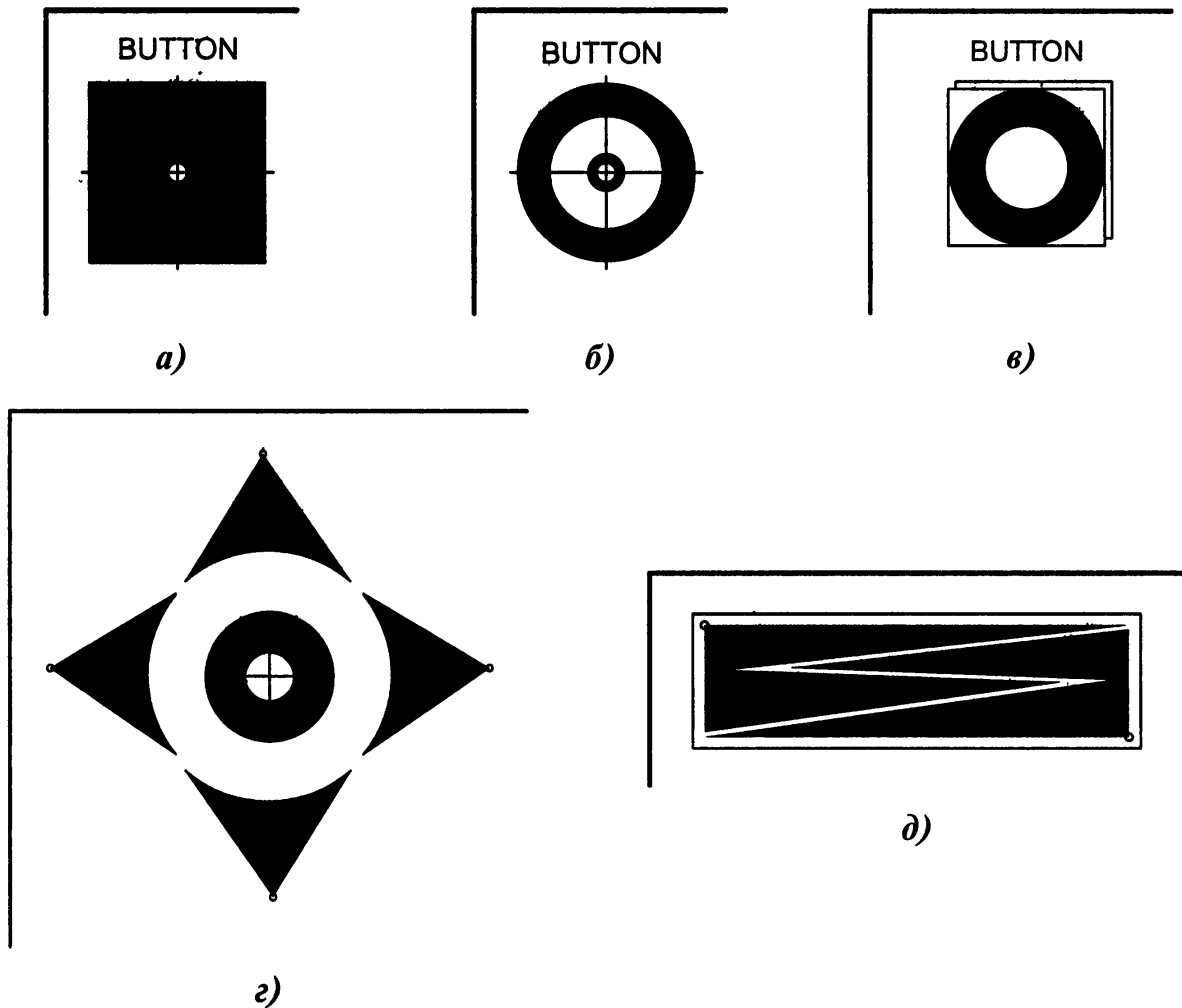


Рис. 13.11. Сенсорные кнопки:

а) стандартная сенсорная площадка с центральным металлизированным отверстием, через которое подводится сигнал от МК. Вносимая ёмкость измеряется программно. Варианты: вместо отверстия сигнал подводится через тонкий проводник с лицевой стороны платы;

б) аналогично Рис. 13.11, а, но с круглой сенсорной площадкой;

в) накладная кнопка выполнена по технологии QTouch [13-8]. МК, ориентированные на QTouch, могут определять близость пальца к площадке (режим бесконтактного управления);

г) аналог кнопочного джойстика в сенсорном варианте. Пять площадок эквивалентны механическим кнопкам с маркировками: «ВВЕРХ», «ВНИЗ», «ВЛЕВО», «ВПРАВО», «ПУСК»;

д) широкая сенсорная кнопка, где нажимать можно практически по всей её длине, «не глядя куда». Этому способствует зигзагообразный диэлектрический разделитель, вытравленный на печатной плате. Факт нажатия на кнопку определяется не по вносимой пальцем ёмкости, а по напряжению переменного сигнала, «просачивающегося» с одной площадки на другую

13.16. Сенсорные слайдеры

Слайдер (англ. *slider*) — это сенсорный элемент управления, рассчитанный на плавное проведение пальцем руки по всей его длине. Если аналогом сенсорной кнопки можно считать одиночный тумблер, то аналог слайдера — это движковый переменный резистор или многопозиционный круговой переключатель (Рис. 13.12, а...г).

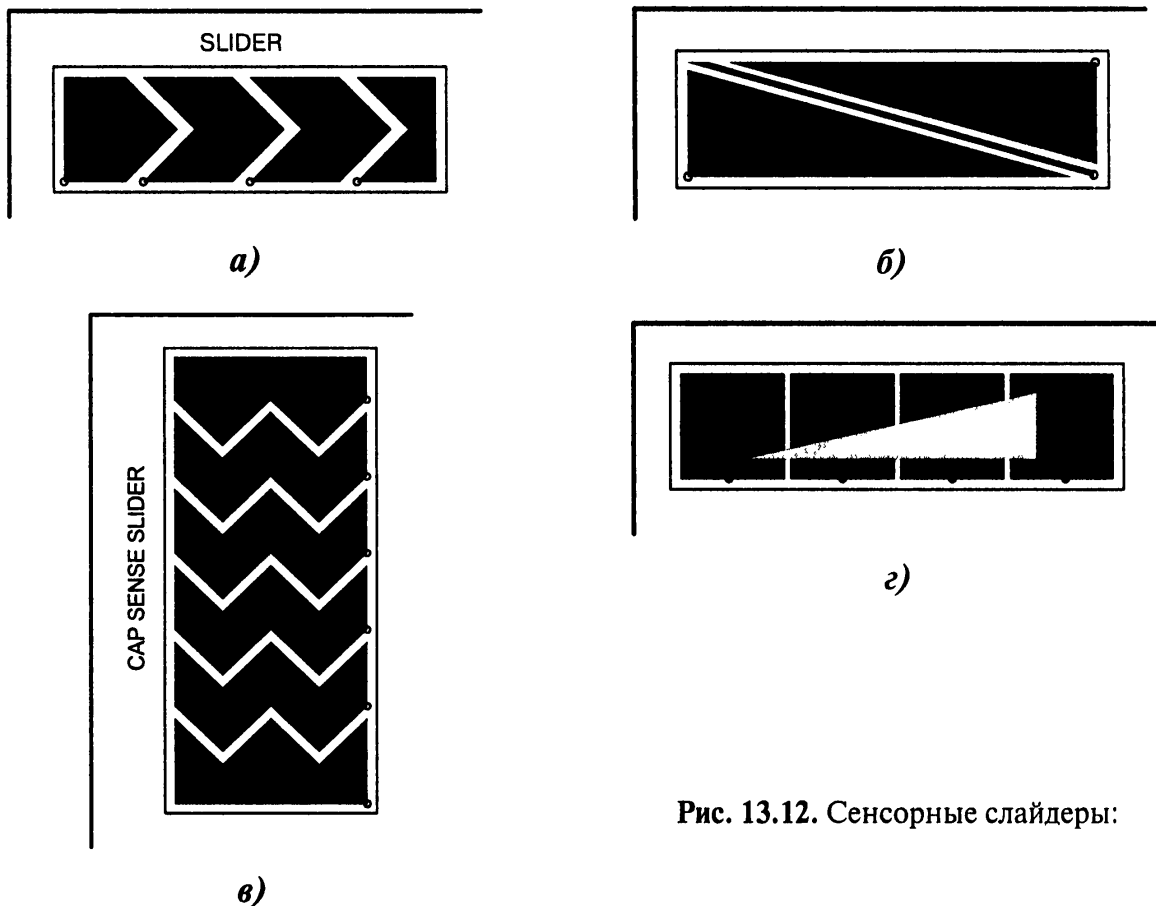


Рис. 13.12. Сенсорные слайдеры:

а) четыре сенсорные площадки размещаются в одну линию близко друг от друга. При движении пальцем слева направо или справа налево сенсоры будут срабатывать в одиночку, а затем парами от двух смежных площадок. Сигналы от сенсоров анализируются в МК, который вычисляет, какие «кнопки» нажаты в данный момент времени и в каком направлении идёт движение;

б) на печатной плате вытравлены три контактные площадки. Две из них широкие треугольные, и одна узкая диагональная. Все контактные площадки подключаются к отдельным линиям МК, который по специальному алгоритму через канал АЦП измеряет ёмкость между нижним и средним, а также между средним и верхним полигонами площадок. При движении пальца руки по слайдеру эти ёмкости будут плавно и пропорционально изменяться;

в) аналогично Рис. 13.12, а, но с другой формой контактных площадок и увеличенным их количеством. Форма повышает достоверность измерения, а большое число площадок увеличивает количество градаций параметра, т. е. плавность регулирования;

г) слайдер состоит из четырёх изолированных друг от друга металлизированных площадок. Пальцем руки вносится ёмкость, причём в разной пропорции к разным площадкам. Возрастающий треугольник серого цвета наносится поверх металлизации краской, обозначая условное направление изменения параметра

13.17. Встроенные дисплеи

Модным трендом последнего времени стало встраивание в отладочные платы дисплеев, в том числе сенсорных. Размещаться они могут в разных местах конструкции (Рис. 13.13, а...г).

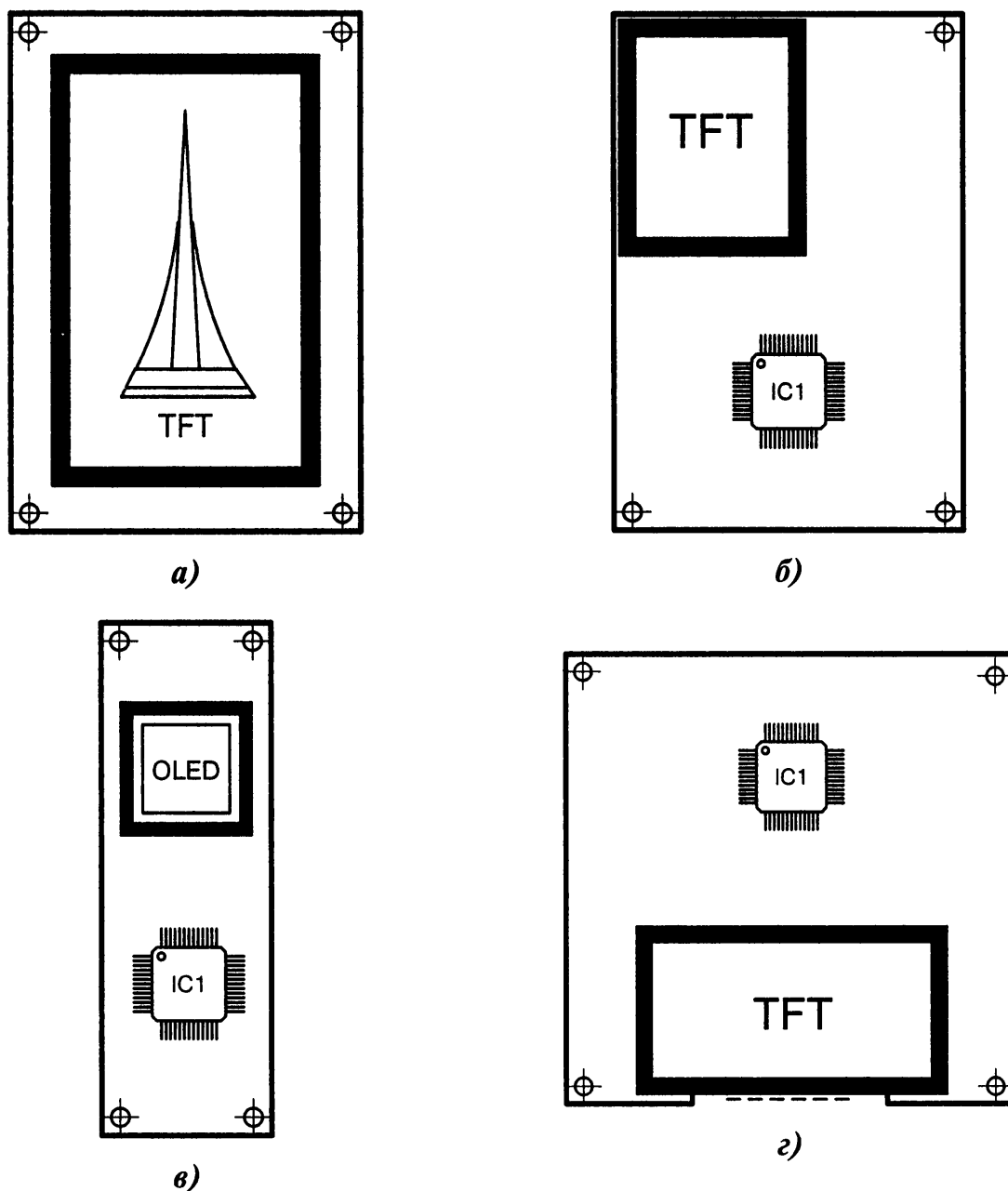


Рис. 13.13. Встроенные в плату дисплеи:

а) TFT-дисплей 320x240 пикселей размещается на оборотной стороне печатной платы. На лицевой стороне находятся ЭРИ и МК;

б) TFT-дисплей с диагональю экрана 1.8 дюйма занимает примерно четвертую часть платы. Дисплей вставляется в отладочную плату подобно шилду, через гребёнку контактов;

в) интеллектуальная OLED-кнопка NKK Switch ISC15ANP4 имеет встроенный экран размером 64x48 точки, на который выводится информация. Сама кнопка обычная, нажимная;

г) гибкий шлейф, соединяющий TFT-дисплей с МК, «прячется» в специальном вырезе, который находится внизу платы. Это позволяет сэкономить место и уберечь от повреждения шлейф

13.18. Элементы индикации

Практически все отладочные платы содержат хотя бы один светодиодный индикатор. Однако лучше, если светодиодов на плате будет несколько, а ещё лучше, если размещаться они будут в упорядоченной форме согласно Рис. 13.14, а...в.

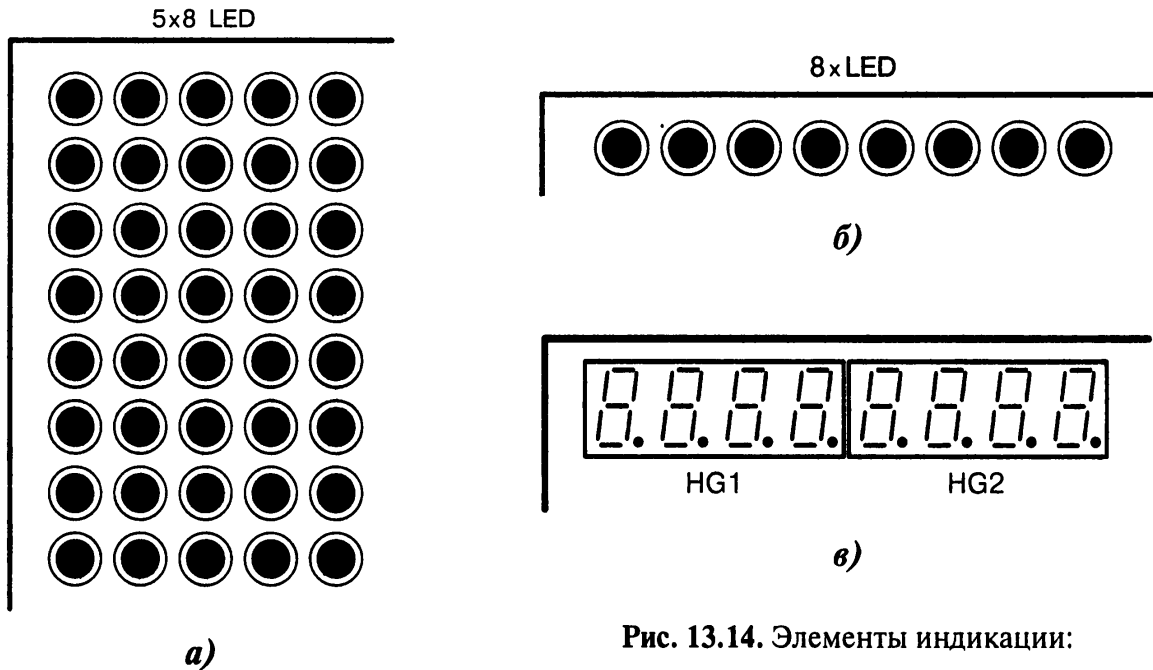


Рис. 13.14. Элементы индикации:

а) на светодиодном панно 5x8 могут индицироваться стандартные цифры, буквы, символы, а также стилизованные графические изображения;

б) линейка из 8 светодиодов может индицировать величину параметра, отображать двоичные сигналы (байт информации), создавать световые эффекты по типу «бегущая единица» и т. д.;

в) два семисегментных светодиодных индикатора *HG1*, *HG2* размещаются вплотную друг к другу, что создаёт впечатление одного длинного 8-разрядного табло. По такому же принципу можно объединять и другие индикаторы, имеющие меньшее/большее количество знакомест

13.19. Групповое расположение кнопок

Одна кнопка — этого мало, а встроить в отладочную плату полноценную клавиатуру — это сложно. Компромиссные варианты показаны на Рис. 13.15, а...в.

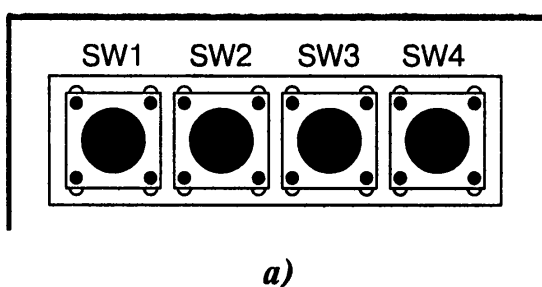
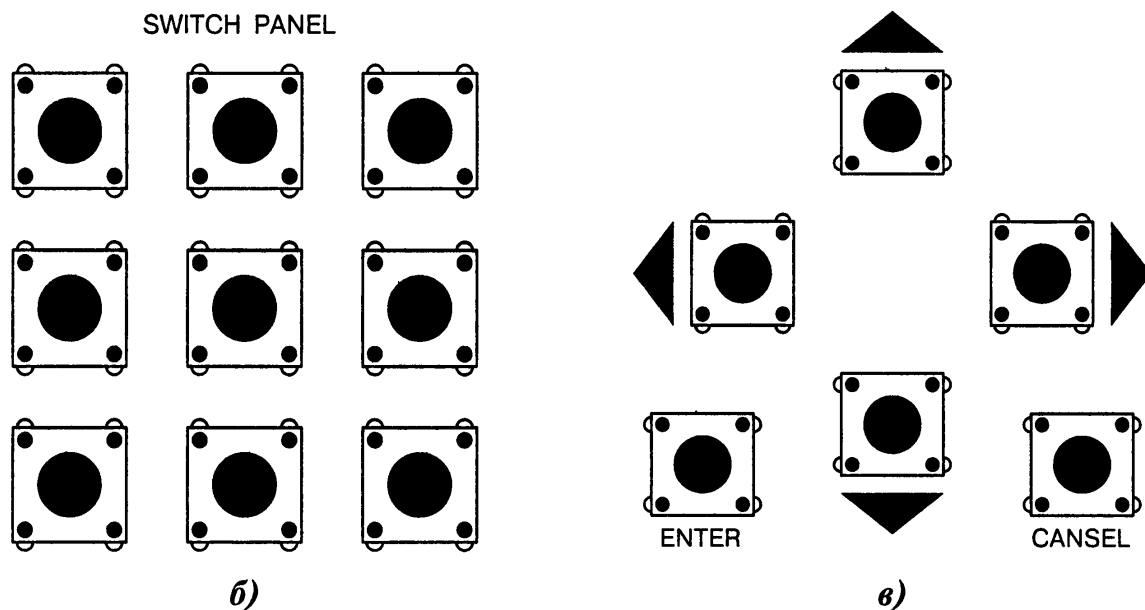


Рис. 13.15. Групповое расположение кнопок (начало):

а) блок, состоящий из четырёх тактовых кнопок *SW1...SW4*, выделяется общей маркировочной обводной линией; ☹



⊖ Рис. 13.15. Групповое расположение кнопок (окончание):

- б) клавиатура состоит из 9 тактовых кнопок, размещённых «квадратно-гнездовым» способом;
 в) четырёхкнопочный джойстик с двумя дополнительными нижними кнопками управления

13.20. Универсальная разводка посадочных мест

Как известно, одна и та же интегральная микросхема может выпускаться в нескольких разных вариантах корпусов: SOIC, TQFP, BGA и т. д. В связи с этим в отладочных платах стараются делать универсальную разводку проводников, чтобы на одном и том же посадочном месте можно было разместить любую имеющуюся под рукой микросхему (Рис. 13.16, а...г).

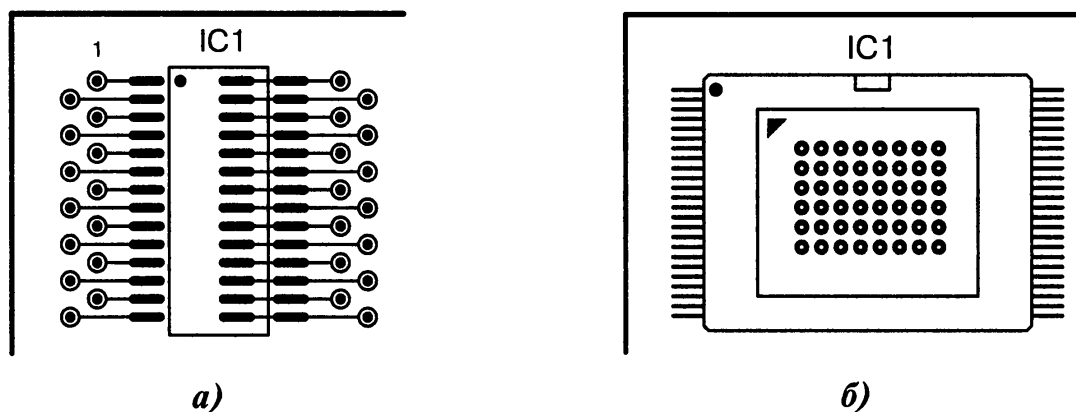
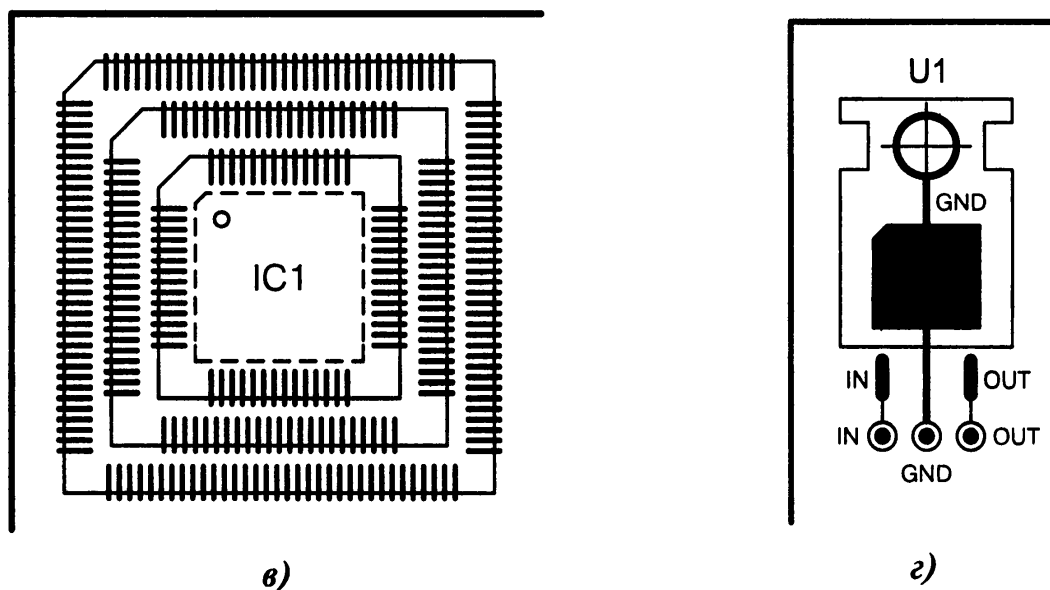


Рис. 13.16. Универсальная разводка посадочных мест (начало):

а) посадочное место под две микросхемы: в узком корпусе SOIC-28 (контакты слева и в центре) и в широком корпусе SOIC-28 (контакты слева и справа). Подобная разводка может применяться для микросхем в узких и широких корпусах SOIC-8...SOIC-32;

б) двойная разводка проводников для микросхемы IC1: под 48-выводной корпус BGA («шарики» 6x8, контакты внутри) и 48-выводной корпус SOIC (две линейки контактов снаружи); ⊖



⊖ Рис. 13.16. Универсальная разводка посадочных мест (окончание):

в) «суперуниверсальный» вариант разводки, позволяющий устанавливать МК в корпусах: TQFP-56 (внутри), TQFP-92 (в середине), TQFP-136 (снаружи). Предполагается, что микросхемы применяются из одного семейства, но с разным количеством доступных линий портов;

г) двойная разводка микросхемы стабилизатора питания: корпус DPAK — запаивается паяльником на центральный металлизированный квадрат и планарные площадки, корпус TO-220 — вертикальная установка в три отверстия или горизонтальная с винтовым креплением и формовкой

13.21. Элементы на краю платы

Некоторые коммутационные (и не только) элементы устанавливаются на плату так, что часть их корпуса находится на краю или даже свисает за краем платы. Причины могут быть разные, но в основном это удобство для пользователя, а также нехватка места на печатной плате (Рис. 13.17, а...к).

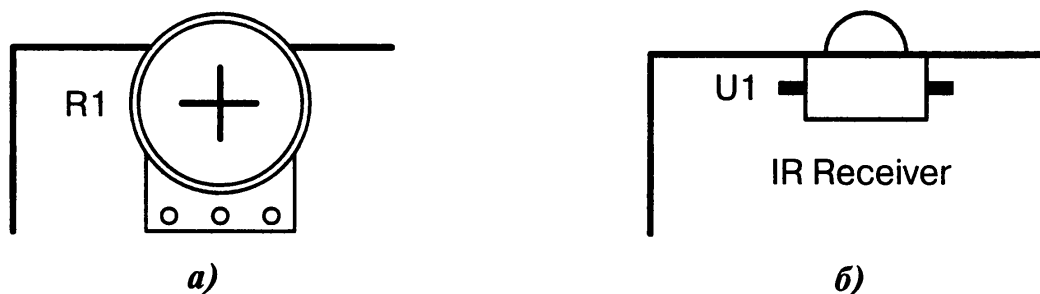


Рис. 13.17. Установка элементов на краю платы (начало):

а) колесо вращения переменного резистора $R1$ выступает за край платы, чтобы удобнее было крутить его рукой. Аналогия — регулятор звука в карманных транзисторных радиоприёмниках, выпускавшихся в СССР в 1960...1980 годах;

б) оптическая линза ИК-приёмника $U1$ полностью выходит за край платы. Это сделано для того, чтобы лучи попадали на приёмник со всех сторон, чтобы не сужался угол обзора; ⊖

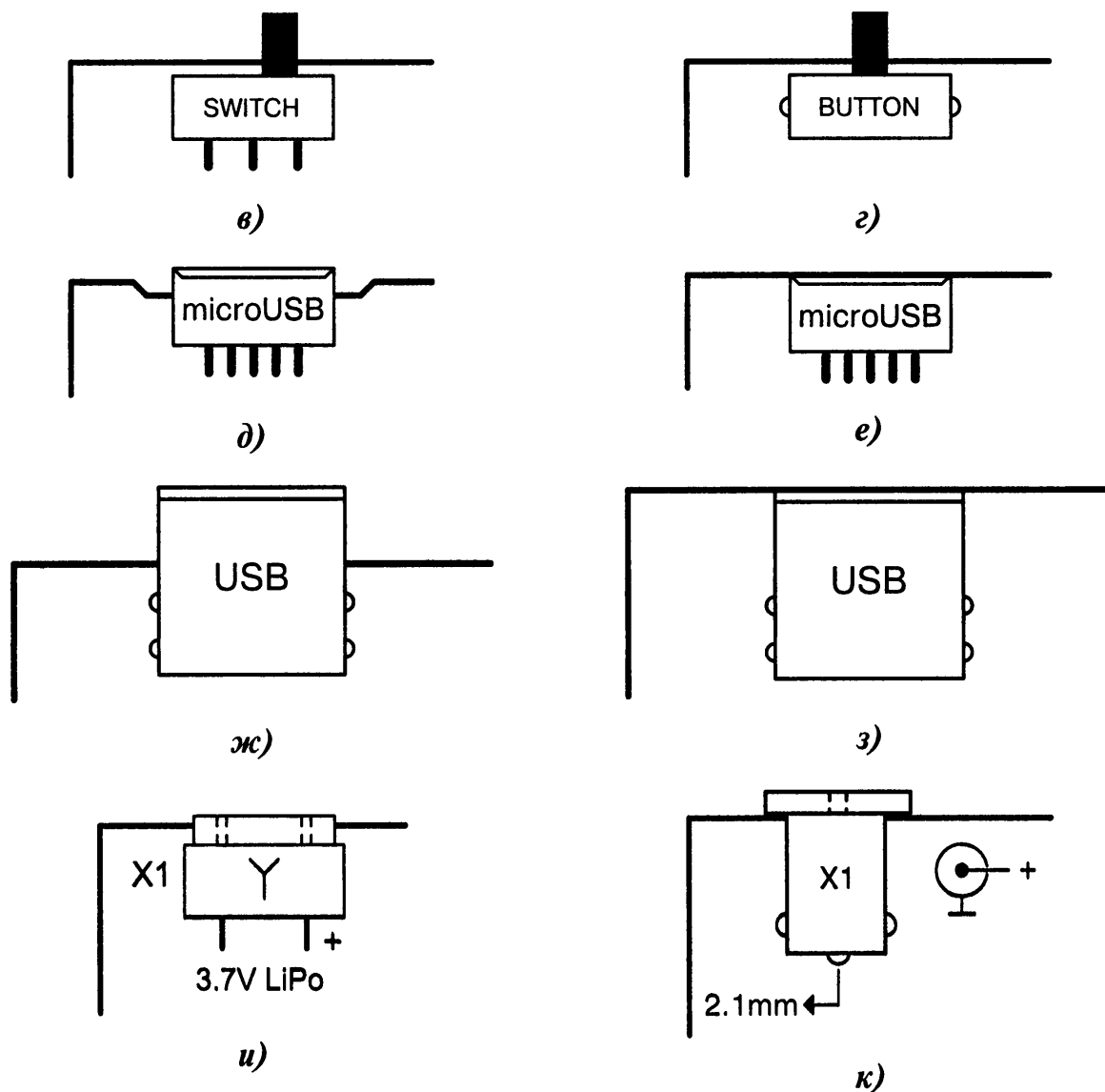


Рис. 13.17. Установка элементов на краю платы (окончание):

- в) движок переключателя питания *SWITCH* легко передвигать пальцем руки;
- г) толкатель тактовой кнопки *BUTTON* удобнее нажимать за пределами платы, а не внутри;
- д) разъём *micro-USB* выступает за край платы, при этом фигурный вырез в центре облегчает процесс установки кабеля в разъём;
- е) разъём *micro-USB* устанавливается заподлицо с краем платы. Это увеличивает жёсткость конструкции;
- ж) аналогично Рис. 13.17, д, но для «большого» *USB*-разъёма. Фигурный вырез не требуется, поскольку сам разъём далеко выступает за край платы;
- з) аналогично Рис. 13.17, е, но для «большого» *USB*-разъёма;
- и) разъём *X1* предназначен для подключения внешнего аккумулятора *Li-Po* с напряжением 3.7 В. Поскольку разъём *X1* угловой, то он для облегчения подстыковки внешнего кабеля размещается возле края платы;
- к) разъём питания *X1* (семейство *DJK-xx*) выступает за габариты отладочной платы, потому что его квадратная лицевая панель по размерам больше, чем диаметр круглого корпуса. Особенность — функционально продуманная маркировка. Она однозначно указывает на то, что диаметр центрального штыря разъёма составляет 2.1 мм (бывает и больше), при этом на него поступает «плюс» (а не «минус») напряжения питания

13.22. Двухвыводные SMD-элементы

Поверхностно-монтажные элементы (англ. SMD) стали стандартом «де-факто» во всех современных отладочных платах. Чаще всего применяются двухвыводные SMD-элементы. Это резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели, предохранители и т. д. Посадочные места для них, несмотря на разные габариты, выглядят одинаково, точнее почти одинаково (Рис. 13.18, а...д).

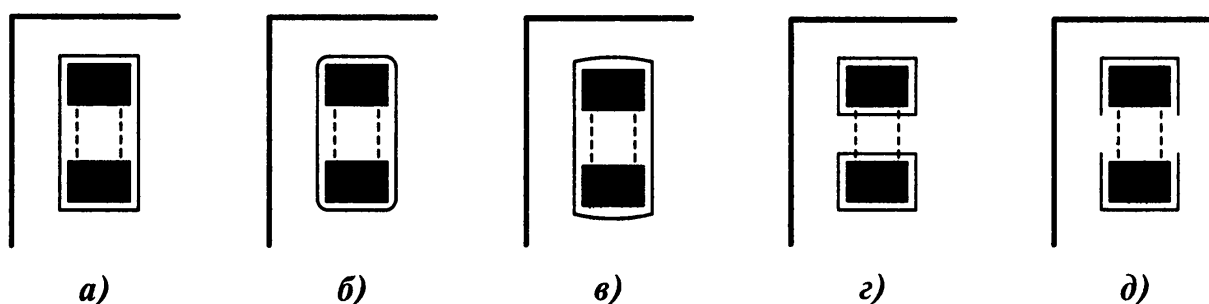


Рис. 13.18. Примеры маркировки двухконтактных посадочных мест:

- а) строгий классический стиль с прямыми углами маркировочного контура;
- б) диагональные скосы по углам добавляют в конструкцию немного шарма;
- в) полукруглые «арки» по бокам свидетельствуют о художественном вкусе разработчика;
- г) каждая из двух площадок имеет свой контур, что визуально «разъединяет» элемент;
- д) незамкнутые контуры вокруг площадок однозначно указывают на место установки ЭРИ

13.23. Маркировка SMD-диодов

SMD-диоды являются обычными диодами, но в корпусе, предназначенном для поверхностного монтажа. Диоды относятся к полярным элементам, поэтому на плате обязательно должен быть тем или иным способом отмечен «ключ». Обычно это анод (англ. «anode»), он же условный «плюс» (Рис. 13.19, а...в). Аналогичная маркировка используется и для двухвыводных стабилитронов, светодиодов.

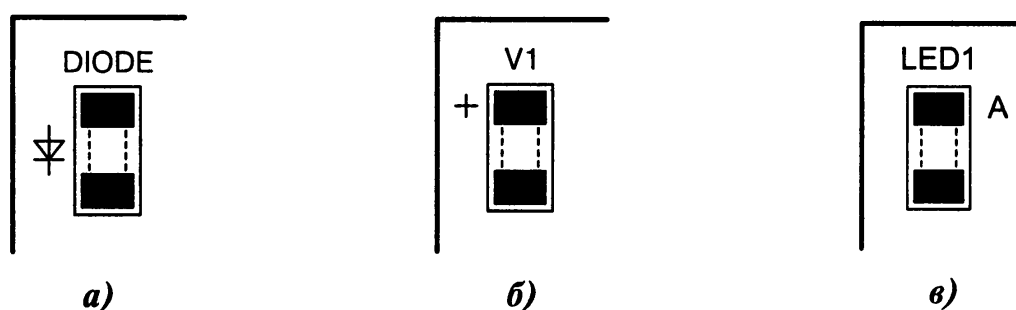


Рис. 13.19. Маркировка SMD-диодов:

- а) наиболее информативная и однозначная маркировка. Используется, если допускает место на плате, а также если производственное оборудование позволяет рисовать мелкие линии;
- б) знаком «плюс» по традиции отмечается анод элемента;
- в) буква «А» ставится возле анода, в данном случае это возле анода светодиода *LED1*

13.24. Маркировка танталовых SMD-конденсаторов

Конденсатор, с точки зрения чистой теории, — это неполярный элемент. Именно так его рисуют в учебниках по физике. Но в любительской практике неполярные керамические SMD-конденсаторы применяются относительно малой ёмкости, не превышающей 10...22 мкФ. Конденсаторы большой ёмкости (сотни микрофард) изготавливают из других материалов и по другой технологии. Как правило, имеются в виду танталовые SMD-конденсаторы (Рис. 13.20, а...г).

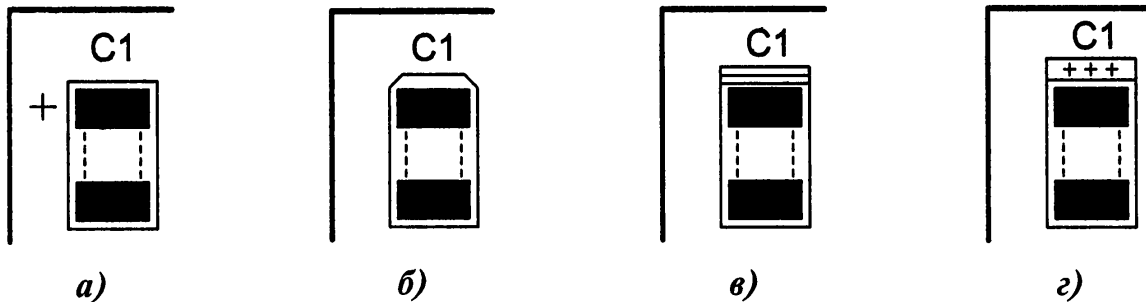


Рис. 13.20. Маркировка полярных танталовых SMD-конденсаторов:

- а) положительный вывод танталового конденсатора маркируется знаком «плюс»;
- б) аналогично Рис. 13.20, а, но «плюс» маркируется двумя скосами вверх;
- в) аналогично Рис. 13.20, а, но «плюс» маркируется дополнительными линиями вверх;
- г) аналогично Рис. 13.20, а, но с маркировкой тройным «плюсом» вверх

13.25. Маркировка столбиковых SMD-конденсаторов

Полярные конденсаторы большой ёмкости, включая 1000 мкФ, применяются столбиковые, электролитические. Они дешевле, чем танталовые в пересчёте на одинаковую ёмкость. Размеры столбиковых конденсаторов могут быть разные, но маркировка полярности у них примерно одинаковая (Рис. 13.21, а, б).



Рис. 13.21. Маркировка столбиковых SMD-конденсаторов:

- а) «минус» у столбиковых электролитических SMD-конденсаторов обозначается чёрной вертикальной полосой по всей длине цилиндрического корпуса. Соответственно, «плюс» находится на противоположной стороне и обозначается скосом (маркировка на плате слева вверх);
- б) аналогично Рис. 13.21, а, но минус обозначается штриховкой внизу

13.26. Маркировка микросхем в SOIC-корпусе

Корпус микросхемы с двухрядным расположением выводов сокращённо называется SOIC (Single Out Integrated Circuit). В таком корпусе в отладочных платах устанавливают цифровые микросхемы средней степени интеграции, а также аналоговые ОУ и другие специализированные микросхемы.

Основная цель маркировки микросхем в корпусе SOIC заключается в том, чтобы обозначить «ключом» первый вывод. Остальные выводы отсчитываются против часовой стрелки по кругу (Рис. 13.22, а...е).

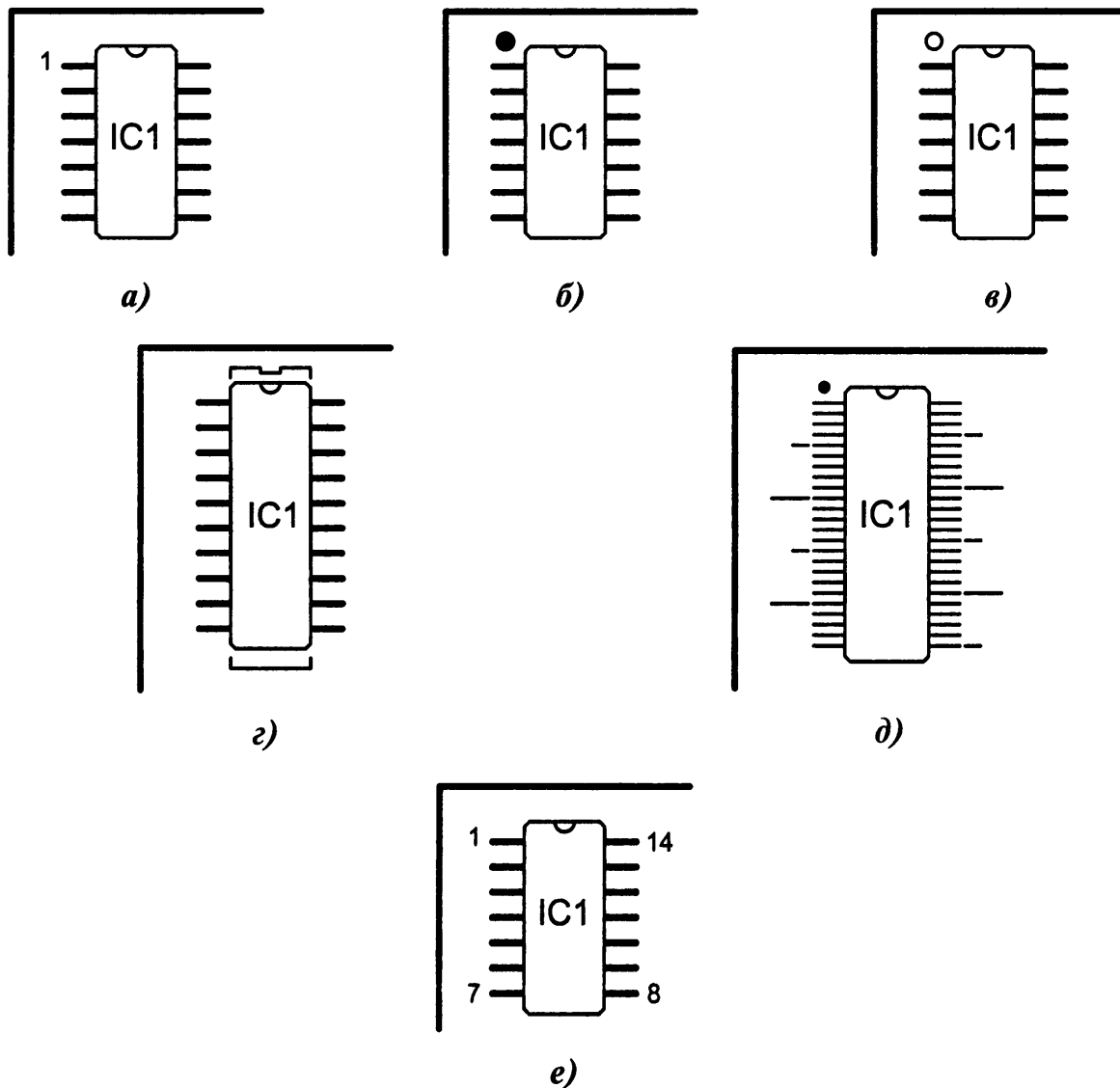


Рис. 13.22. Маркировка микросхем в SOIC-корпусе:

- а) первый вывод микросхемы обозначается цифрой «1»;
- б) первый вывод микросхемы маркируется закрашенной точкой;
- в) первый вывод микросхемы маркируется незакрашенной окружностью;
- г) стилизованное изображение контуров микросхемы с «ключом» первого вывода сверху;
- д) точка вверху слева обозначает первый вывод, а горизонтальные линии по бокам — это выводы с нумерацией, кратной 5 (малые чёрточки) и 10 (большие чёрточки);
- е) цифровая маркировка крайних выводов микросхемы облегчает расчёт нумерации остальных выводов, которые находятся в середине корпуса

13.27. Маркировка микросхем в TQFP-корпусе

Многовыводной квадратный TQFP-корпус обычно имеют МК, БИС и СБИС. Для лучшей наглядности все варианты маркировки будут показаны на примере корпуса TQFP-56 (Рис. 13.23, а...м).

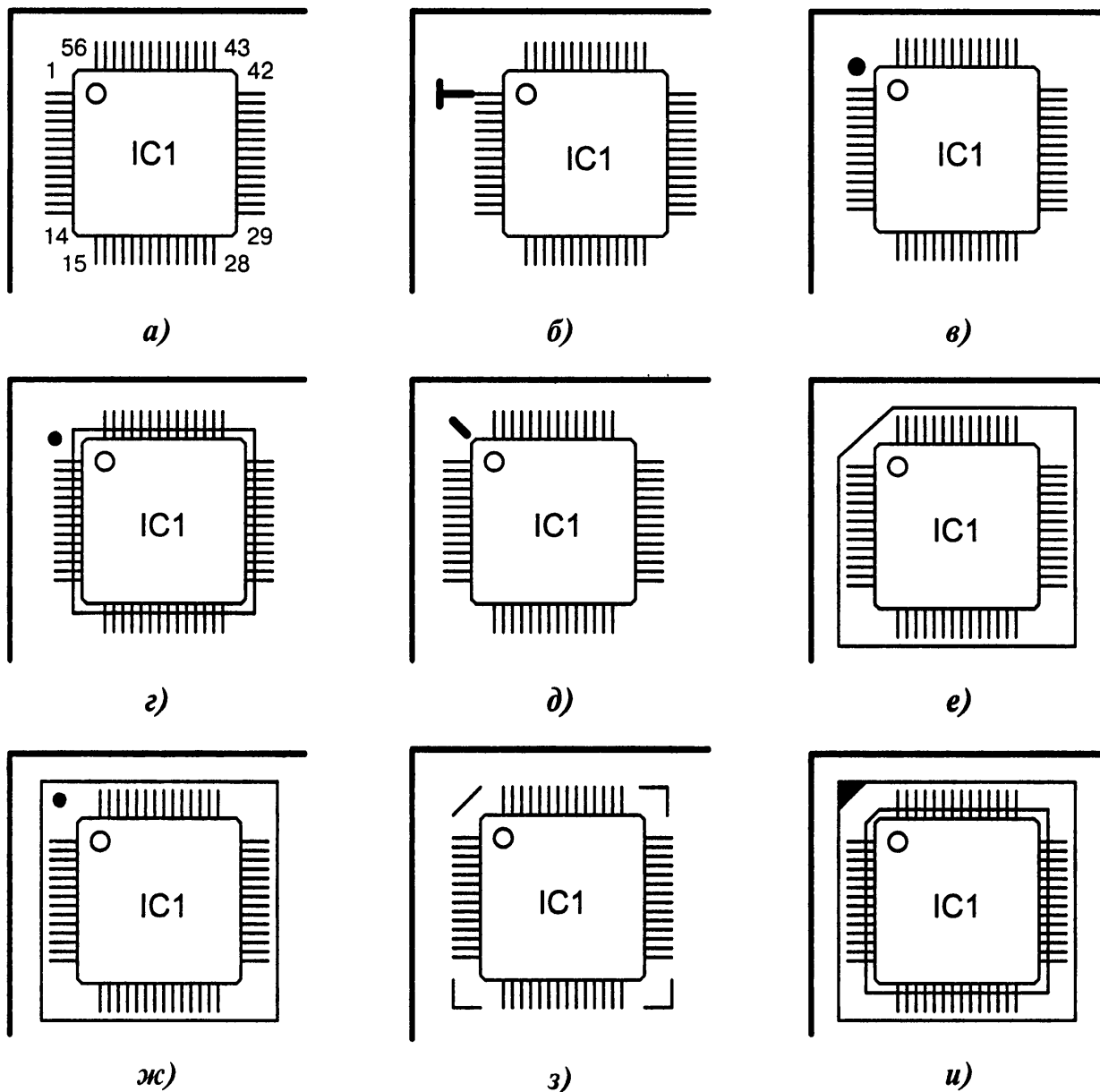


Рис. 13.23. Маркировка микросхем в корпусе TQFP-56 (начало):

- а) цифровая маркировка всех крайних выводов обладает хорошей информативностью;
- б) знак маркировки первого вывода микросхемы слева вверху чем-то напоминает ключ;
- в) первый вывод маркируется закрашенной точкой;
- г) аналогично Рис. 13.23, в, но с маркировкой квадрата посадочного места микросхемы;
- д) первый вывод маркируется диагональной линией слева вверху;
- е) контур посадочного места микросхемы имеет скос, который указывает на первый вывод;
- ж) аналогично Рис. 13.23, г, но с внешним, а не внутренним контуром микросхемы;
- з) первый вывод микросхемы маркируется скосом слева вверху;
- и) два контура маркировки корпуса микросхемы: внутренний (скос) и внешний (скос); ➔

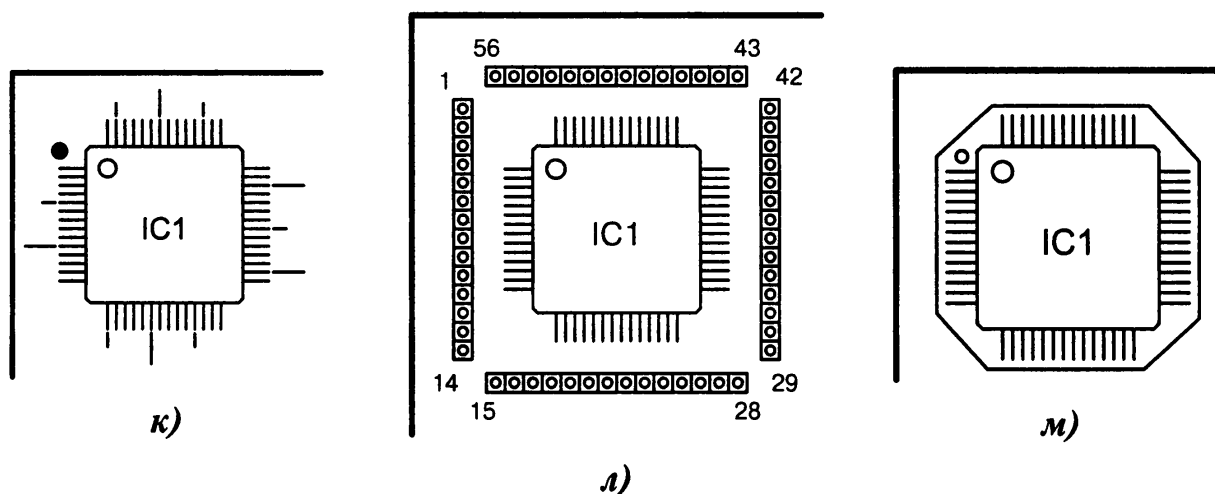


Рис. 13.23. Маркировка микросхем в корпусе TQFP-56 (окончание):

- к) точка сверху слева обозначает первый вывод, а короткие и длинные чёрточки обозначают каждый пятый и десятый выводы. Нумерация идёт сквозная, против часовой стрелки;
- л) все выводы *IC1* электрически соединяются с пронумерованными контактными отверстиями по периметру. Это облегчает просмотр сигналов на выводах микросхемы осциллографом;
- м) условный контур вокруг микросхемы показывает место, которое не следует занимать другими радиоэлементами. Первый вывод маркируется незакрашенной окружностью

13.28. Маркировка штыревых разъёмов

Штыревые разъёмы в отладочных платах используются для подключения кабелей и шилдов. На схемах они обозначаются по-разному, но для удобства сравнения пусть это будет *CNx*. Главной задачей маркировки штыревых разъёмов является идентификация первого контакта (Рис. 13.24, а...ф).

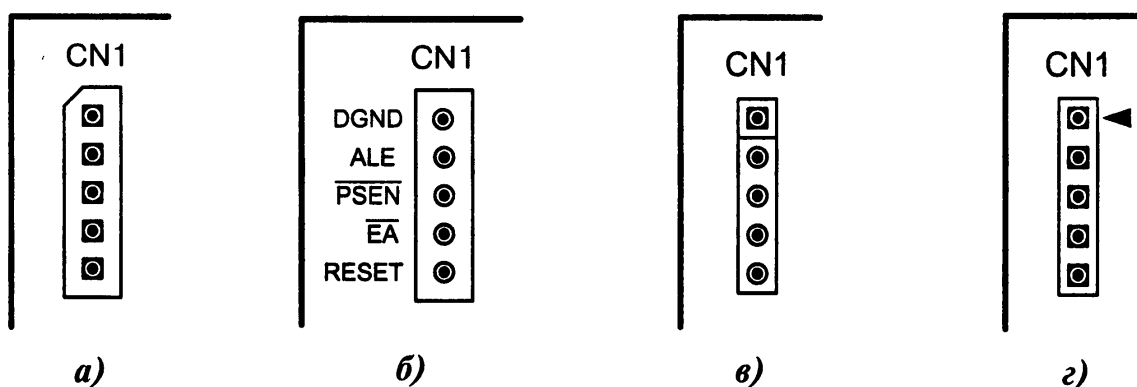
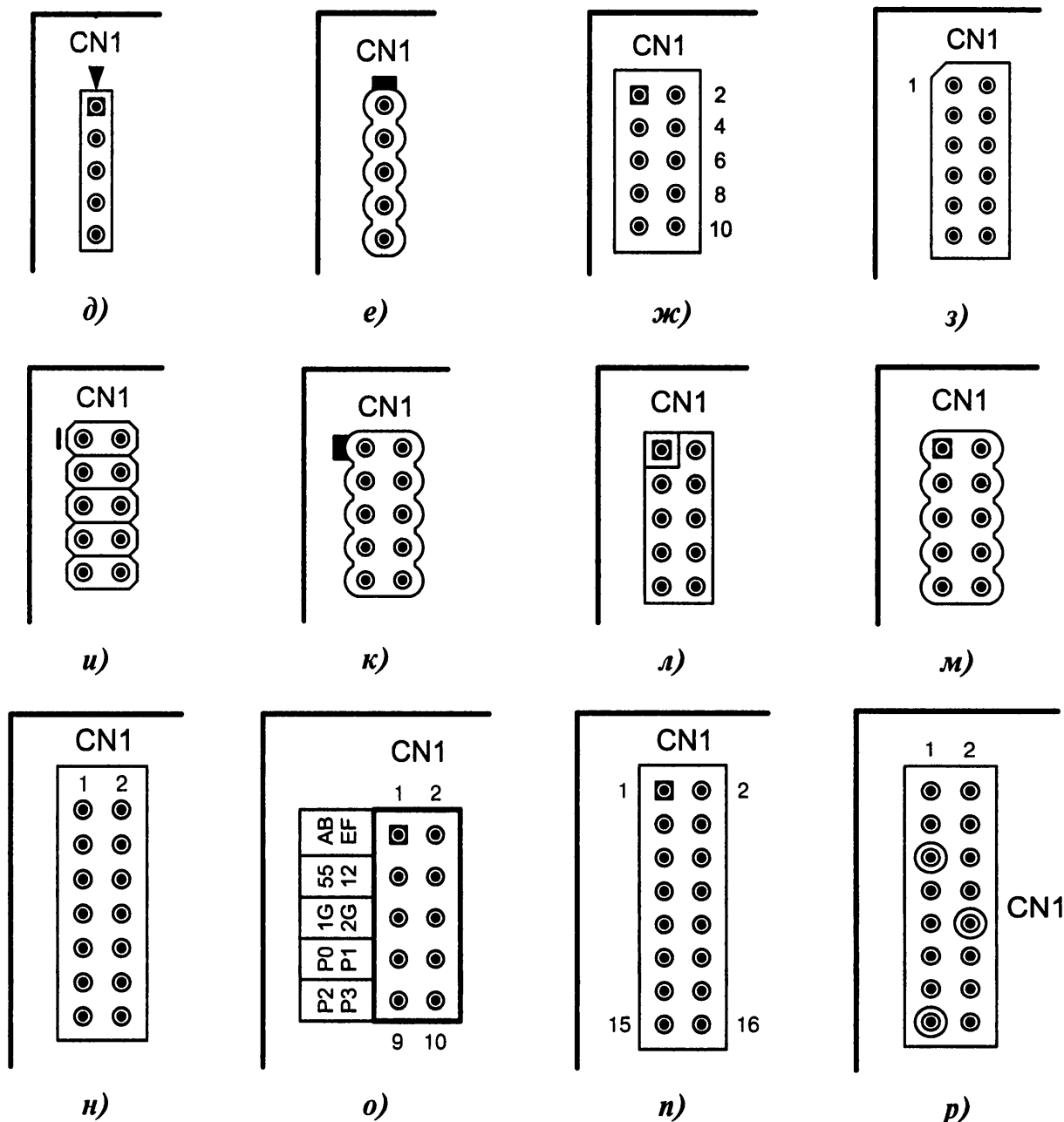


Рис. 13.24. Маркировка штыревых разъёмов (начало):

- а) первый контакт разъёма маркируется скосом слева сверху;
- б) первый контакт разъёма в явном виде не маркируется, но его легко определить по схеме через названия сигналов, которые приводятся с левой стороны;
- в) первый контакт разъёма выделяется квадратной (а не круглой) площадкой;
- г) первый контакт разъёма маркируется треугольником, который будет хорошо виден после запайки разъёма в плату; ☹



○ Рис. 13.24. Маркировка штыревых разъемов (продолжение):

- д) аналогично Рис. 13.24, г, но с «перстом» в виде треугольника сверху;
- е) форма боковых направляющих маркировки повторяет контуры разъема *CN1*;
- ж) за исключением свободного места маркируются только контакты чётного ряда разъёма;
- з) первый контакт двухрядного разъёма *CN1* маркируется скосом и цифрой. Нумерация идёт сверху вниз следующим образом: левый ряд — нечётные, правый ряд — чётные контакты;
- и) особенность — фигурная форма боковых направляющих и черта возле первого контакта;
- к) аналогично Рис. 13.24, и, но с упрощённой графикой и более жирной меткой;
- л) первый контакт выделяется квадратной площадкой и двумя линиями отчёркивания;
- м) аналогично Рис. 13.24, к, но с квадратной площадкой первого контакта;
- н) цифровая маркировка начала нечётного («1») и чётного («2») вертикальных рядов;
- о) цифровая маркировка контактов «1»...«10» и цифробуквенная маркировка сигналов;
- п) круговая маркировка контактов облегчает расчёт нумерации в середине разъёма;
- р) маркировка контактов с номерами «5», «10», «15» внешней окружностью; ○

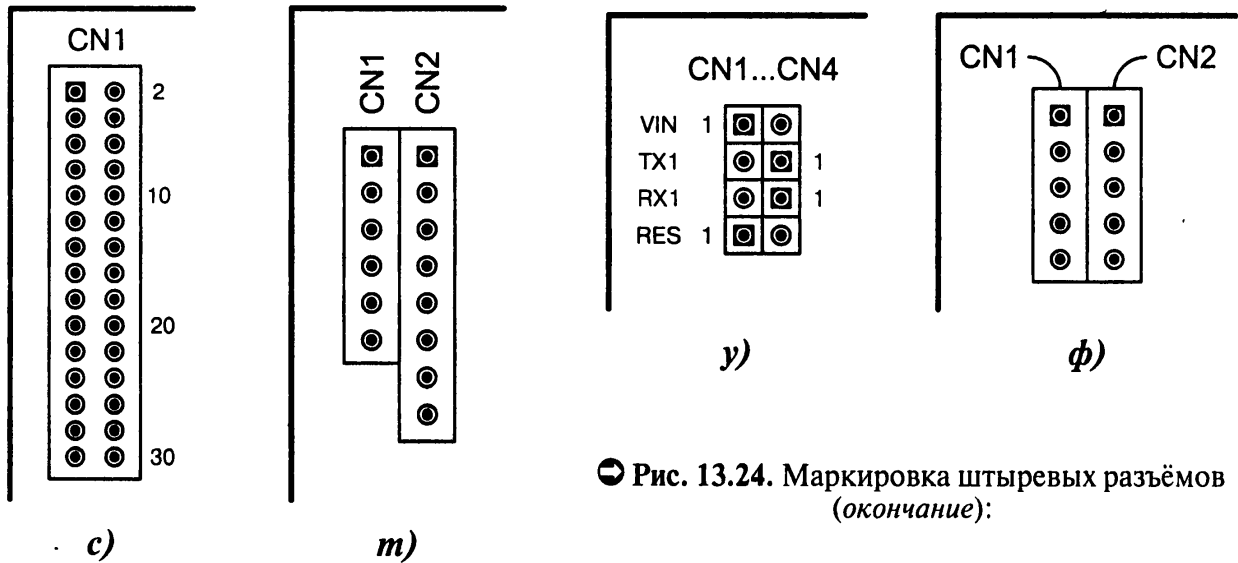


Рис. 13.24. Маркировка штыревых разъёмов (окончание):

- с) разъёмы с большим количеством контактов для удобства маркируют по десяткам;
 т) два близлежащих разъёма имеют каждый свою маркировку первого контакта;
 у) это не один, не два, а четыре отдельных двухконтактных горизонтальных разъёма, объединённых в группу. Каждый из разъёмов имеет свою маркировку первого контакта цифрой «1»;
 ф) фигурные линии указывают на первые контакты разъёмов *CN1*, *CN2*

13.29. Выносной разъём USB

В компьютерах на материнских платах имеются штыревые разъёмы, к которым подключаются короткие переходные кабели для тракта USB. Они соединяют материнскую плату с выносными USB-разъёмами, жёстко закреплёнными на внешней планке корпуса компьютера. Кабель на сленге называют «выкидышем».

Такие же кабели и разъёмы можно использовать в отладочных платах. Для выносных USB-разъёмов предусматриваются специальные контактные отверстия, в которые запаиваются штыри или соединительные провода от переходного кабеля. Возле отверстий наносится маркировка сигналов (Рис. 13.25, а...г).

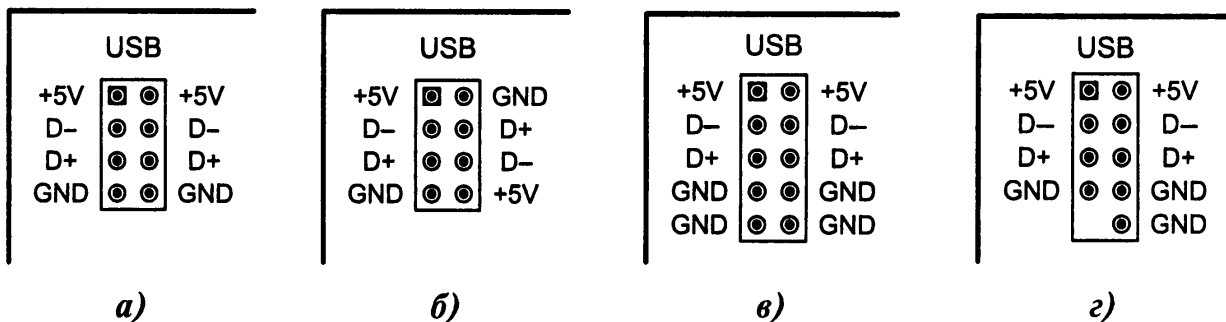


Рис. 13.25. Выносные разъёмы USB:

- а) симметричная разводка левой и правой частей. Контакты запараллелены по горизонтали,
 б) диагональная разводка левой и правой частей. Контакты соединяются «крестом»;
 в) вдвоенные пары контактов *GND* используются для упрочнения «массы»;
 г) отсутствие одного из контактов является «ключом» для правильной ориентации кабеля

13.30. Топология цепей питания

Возле каждого МК, каждой цифровой и аналоговой микросхемы обязательно должен ставиться по питанию хотя бы один блокировочный конденсатор. Лучше, если их будет несколько, ещё лучше — разной ёмкости.

В современных МК, БИС, СБИС применяются многовыводные корпуса с несколькими парами цепей питания. Общая рекомендация — возле каждой близлежащей пары выводов VCC и GND необходимо ставить один керамический конденсатор ёмкостью 0.1 мкФ. Печатные проводники от конденсатора к микросхеме должны быть минимальной длины.

С целью повышения эффективности блокировки помех следует учитывать взаимное расположение точек подвода питания и «земли». Базовый постулат — цепи питания и «массы» сначала должны подходить к обкладкам конденсатора, а уже потом к выводам микросхемы [13-9]. В такой системе координат топологию проводников можно разделить на нереконструируемую (Рис. 13.26, а...д) и рекомендуемую (Рис. 13.26, е).

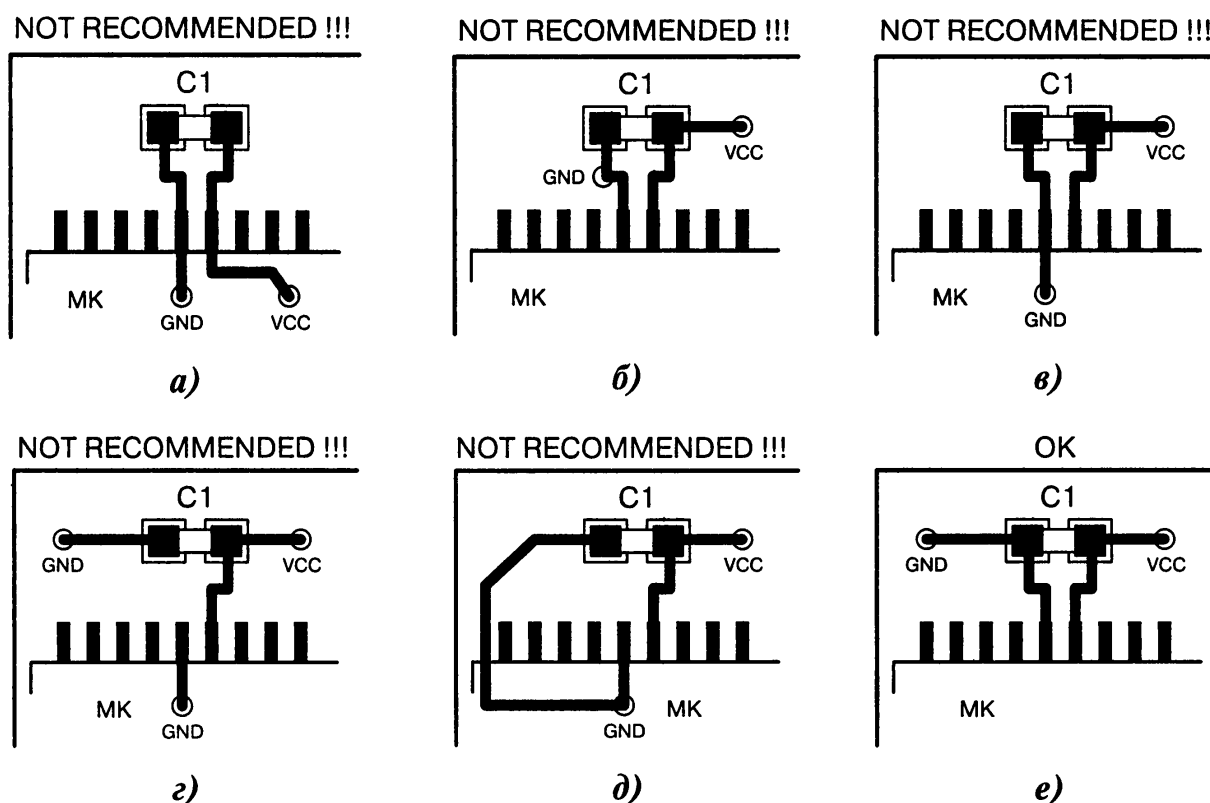


Рис. 13.26. Топология цепей питания:

- а) худший вариант фильтрации, когда конденсатор $C1$ находится далеко от VCC и GND ;
- б) цепь VCC разведена правильно, однако точка GND «отключает» конденсатор от МК;
- в) низкая эффективность фильтрации по общему проводу GND ;
- г) две «земляные» контактные площадки GND соединяются проводником на оборотной стороне платы, что уменьшает фильтрующие свойства конденсатора $C1$;
- д) аналогично Рис. 13.26, г, но с соединением общего провода по лицевой стороне платы;
- е) максимально эффективная (рекомендуемая) топология разводки питания, когда выводы МК подключаются исключительно к обкладкам конденсатора $C1$

13.31. Джамперные соединители

Джампер (англ. *jumper*) — это перемычка, позволяющая замыканием контактов соединить электрическую цепь, обычно слаботочную. Джамперы бывают корпусные и бескорпусные (Рис. 13.27, а...к). Первые из них имеют пластмассовый корпус и ставятся на штыри типа PLS. Вторые — выполнены проводниками на печатной плате. Замыкаются они припоем, размыкаются паяльником.

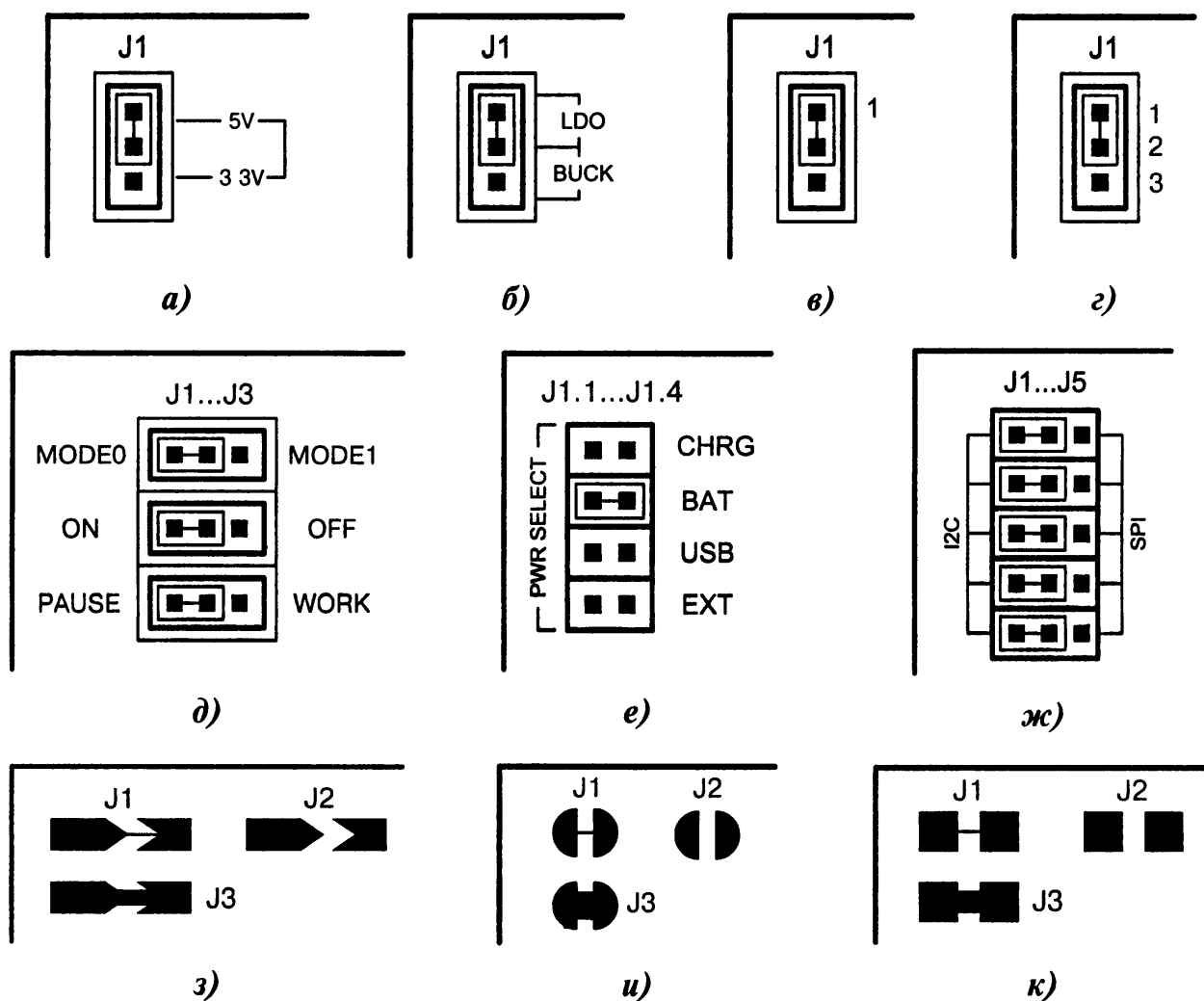


Рис. 13.27. Маркировка и конфигурация джамперных соединителей:

- а) джампер замыкает контакты соединителя *J1* и переключает питание +5 В или +3.3 В;
- б) джампером переключаются режимы работы устройства: вверху «LDO», внизу «BUCK»;
- в) первый контакт джамперного соединителя *J1* маркируется цифрой «1»;
- г) полная маркировка всех контактов джамперного соединителя *J1*;
- д) группа из трёх независимых джамперных соединителей *J1...J3*;
- е) джампер ставится на один из контактов многосекционного соединителя *J1*. Таким способом выбирается один из четырёх источников питания, в данном случае это батарея *BAT*;
- ж) групповое размещение соединителей *J1...J5* «стык в стык». Пять джамперов должны пере-
ставляться синхронно: замыкание слева — режим «I²C», замыкание справа — режим «SPI»;
- з) топология бескорпусных печатных джамперов: *J1*, *J3* замкнуты, *J2* разомкнут;
- и) аналогично Рис. 13.27, з, но с полукруглой формой контактов;
- к) аналогично Рис. 13.27, з, но с квадратной формой контактов

13.32. Кварцевые резонаторы

Кварцевый резонатор (на любительском жаргоне «кварц») является важным элементом любой процессорной системы. Кварцевые резонаторы применительно к МК делятся на низко- и высокочастотные. Особенности их маркировки, подключения и расположения показаны на Рис. 13.28, а...д.

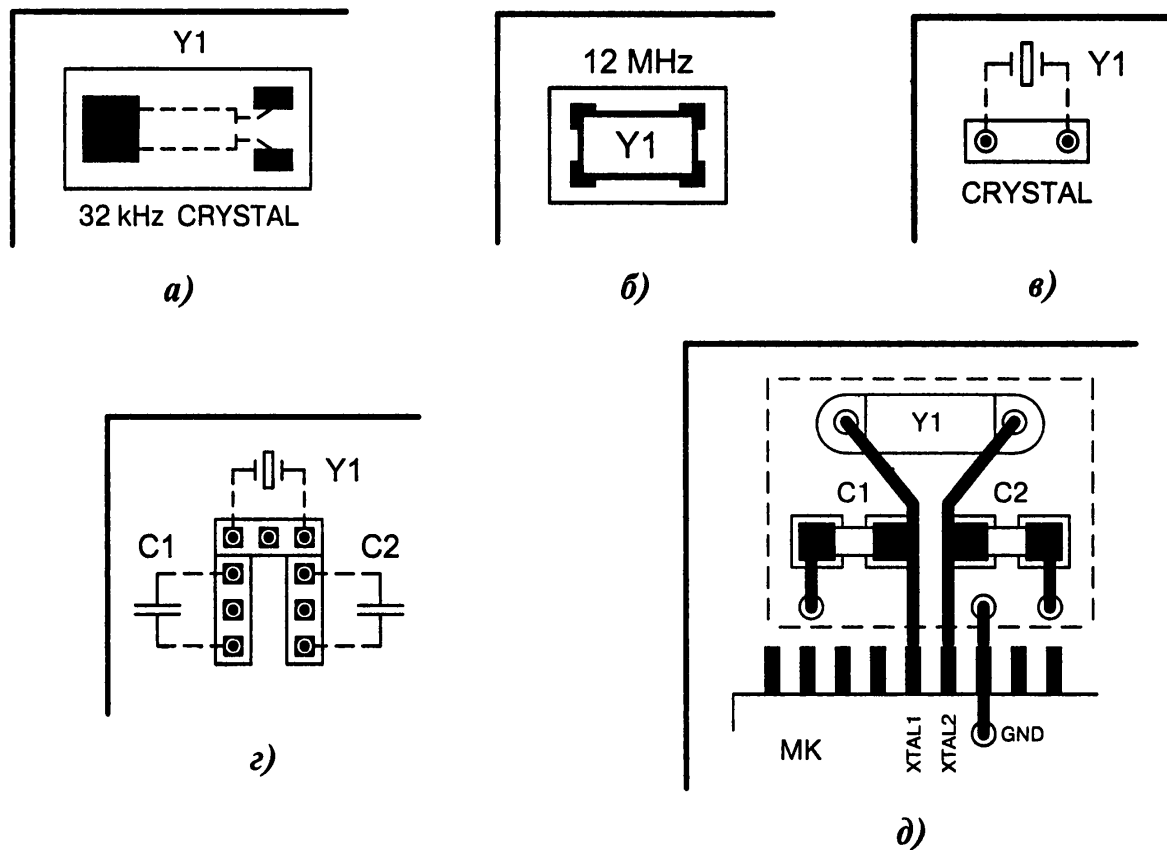


Рис. 13.28. Маркировка и конфигурация кварцевых резонаторов:

а) корпус «часового» низкочастотного кварцевого резонатора распаивается на «земляную» контактную площадку слева, а его выводы — на две контактные площадки справа. В маркировке содержится округлённая частота резонатора 32 кГц, но на самом деле это 32768 Гц;

б) если в системе несколько кварцевых резонаторов, то не мешает их отдельная маркировка по частоте генерации. Варианты: «16М» (16 МГц), «32768 Hz» (32768 Гц);

в) двухконтактная розетка используется для оперативной замены кварцевых резонаторов разной частоты. Разъём применяется цанговый, чтобы обеспечить жёсткость соединения;

г) на плате установлены три трёхвыводных разъёма буквой «П». Сверху к ним подключается съёмный шилд, содержащий один кварцевый резонатор *Y1* и два согласующих конденсатора *C1*, *C2*, включённых по типовой схеме соединения. Достоинство — оперативное изменение тактовой частоты МК путём замены одного шилда другим, с другой частотой кварцевого резонатора;

д) рекомендуемая разводка подключения кварцевого резонатора *Y1* с двумя керамическими конденсаторами *C1*, *C2* к МК. Основная «земля» устройства соединяется с выводом *GND* МК через нижнее отверстие. Три верхних «земляных» контактных отверстия электрически соединяются между собой медным полигоном на оборотной стороне печатной платы (границы полигона отмечены пунктиром). Достоинство — высокая помехоустойчивость, низкое излучение гармоник и хорошие условия для начального запуска генератора на своей частоте

13.33. Графика под элементами

Иногда маркировочная графика находится не снаружи ЭРИ, а внутри его посадочного места. Это облегчает идентификацию элементов при монтаже, но затрудняет поиск при ремонте, поскольку рисунков видно не будет (Рис. 13.29, а...и).

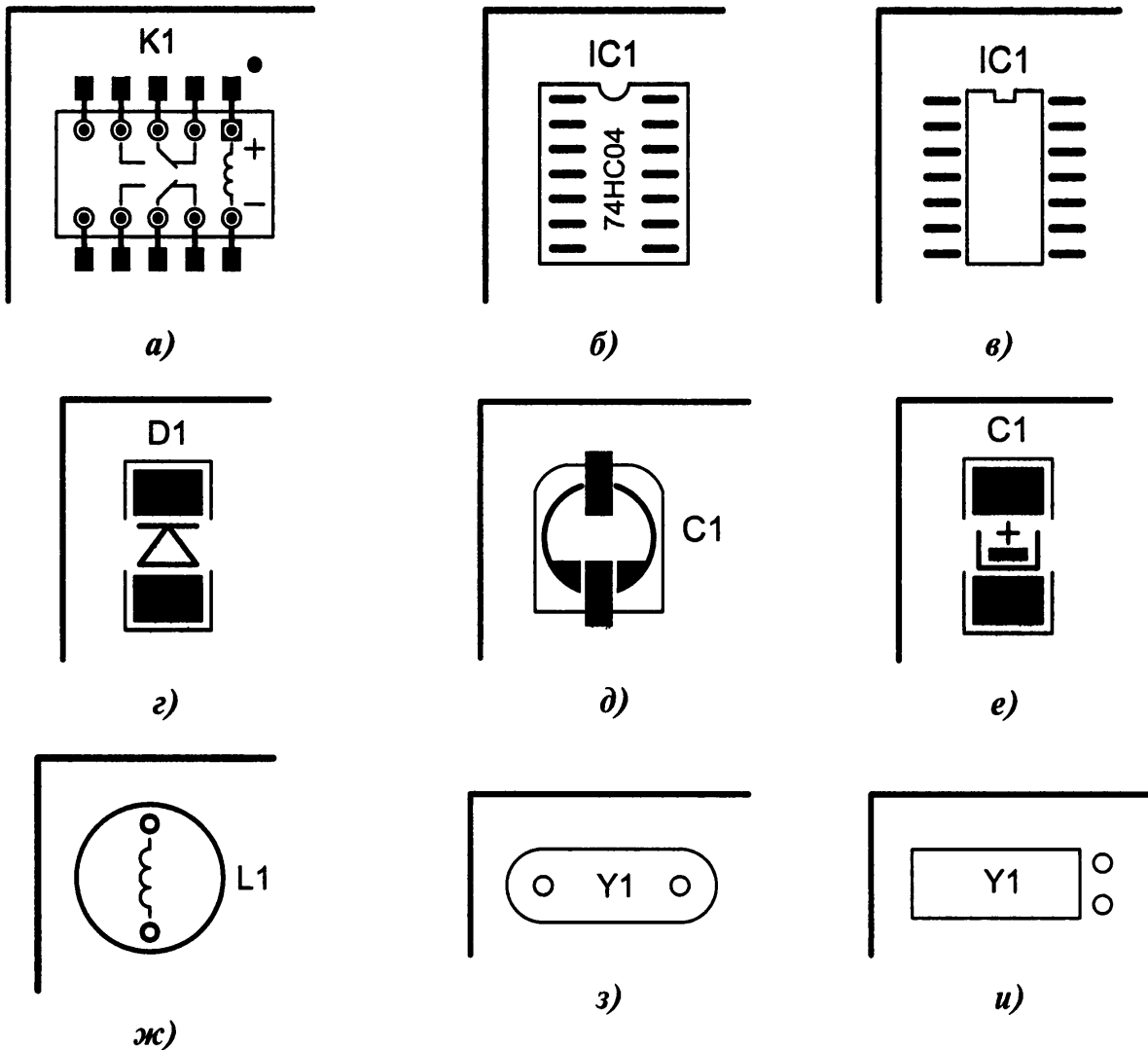


Рис. 13.29. Графика на плате, скрытая корпусами элементов:

- а) реле *K1* устанавливается сверху, поэтому схема электрических соединений закрывается его DIP-корпусом. Установить реле с обратной стороны платы нельзя, поскольку первый и последний контакты поменяются местами и «плюс» обмотки станет «минусом»;
- б) при установке микросхемы *IC1* на плату её наименование 74HC04 будет закрыто;
- в) «ключ» первого вывода корпуса микросхемы *IC1* будет закрыт при её установке;
- г) правильную полярность выводов диода *D1* видит только монтажник в цехе;
- д) нижний тёмный сегмент конденсатора *C1* означает его минусовую обкладку. После установки конденсатора на плату сегмент будет закрыт, но полукруглый «ключ» вверху останется;
- е) аналогично Рис. 13.29, д, но без видимого «ключа» маркировки полярности;
- ж) установка столбикового дросселя *L1* на плату закрывает изображение индуктивности;
- з) порядковое обозначение на схеме кварцевого резонатора *Y1* будет скрыто его корпусом;
- и) аналогично Рис. 13.29, з, но для цилиндрического кварцевого резонатора *Y1*

13.34. Групповая маркировка ЭРИ

ЭРИ, которые размещаются близко друг от друга, должны иметь маркировку, исключающую неоднозначность их местоопределения (Рис. 13.30, а...м).

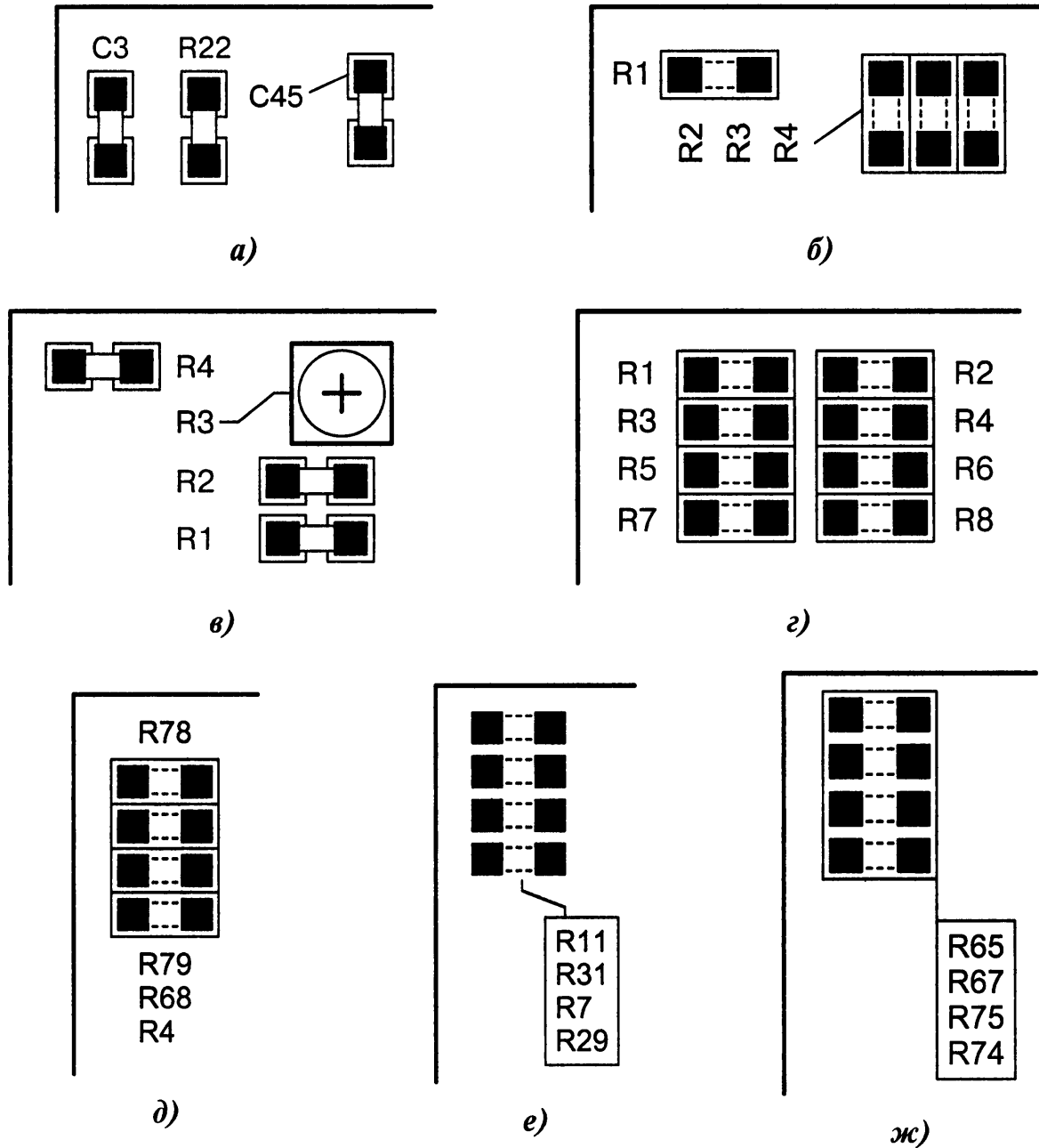
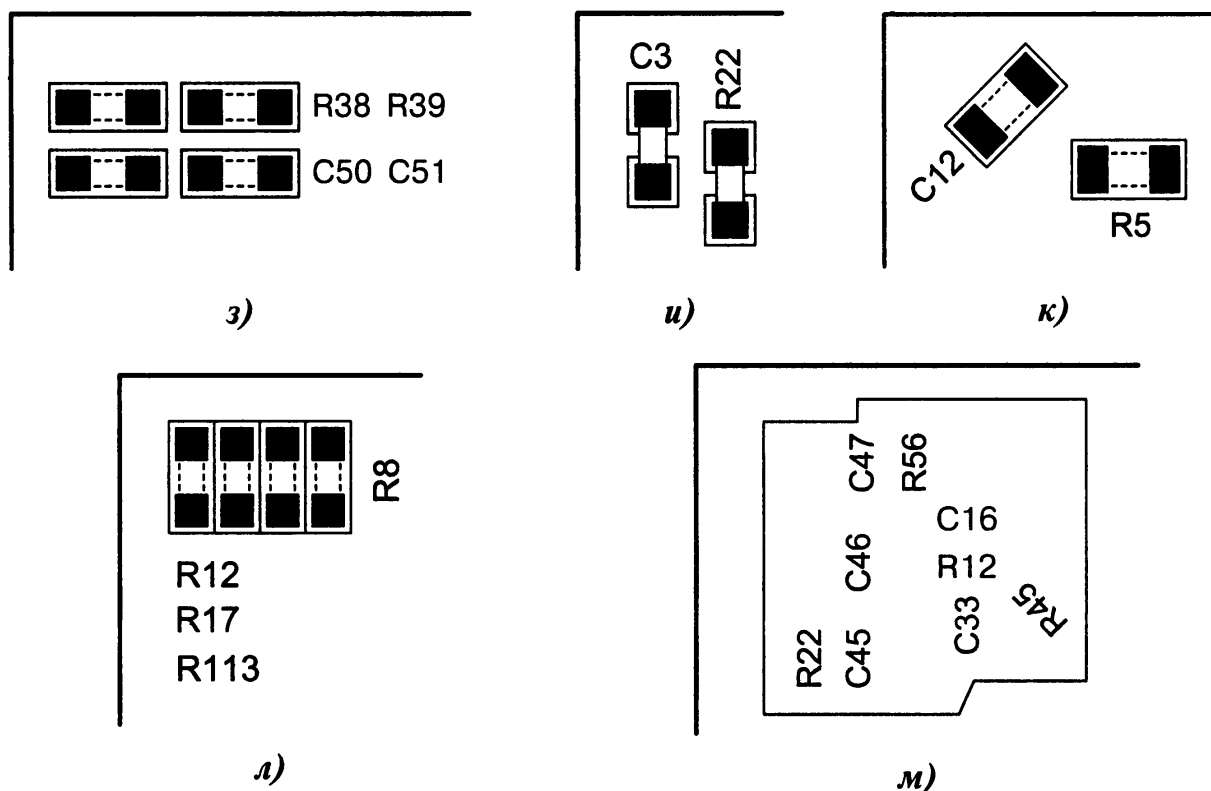


Рис. 13.30. Групповая маркировка ЭРИ (начало):

- а) ссылочная линия, отходящая от конденсатора $C45$, однозначно указывает на элемент;
- б) повёрнутое расположение резисторов $R2...R4$ и ссылочная линия указывают на то, что первый слева резистор — это $R2$, затем $R3$, потом $R4$;
- в) особенность — изогнутая ссылочная линия, указывающая на резистор $R3$;
- г) однозначная маркировка SMD-резисторов $R1...R8$;
- д) маркировка резисторов разбита на две части (снизу вверх): $R4$, $R68$, $R79$, $R78$;
- е) маркировка резисторов вынесена в сторону (снизу вверх): $R29$, $R7$, $R31$, $R11$;
- ж) аналогично Рис. 13.30, е, но с окантовкой группы резисторов тонкой линией; ☹



⊙ Рис. 13.30. Групповая маркировка ЭРИ (окончание):

з) верхний ряд резисторов (слева направо): $R38$, $R39$. Нижний ряд конденсаторов (слева направо): $C50$, $C51$;

и) маркировка элементов $C3$ и $R22$ выполнена перпендикулярно для устранения неоднозначности местоопределения. Если разместить надпись « $R22$ » горизонтально, то при близком расстоянии между ЭРИ может появиться путаница, к какому из элементов относится маркировка;

к) если конденсатор $C12$ на печатной плате повернут на определённый угол, то желательно, чтобы и маркировка его надписи располагалась под наклоном;

л) разбивка общей групповой маркировки ЭРИ на две части. Нетрудно догадаться, что расположение резисторов (слева направо): $R12$, $R17$, $R113$, $R8$;

м) изогнутым контуром ограничивается место, к которому относятся перечисленные внутри ЭРИ. Тонкость в том, что сами элементы (SMD-резисторы и SMD-конденсаторы) физически размещаются на оборотной стороне печатной платы

13.35. Текстовые пояснения на платах

Маркировка, наносимая на плату, в первую очередь относится к порядковой нумерации элементов согласно электрической схеме, например: $R1$, $C15$, $U7$, $X1$. Однако на платах часто встречаются и дополнительные текстовые надписи, которые дают пояснительную информацию о назначении элементов и выполняемых функциях. Варианты: «FRAM», «POWER», «TRACE», «RFID», «USB», «RESET», «GPIO», «CAN», «CAMERA», «JTAG», «GND», «UART», «+12V», «FPGA», «VADJ», «ANALOG IN», «PWM», «AREF», «TX», «RX», «ON», «USER».

Вспомогательные надписи и пояснения могут находиться как внутри, так и снаружи условно выделенных блоков (Рис. 13.31, а...н).

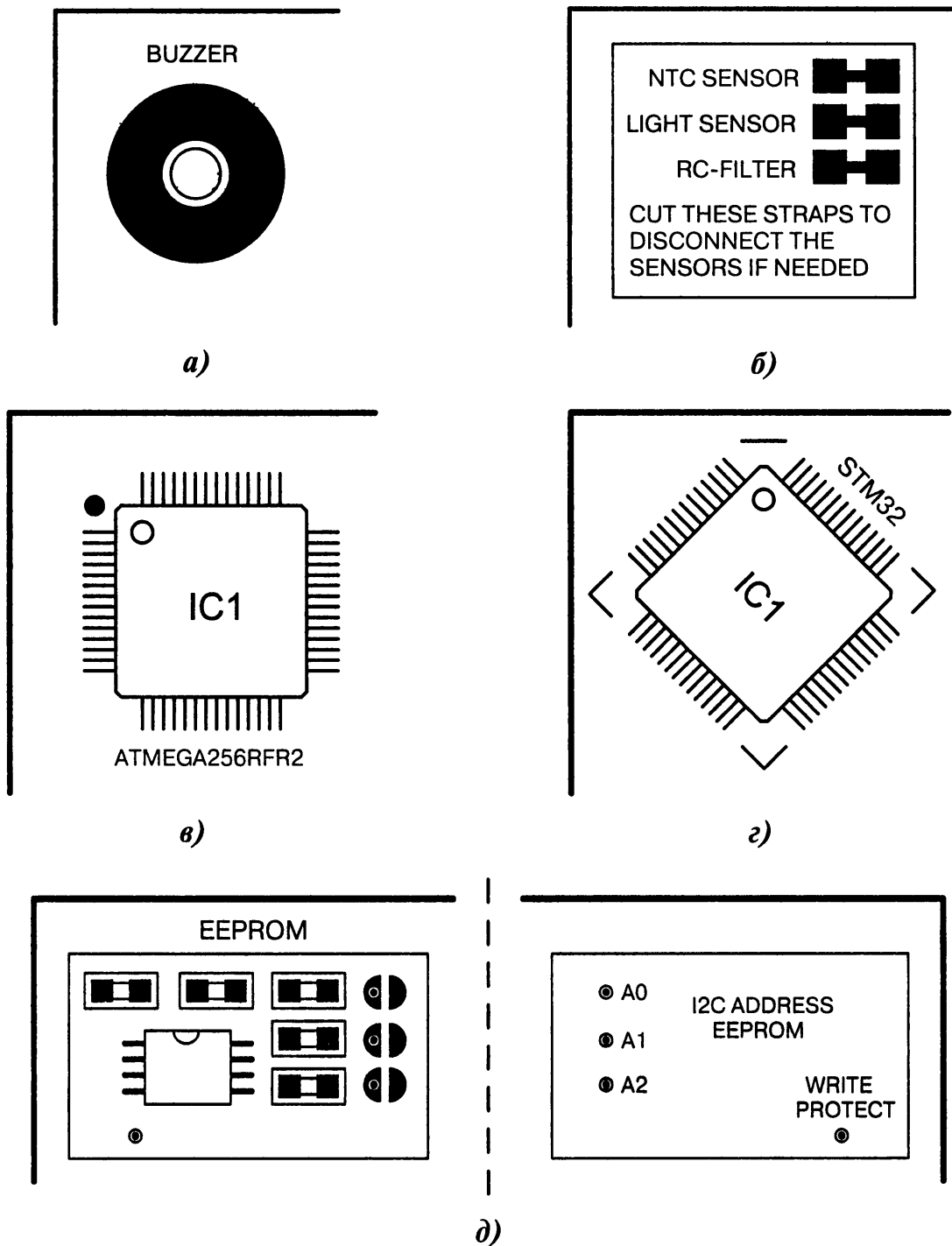


Рис. 13.31. Текстовые пояснения на платах (начало):

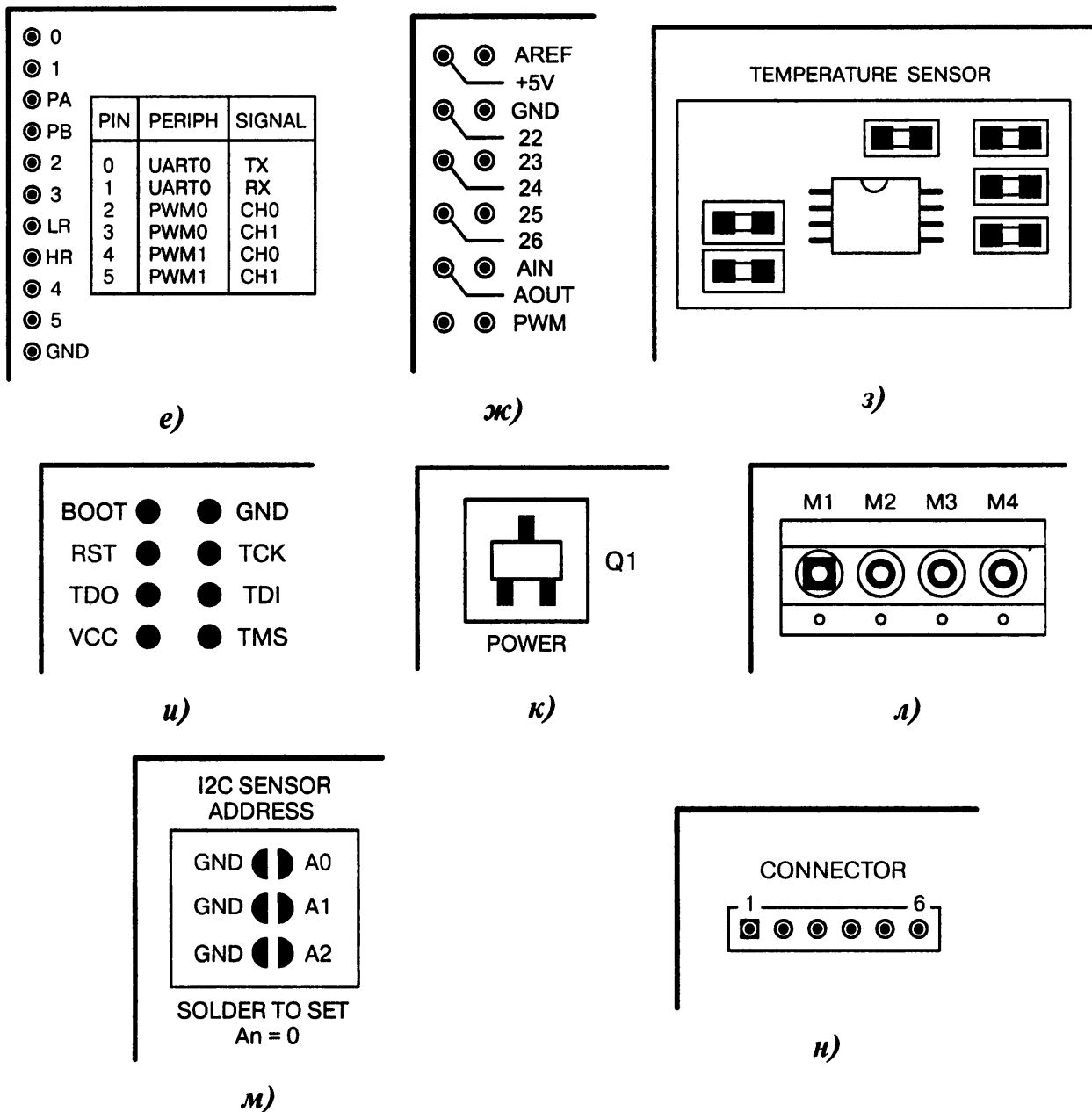
а) слово «BUZZER» явным образом указывает на название устанавливаемого элемента, которым является звуковой бузер. Надпись носит не позиционное, а функциональное назначение. Варианты: «SPEAKER» (возле динамика), «JOYSTICK» (возле джойстика);

б) три бескорпусных печатных джамперных соединителя. Все они замкнуты. Каждый относится к своему элементу: к температурному сенсору (верхний), к фотодиоду (средний), к RC-фильтру (нижний). Выбор одного из трёх элементов производится разрезом перемычки;

в) внизу текстом маркируется полное наименование установленного МК фирмы Atmel;

г) маркируется не тип, а семейство МК фирмы STM, надпись повернута под 45 градусов;

д) слева изображена лицевая сторона печатной платы с установленной микросхемой памяти EEPROM и обвязкой. Справа — оборотная сторона, где отмаркированы названия сигналов; ⊖



➊ Рис. 13.31. Текстовые пояснения на платах (окончание):

е) из 11 контактных отверстий 5 маркируются буквами сигналов, а 6 маркируются условными цифрами. Расшифровка сигналов цифр приведена в текстовой таблице справа;

ж) сигналы правого ряда контактов маркируются напрямую, а сигналы левого ряда — через ссылочные линии привязки;

з) датчик температуры и элементы его обвязки выделяются контуром в отдельный блок, что облегчает поиск. Варианты: внешняя контурная линия может быть изогнутой или пунктирной;

и) 8-контактный штыревой разъём и маркировка его сигналов размещаются на разных сторонах печатной платы. Это облегчает нахождение сигналов при плотной компоновке ЭРИ;

к) SMD-транзистор *Q1* относится к силовой части схемы и выполняет функцию коммутатора питания, на что указывает надпись «POWER»;

л) поясняющие надписи возле контактов клеммника, рассчитанного на зажим проводов;

м) три печатных джамперных соединителя можно замкнуть пайкой для оперативного изменения адреса устройства на шине I²C. В исходном состоянии на адресных линиях «000»;

н) если разъём на плате один, то его можно на схеме не нумеровать, а обозначить надписью

13.36. Графические пояснения на платах

Человек с хорошей зрительной памятью старается излагать свои мысли на бумаге с применением графических образов. То же самое относится к художникам, архитекторам, дизайнерам. Если человек с творческими наклонностями будет допущен к разработке внешнего вида отладочной платы, то он постарается улучшить «читабельность» функциональных взаимосвязей нестандартными графическими изображениями (Рис. 13.32, а...з).

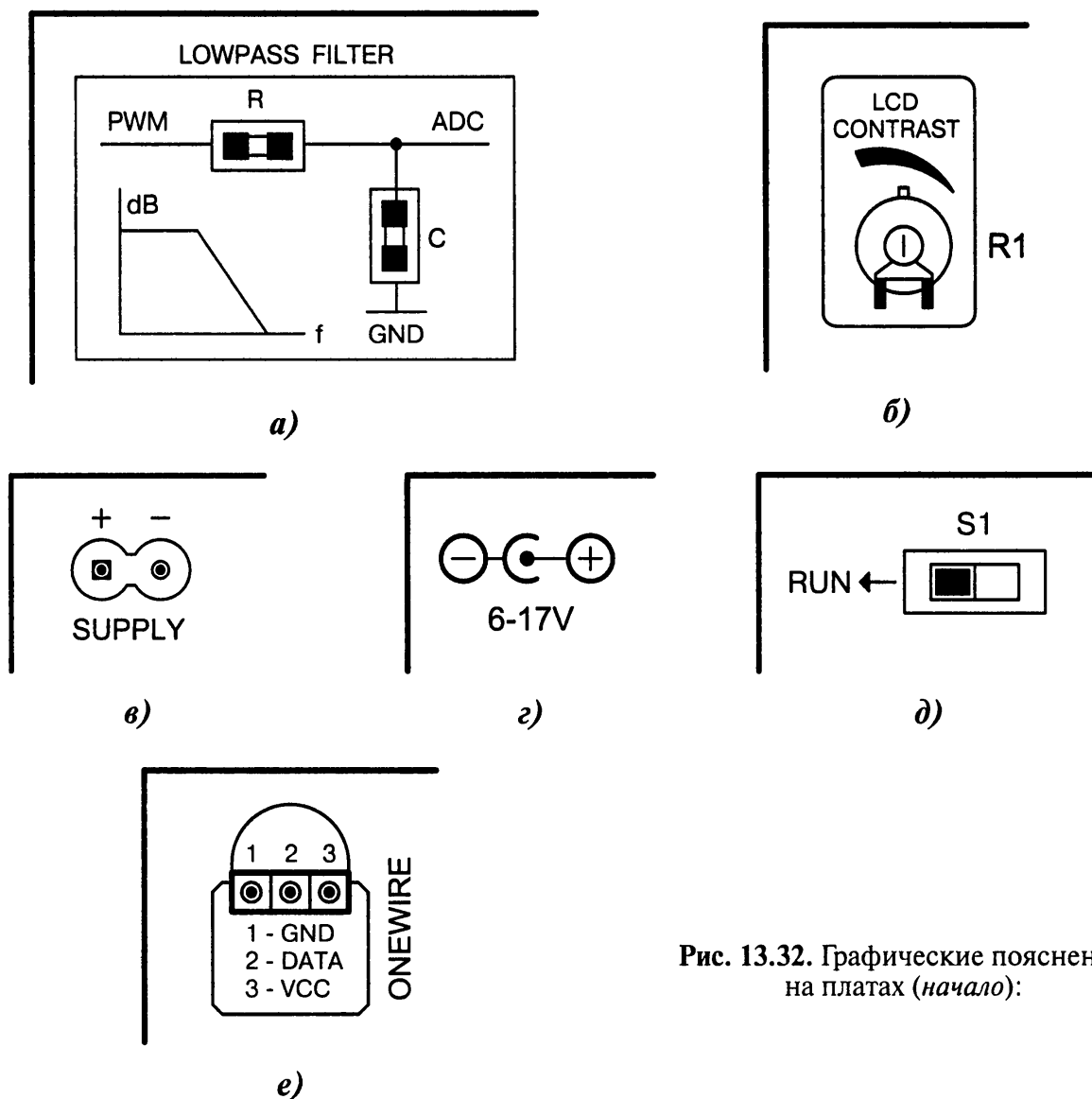


Рис. 13.32. Графические пояснения на платах (начало):

а) маркировка соединений проводников на печатной плате полностью повторяет электрическую схему. В нижнем левом углу приводится график АЧХ RC -фильтра;

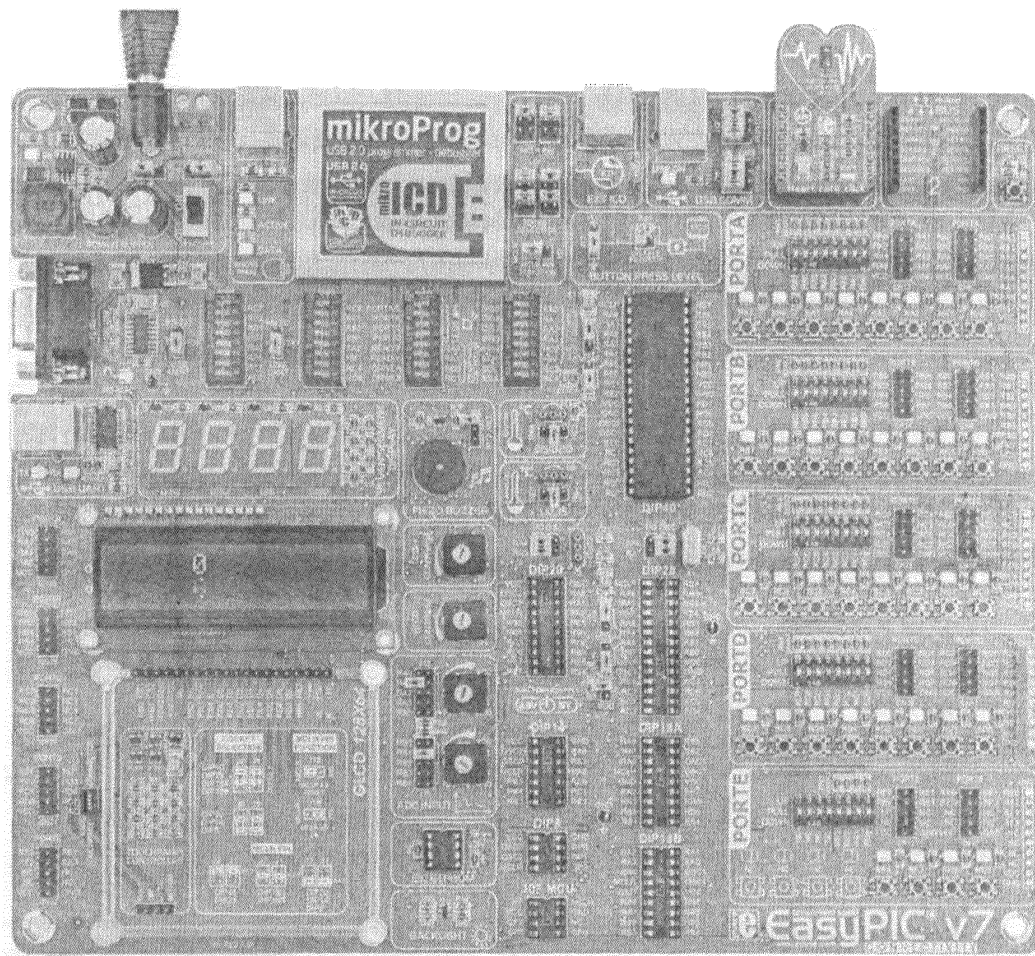
б) вращение резистора $R1$ против часовой стрелки приводит к увеличению контрастности;

в) фигурное отчёркивание контактов питания знаком, похожим на «бесконечность»;

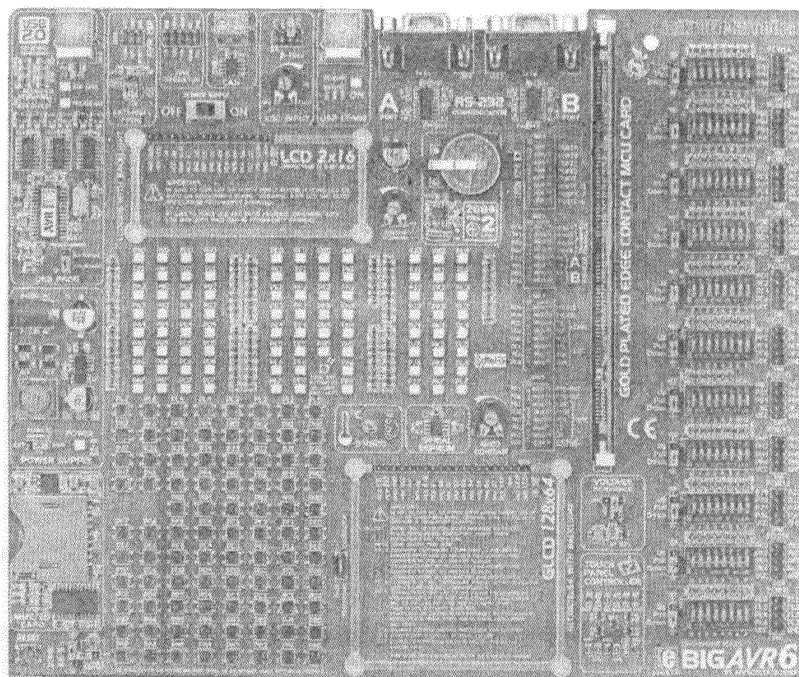
г) маркировка возле разъёма питания серии DJK указывает на то, что к центральному штырю подключается «плюс», а к внешней оболочке — «минус»;

д) стрелка указывает на RUN (действие) при переводе влево движка переключателя $S1$;

е) трёхвыводной разъём для подключения датчика 1-Wire в корпусе TO-92 (DS1820B). Полукруг сверху подсказывает правильную ориентацию корпуса микросхемы; Ⓢ



ж)



з)

⊙ Рис. 13.32. Графические пояснения на платах (окончание):

- ж) пример выделения графических блоков на плате EasyPIC фирмы Mikroelektronika;
- з) пример графических и текстовых пояснений на плате BigAVR фирмы Mikroelektronika

13.37. Реперные знаки

Реперные знаки (точки, метки) — это специальные поверочные изображения на поверхности печатной платы, регламентированные «Ассоциацией производителей, использующих технологию поверхностного монтажа плат» SMEMA (Surface Mount Equipment Manufacturers Association).

Реперные знаки создаются одновременно с разводкой проводников на печатной плате. Они позволяют производственному оборудованию точно идентифицировать расположение рисунка проводников [13-10].

Различают общие и местные (локальные) реперные знаки. Первые из них служат для определения местоположения всех элементов печатной платы, а вторые увеличивают точность позиционирования отдельных ЭРИ (Рис. 13.33, а...г).

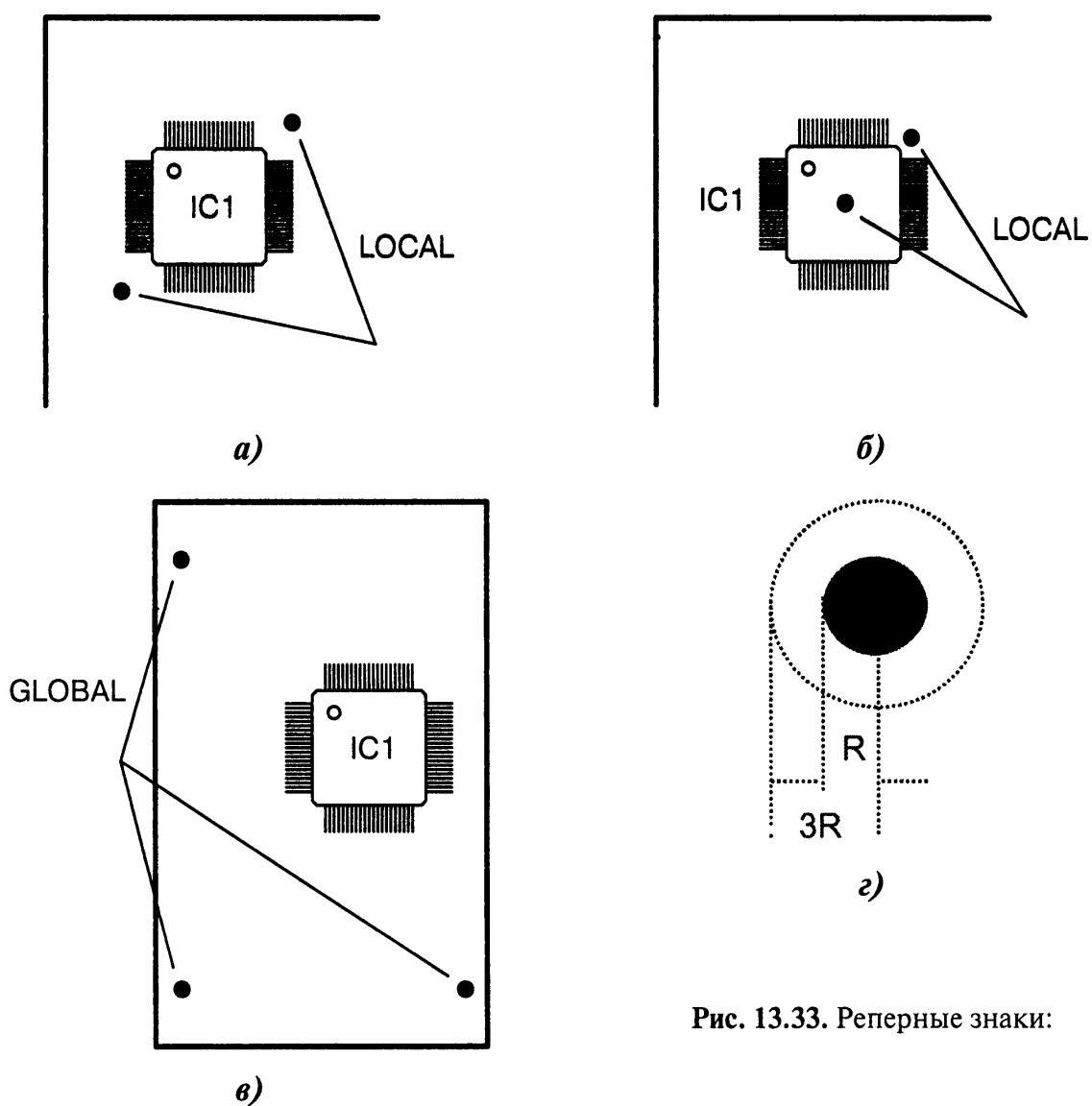


Рис. 13.33. Реперные знаки:

- а) локальные реперные знаки размещаются симметрично от места установки микросхемы;
- б) один из локальных знаков может быть скрыт корпусом микросхемы (в центре);
- в) три, а ещё лучше четыре глобальных реперных знака размещаются по краям платы;
- г) рекомендуется круглая (а не ромбовидная, прямоугольная или крестообразная) форма реперных знаков с трёхрадиусной зоной, свободной от ЭРИ и печатных дорожек

13.38. Идентификационные знаки

Под идентификационными знаками подразумеваются маркировочные изображения, которые выделяют конкретную отладочную плату среди массы других однотипных. Это могут быть линейные или квадратные штрих-коды, а также наклейки с версией программного обеспечения МК.

Информационное содержание знаков зависит от правил, принятых на фирме-изготовителе отладочной платы. Выполняться они могут самыми разными способами: вытравливанием проводников на печатной плате, маркировкой краской по поверхности или наклейкой бумажных полосок/голограмм (Рис. 13.34, а...е).

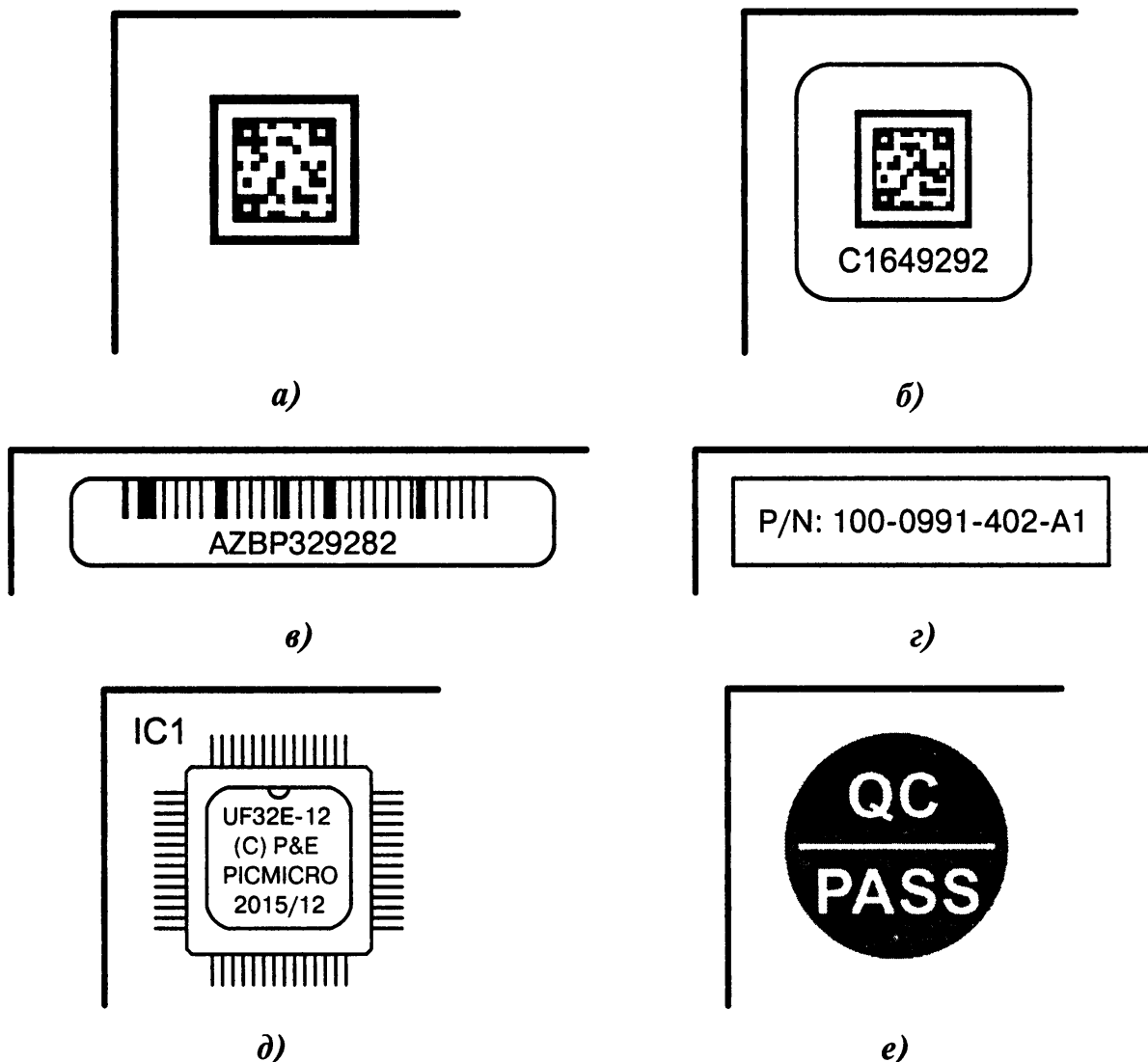


Рис. 13.34. Идентификационные знаки:

- а) металлизация на плате в виде двухмерного квадратного QR-кода с информацией о типе отладочной платы, её характеристиках, фирме-изготовителе;
- б) бумажная наклейка на плате с QR-кодом;
- в) линейный штрихкод с данными о назначении платы в виде наклейки (можно краской);
- г) цифры и буквы после двоеточия — это серийный номер платы (P/N — Part Number);
- д) наклейка на лицевой части микросхемы с номером версии программы и датой;
- е) QC PASS (Quality Control PASsed) — плата прошла контроль качества ОТК в цехе

13.39. Фирменные знаки

Одна из «золотых теорем» рекламного бизнеса гласит, что внешний вид продукции должен быть легко узнаваемым. Отсюда многообразие фирменных логотипов и товарных знаков, проставляемых на самом видном месте.

Отладочные платы не являются исключением. Фирменные знаки чаще всего наносятся краской на этапе производства печатных плат в слое шелкографии или фигурным травлением медных проводников. По знакам можно узнать национальную принадлежность фирм, их адреса и даже телефоны (Рис. 13.35, а...и).

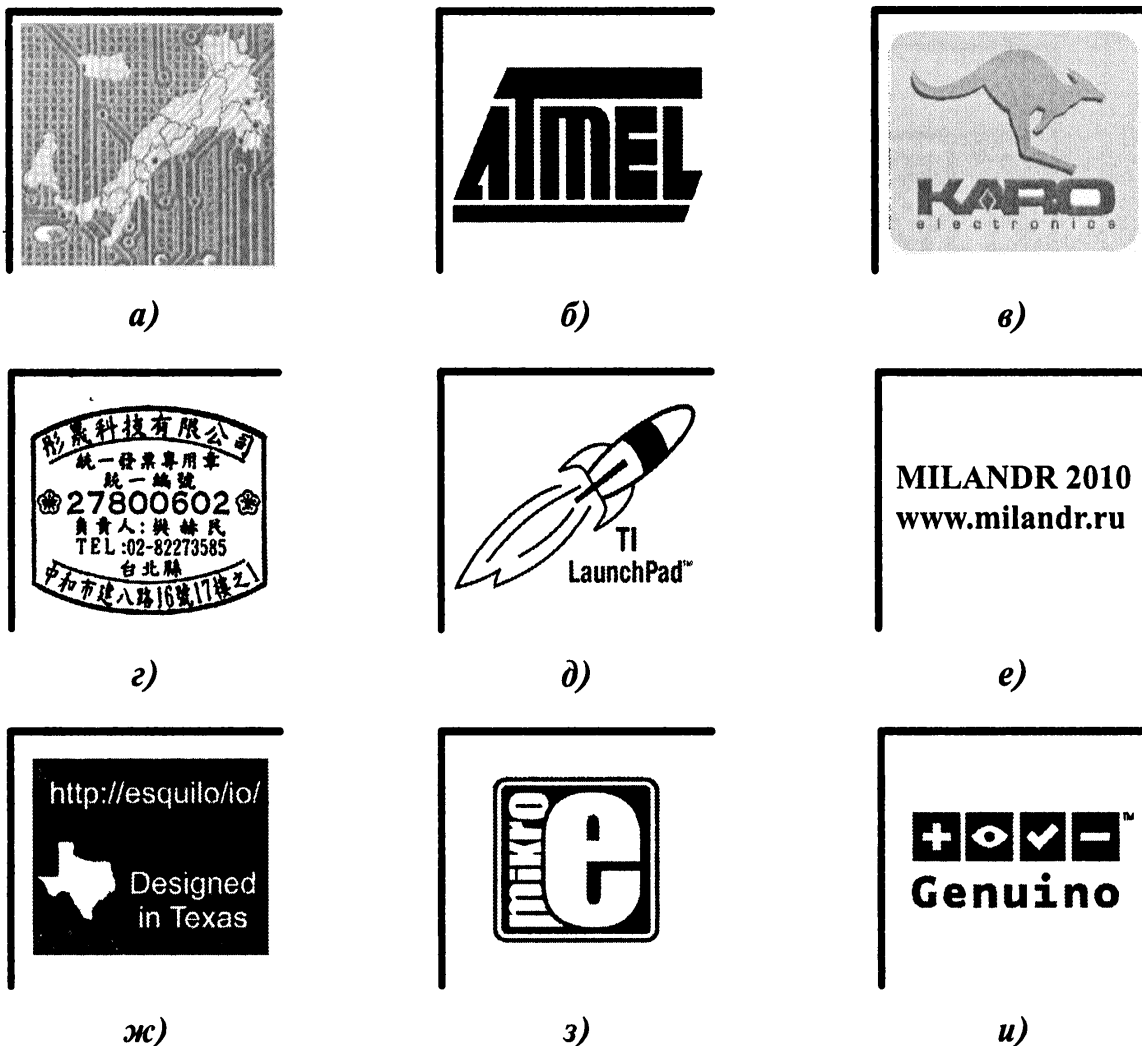


Рис. 13.35. Фирменные знаки:

- а) географические контуры указывают на то, что разработчик платы из Италии;
- б) название фирмы Atmel является главным образующим элементом логотипа;
- в) Ka-Ro Electronics — это фирма немецкая, несмотря на изображение кенгуру на логотипе;
- г) знак тайваньской фирмы TechNexion содержит иероглифы и телефон;
- д) логотип семейства «ракетных» отладочных плат LaunchPad фирмы Texas Instruments;
- е) фирма-разработчик «Миландр», год версии платы 2010, интернет-адрес;
- ж) контур штата Техас не оставляет сомнений в национальной принадлежности к США;
- з) слово «mikroe» на логотипе расшифровывается как название фирмы MikroElektronika;
- и) логотип «Genuino» ставится на американские версии платы Arduino

13.40. Сертификационные знаки

Сертификация продукции электроники подтверждает её безопасность и соответствие стандартам и международным директивам. Сертификационные знаки информируют покупателя о том, что приобретаемый им товар заслуживает доверия, поскольку прошёл необходимые испытания (Рис. 13.36, а...и).

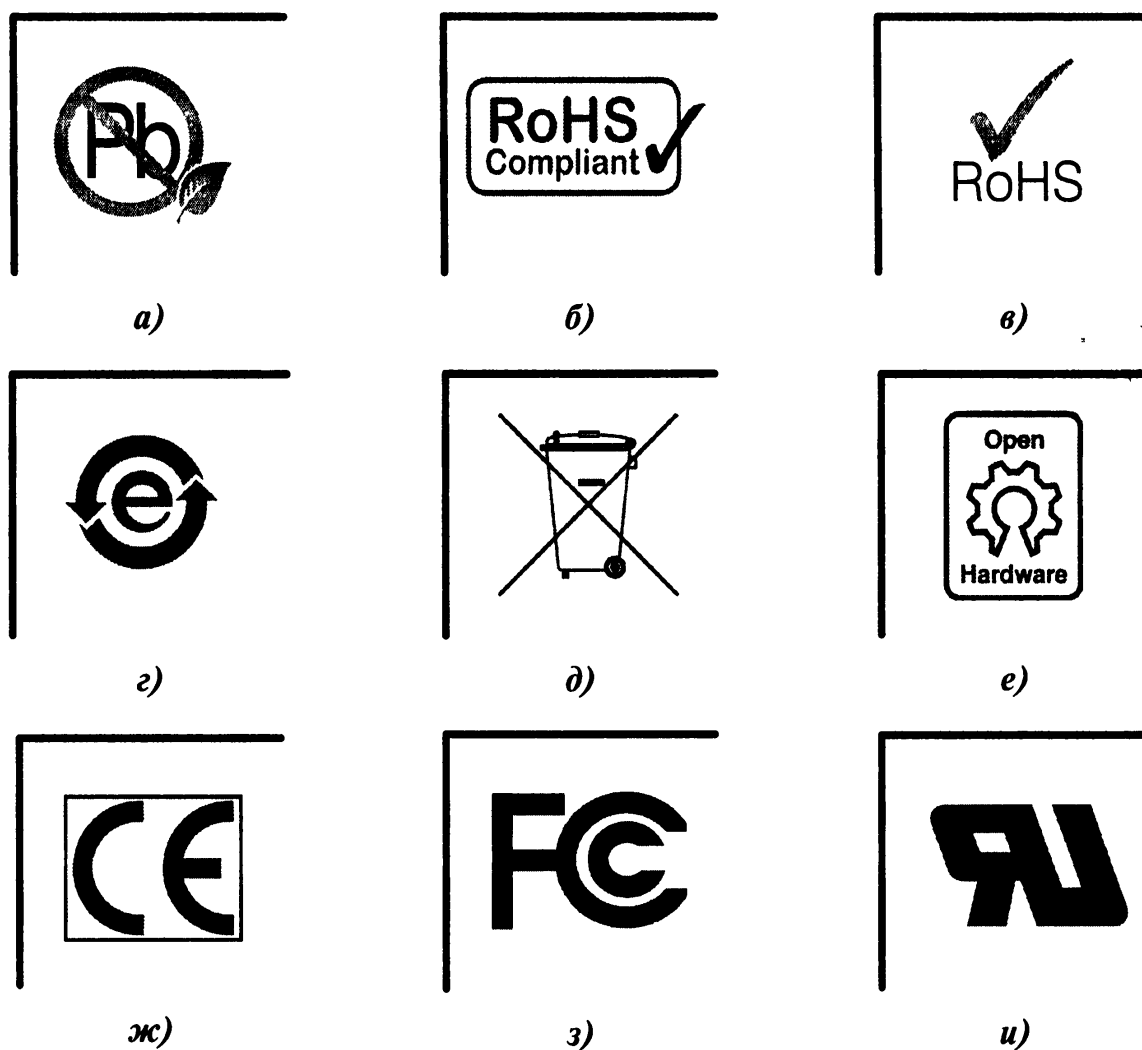


Рис. 13.36. Сертификационные знаки:

- а) знак отсутствия свинца при производстве печатной платы (Pb-Free);
- б) знак соответствия европейской директиве RoHS (Restriction of Hazardous Substances), ограничивающей содержание вредных веществ: свинца, ртути, кадмия, шестивалентного хрома;
- в) директива RoHS вступила в действие в 2006 году, но знаки RoHS не стандартизованы, поэтому разные фирмы применяют свои собственные или заимствованные изображения;
- г) знак RoHS, распространённый в Китае;
- д) запрет утилизации продукции в обычные мусорные баки (директива WEEE 2002/96/EC);
- е) знак принадлежности к сообществу Open Hardware — свободное аппаратное обеспечение, что предполагает в том числе бесплатное распространение электрических схем устройства;
- ж) знак, разрешающий продажу продукции в Европе;
- з) знак FCC — соответствие нормам электромагнитной совместимости, принятым в США;
- и) знак соответствия нормам электробезопасности

13.41. Конструктивные нюансы

Слово «нюанс» происходит от французского «nuance», то есть «оттенок». Действительно, в нашем мире сложно найти абсолютно чёрное или абсолютно белое тело. Мир состоит из оттенков, поэтому вместо компьютерного «да» или «нет» возникают многоликие нюансы с формулировкой «может быть».

Вглядываясь в топологию проводников на печатной плате и маркировку элементов, можно обнаружить ситуации, которые вызывают вопрос: «Почему разработчик сделал так, а не иначе?» Ответы могут быть разные (смотря на какую глубину «копать»), но в целом картина следующая (Рис. 13.37, а...м).

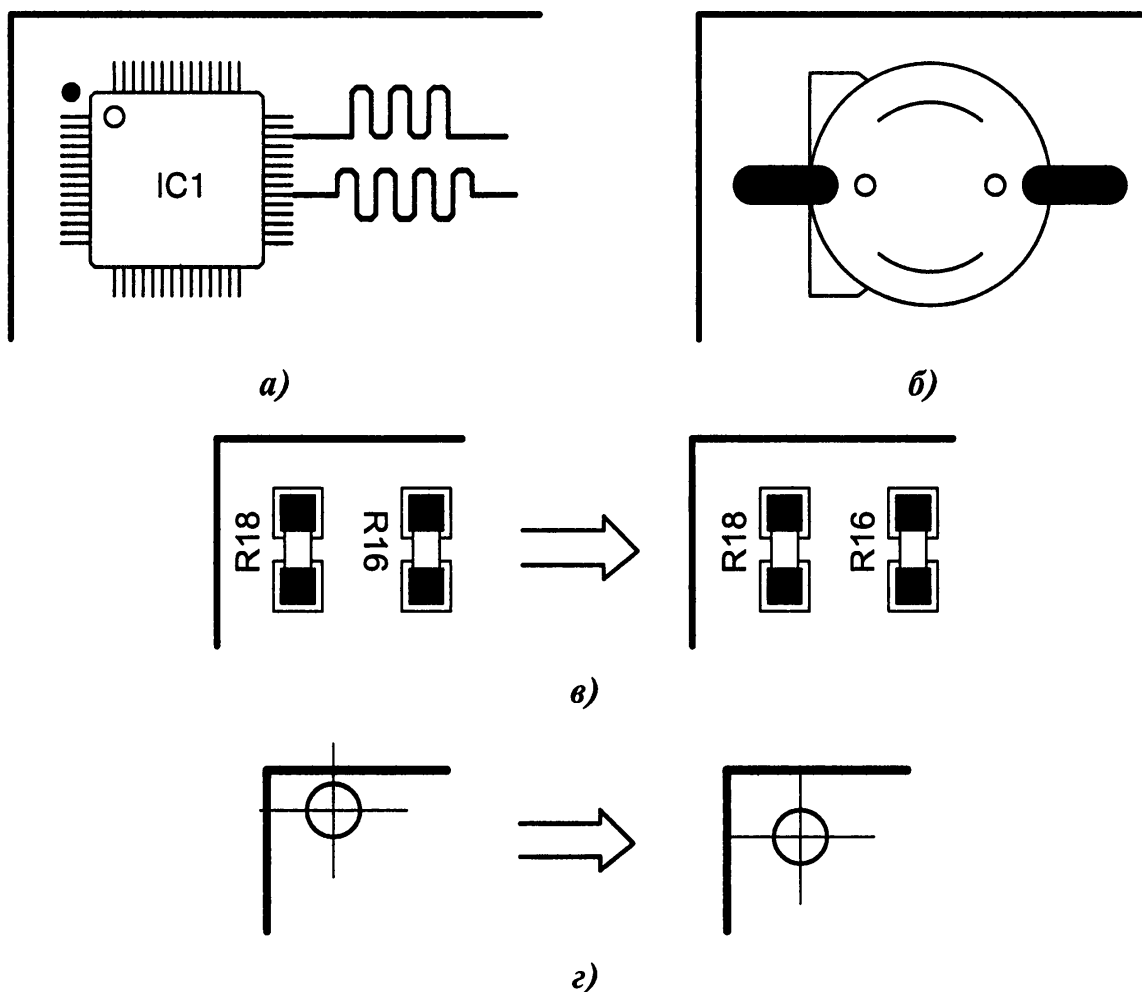


Рис. 13.37. Конструктивные нюансы (начало):

а) зигзагообразные колена проводников на печатной плате выравнивают длину пути распространения сигналов. Это полезно в многоразрядных шинах, работающих на высокой частоте;

б) это не весёлая «рожица», а посадочное место для установки дисковой батареи (аккумулятора) с напряжением 3 В;

в) маркировочные надписи ЭРИ на плате стандартами не регламентируются. Их могут разворачивать в разные стороны, как на рисунке слева, что не очень удобно для наблюдения. Желательно ориентировать позиционные обозначения элементов на всей плате в одну и ту же сторону, например против часовой стрелки, как рекомендуется в ЕСКД;

г) смещение посадочных отверстий ближе к одному из краёв платы снижает механическую прочность. Отверстия лучше размещать симметрично от угла и достаточно далеко от края; ➔

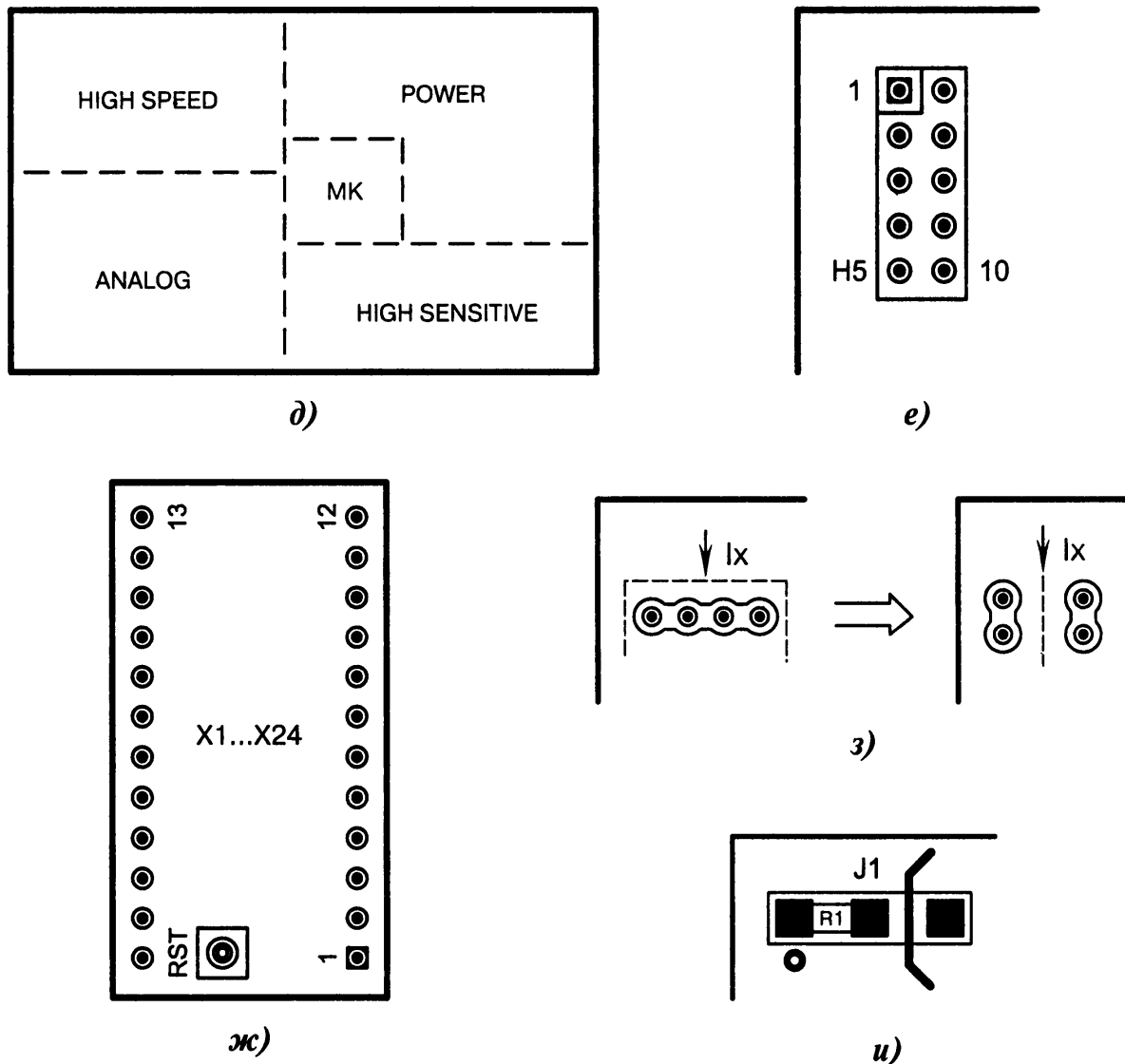


Рис. 13.37. Конструктивные нюансы (продолжение):

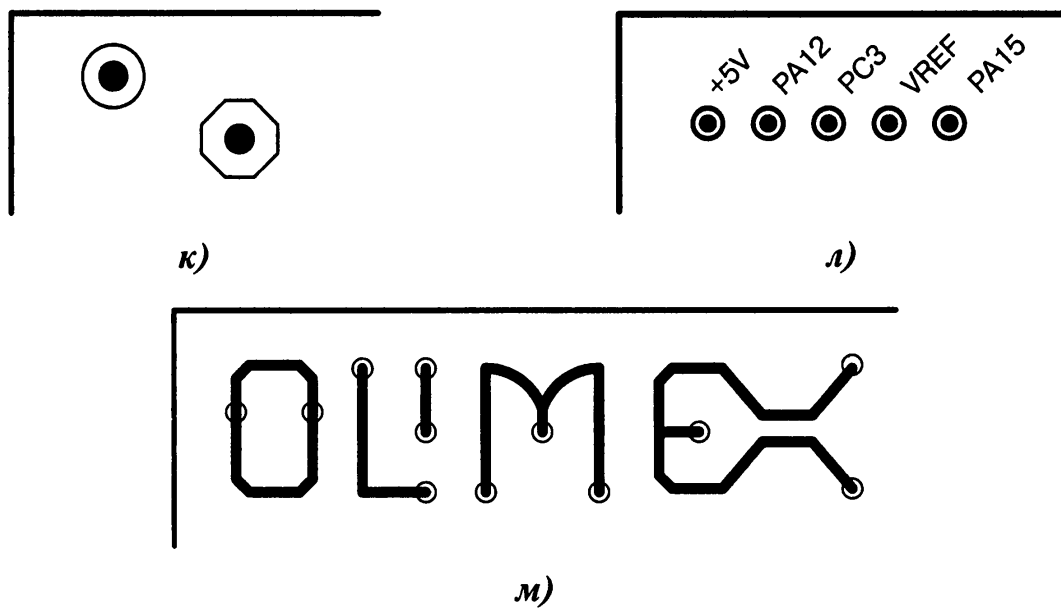
д) пунктирными линиями показаны основные функциональные блоки отладочной платы. Поскольку МК играет самую главную роль, то логично разместить его в центре. Остальные узлы следует компоновать в группы для уменьшения перекрёстных помех и взаимовлияний;

е) надпись «H5» слева внизу — это не нумерация контакта штыревого разъёма, а его позиционное обозначение, состоящее из буквы «H» и порядкового номера «5»;

ж) маркировка контактных отверстий $X1...X24$ отладочной платы проставлена в трёх (а не в четырёх) углах. Это следствие того, что надпись возле кнопки *RST* занимает «не своё» место;

з) если группа изолированных друг от друга контактных площадок размещается на пути следования тока I_x (рисунок слева), то ток огибает препятствие с двух сторон, из-за чего могут возникнуть условия для интерференции. По возможности следует располагать контактные площадки вертикально (рисунок справа), не препятствуя пути прохождения тока;

и) короткозамкнутым джампером *J1* служит SMD-резистор *R1* с нулевым сопротивлением. Он может запаиваться между левой и средней или между средней и правой контактными площадками. Первый контакт джампера маркируется «белой» точкой. Можно ли вместо нулевого резистора поставить каплю припоя? Слева — «да», а справа — «нет», поскольку там проходит вертикальный проводник, и его центральная часть может быть не покрыта маской; Ⓣ



⊖ Рис. 13.37. Конструктивные нюансы (окончание):

к) точками на рисунке условно обозначаются позолоченные технологические площадки, которые соединяются с определёнными узлами схемы. Площадки предназначены для касания зондом (щупом) при производственных проверках платы на автоматизированном стенде. Чтобы отделить технологические контактные площадки от тестовых и рабочих, вокруг отверстий маркировкой наносятся отличительные знаки: круг, шестиугольник, контур без маски и т. д.;

л) надписи сигналов выполняются под углом 45 градусов не для красоты, а потому что под углом 90 градусов они могут не поместиться, мешает край платы;

м) дорожки проводников на печатной плате образуют фирменный логотип «OLIMEX». Тонкость в том, что проводники располагаются не просто так, а в соответствии с электрической схемой. Это означает, что если значительно повредить (стереть) фирменную надпись, то устройство работать не будет

Список использованных источников и литературы к главе 13

- 13-1. Пирогова, Е. В. Проектирование и технология печатных плат / Елена Пирогова. — М. : ФОРУМ, 2011. — 560 с. : ил. — ISBN 5-8199-0138-X.
- 13-2. Мак-Комб, Г., Бойсен, Э. Радиоэлектроника для «чайников» / Гордон Мак-Комб, Эрл Бойсен. — М. : Диалектика, 2007. — 400 с. — ISBN 978-5-8459-1055-4.
- 13-3. Горобец, А. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные платы) / А. И. Горобец и др. — Киев : Техника, 1985. — 312 с.
- 13-4. Программы для проектирования печатных плат [Электронный ресурс] / «schem.net», 2017. — Режим доступа: http://schem.net/software/soft_PCB.php. — 14.04.2017.
- 13-5. Вестхофф, Э. «Метод диагоналей» / Эдвин Вестхофф, 2007, пер. Стас Кулеш. — Режим доступа: <http://staskulesh.com/2007/05/metod-Diagonalej-EdVin-Vestxoff/>. — 14.04.2017.
- 13-6. Зорин, А. Ю. Условные графические обозначения на электрических схемах / под ред. А. И. Питолина. — М. : Издательский дом МЭИ, 2007. — 76 с.
- 13-7. Разъёмы [Электронный ресурс] / «Симметрон», 2015. — Режим доступа: <http://www.symmetron.ru/suppliers/connect/dsub.pdf>. — 14.04.2017.
- 13-8. QTouch [Электронный ресурс] / Atmel, 2016. — Режим доступа: <http://www.atmel.com/products/touchsolutions/bsw/qtouch.aspx> (англ.). — 14.04.2017.
- 13-9. How to place decoupling capacitor in four-layer PCB? [Электронный ресурс] / Electrical «Engineering Stack Exchange», 2013. — Режим доступа: <https://electronics.stackexchange.com/questions/74509/how-to-place-decoupling-capacitor-in-four-layer-pcb> (англ.). — 14.04.2017.
- 13-10. Пивненко, В. В. Реперные знаки как неотъемлемый элемент успешного дизайна [Электронный ресурс] / Владимир Пивненко, 2007. — Режим доступа: <http://ua-Ekran.com/docs/Fiducials.pdf>. — 14.04.2017.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

*Книги читай, однако помни — книга книгой,
а своим мозгом двигай!
(Максим Горький)*

Технический директор Google и известный футуролог Рэй Курцвейл предсказал в начале 2015 года будущие достижения человечества в области электроники и компьютеров.

- 2019 год. Провода и кабели для персональных и периферийных устройств любой сферы останутся в прошлом.
- 2020 год. Персональные компьютеры по своей вычислительной мощности сравняются с человеческим мозгом.
- 2021 год. Доступ в Интернет покроет 85% поверхности Земли.
- 2024 год. Компьютерный интеллект станет обязательным в автомобилях.
- 2025 год. Появление массового рынка гаджетов-имплантатов.
- 2026 год. Научный прогресс позволит значительно продлить жизнь.
- 2027 год. Автономный «думающий» персональный робот станет привычным предметом в доме, как холодильник или кофеварка.

Дополнить картину достижений могут вещи, которые уже сейчас доступны для публичного обозрения. Так, на недавно прошедшей выставке CES-2017 в Лос-Анджелесе были показаны:

- предметы зарождающегося будущего — дроны для селфи, биометрические наручные часы, экшн-камеры с разрешающей способностью 4К, полезные Bluetooth-маячки для сумок и кошельков;
- экспериментальные устройства с необычным концептом — наушники с четырьмя динамиками, телевизор с полупрозрачным экраном, устройства поддержки дополненной реальности AR (Augmented Reality), видеокамеры с углом обзора 360 градусов.

Судя по масштабам предсказаний и темпам развития новых технологий, специалисты-эмбеддеры и программисты встроенных систем на ближайшее десятилетие без работы не останутся. Как говорится, хорошо тому, кто обладает профессией. Вдвойне хорошо тому, кто обладает востребованной на рынке труда профессией. Совсем хорошо тому, у кого работа совпадает с хобби.

Взять, к примеру, новые специальности, как грибы появившиеся в технических вузах разных стран: робототехника, прикладная информатика, мехатроника, интернет-технологии, кибербезопасность, программная инженерия, микросистемная техника.

Производству и науке сейчас нужны молодые универсалы, которые обладают базовыми знаниями по специальности и которых можно легко переучить в нужном направлении.

Как следствие, студенты обучаются на кафедрах, названия которых насыщены модными терминами: электронные устройства мехатронных и робототехнических систем, нанотехнологии, микропроцессорная робототехника, микро- и наноэлектроника, техническая кибернетика и т. д.

Считается, что быть только программистом МК в наше время уже не актуально. Существует потребность либо в электронщиках с навыками программирования, либо в программистах, разбирающихся в электронике. Однако и те, и другие должны знать основы схемотехники МК, разбираться в программировании, виртуальном моделировании и конструировании радиоаппаратуры.

Именно этим направлениям и посвящены авторские книги «Выпуск 1...4».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ССЫЛКИ И АДРЕСА В ИНТЕРНЕТЕ

*Интернет стал великим потому, что он открыт для всех.
(Сергей Брин)*

В Табл. П1.1 приведены списки фирм, их реквизиты и продукция (отладочные платы, стартовые наборы, модули, шилды и т. д.), которые рассматривались при составлении схем настоящей книги. Знаками «х»...«xxxx» обозначаются цифры и буквы в наименованиях однотипных моделей из одного семейства.

Таблица П1.1. Фирмы-изготовители и их продукция

Фирма	Страна	Интернет-адрес на 14.04.2017 г.	Продукция, которая рассматривалась при составлении книги
4D Systems	Австралия	http://www.4dsystems.com.au/	4DevBoard, DEVBOARD-G1, PICadillo-35T, μ LCD-32PT(GFX), μ LCD-220RD
Active-Semi	США	http://www.active-Semi.com/	HYDRA-X10
Adafruit Industries	США	https://www.adafruit.com/	Pro Trinket, Datalogger Micro, Gemma, Feather 32u4
Advanced Micro Devices	США	http://www.amd.com/	SD188ES/SD188EM demonstration board, lanSC310 Microcontroller Evaluation Board
Afero	США	https://developer.afero.io/	Afero Modulo Shield Board
Analog Devices	США	http://www.analog.com/	ADSP-21262 EZ-KIT Lite, ADSP-21375 EZ-KIT Lite, ADSP-SC584 EZ-Board, ADuCM3029 EZ-KIT, SHARC USB EZ-EXTENDER, ADSP-CM403F EZ-KIT, ADuC7020 Adaptor Board, SDP-xx Controller Board, EVAL-ADAS3022EDZ
Arduino	Италия	https://www.arduino.cc/	Arduino-xxx, Genuino-xxx
Atmel	США	http://www.atmel.com/	AT89C5131A Starter Kit, C51/C251 Demo Board, PROTO1 Xplained Pro, XMEGA-A3BU_XPLAINED, AT32UC3L-EK
Beagleboard org	Интернет-сообщество	http://beagleboard.org/	BeagleBone, BeagleBoard
BiPOM Electronics	США	http://www.bipom.com/	MINI-MAX/51-C2
Boardcon Embedded Design	Китай	http://www.armdesigner.com/	Card size board Compact-xx
Cirrus Logic	США	http://www.cirrus.com/	EDB9302A/EDB9315A Engineering Development Board
Chumby	Интернет-сообщество	http://www.chumby.com/	Falconwing OEM

Продолжение таблицы П1.1

Фирма	Страна	Интернет-адрес на 14.04.2017 г.	Продукция, которая рассматривалась при составлении книги
CodePlex	Интернет-сообщество (Япония)	https://netmf4fm3.codeplex.com/	SK-FM4, KS_MB9BF568, KS_MB9BF506, CQ_FRK_FM3, CQFM3DUINO
Cypress Semiconductor	США	http://www.cypress.com/	CY3684 USB 2.0 DEVELOPMENT BOARD, CY8CKIT-xxx, MB91528R Evaluation Board
Digilent	США	http://store.digilentinc.com/	Digilent chipKIT-xxx
Embedded Artists AB	Швеция	http://www.embeddedartists.com/	LPC24xx QVGA Base Board, LPC4357 OEM Base Board, LPCXpresso LPCxxxx
Energy Micro AS (входит в состав SiLabs)	Норвегия	http://energymicro.com/	Development Kit EFM32-G8x-DK, Starter Kit EFM32-G8xx-STK, Starter Kit EFM32TG-STK3300
Freescale Semiconductor (входит в состав NXP Semiconductors)	США	http://www.freescale.com/	FRDM-KL05Z, MC56F8006 Demo board, 56F8367 Evaluation Module, S12ZVMCEVBCAN, TWR-56F8257, MPC5604E-MINI
FTDI Chip	Великобритания	http://www.ftdichip.com/	VM810C, RPi HUB Module, UMFT51AA 8051 Compatible Module
Fujitsu Microelectronics	Япония	http://www.fujitsu.com/	CONCERTO-Kit (8FX Bassoon, MB95F108), SK-16FX-100PMC, FM3EVB
Hitex	Германия	https://www.hitex.com/	LPC1850EVA
Holtek Semiconductor	Тайвань	http://www.holtek.com.tw/	HT32F125x/16xx/17xx/27xx Development Board, HT32F16xx/1765 Starter Kit
Infineon Technologies AG	Германия	http://www.infineon.com/	PMSM-LV-15W, inLight_RGB, inLight_WhiteLED, XC2000 Low End Easy Kit Board, XE166 Low End Easy Kit Board, XMC 2Go Kit, XMC1100/1200/1300/1400 CPU Card, XMC4500/4700 Relax Kit
iSYSTEM	Германия	http://www.isystem.com/	NEC V850ES/FX3 Target Board, ITLPC2138FE Target Board
Keil Software (входит в состав ARM)	США	http://www.keil.com/	MCB900/1000/1700/2100/2140/2300/2929/4300, MCB9BF500, MCBNUC1xx, MCBQVGA-TS-Display, MCBSTM32E, MCBSTM32F200/F400, MCB-STR9, MCBTMPM360
LAPIS Semiconductor (входит в состав ROHM)	Япония	http://www.lapis-semi.com/en/	ML610Q102/174/359/407/411/421/428/431 Reference Board, ML620Q150A Series EVA Board, ML620Q504H Reference Board, ML630Q791 SDK BOARD
Latronix	США	https://www.latronix.com/	XPort Evaluation Board 330-143
LDM-SYSTEMS	Россия	https://ldm-systems.ru/	LDM-HELPER-K1921BK01T/K1986BE1QI/K1986BE21QI/K1986BE92QI/K1986BE4, LDM-SAM7xxxx
LeafLabs	США	http://www.leaflabs.com/	Maple, MapleMini
Linx Technologies	США	http://www.linxtechnologies.com/	HumDT TM Series Evaluation Module

Продолжение таблицы П1.1

Фирма	Страна	Интернет-адрес на 14.04.2017 г.	Продукция, которая рассматривалась при составлении книги
Matrix Technology Solutions	Великобритания	http://www.matrixtsl.com/	Internet board EB023, MCU Multiprogrammer EB006, FlowKit HP299
Maxim Integrated	США	https://www.maximintegrated.com/	DS89C450 Evaluation Kit, MAXQ610/2000/7667 Evaluation Kit
Microchip Technologies	США	http://www.microchip.com/	PICkit-xxx, MPLAB Starter Kit-xxx, PIC32xxx Starter Kit
MikroElektronika	Сербия	http://www.mikroe.com/	MikroBoard for 8051 40-Pin, Buggy, Mikromedia Gaming Shield, Mini-AT, Ready for XMEGA, PIC Clicker, MINI-M0 development board for STM32
Myir	Китай	http://www.myir-Tech.com/	AM437x, MYB-I.MX28
NEC	Япония	http://www.nec.com/	78K0 — Shine It!
NGX Technologies Pvt.	Индия	http://ngxtech.com/	BlueBoard, LPCxxxx XPLORER, mX-LPC1343
Nuvoton Technology	Тайвань	http://www.nuvoton.com/	Nu-LB-M051/451, LCM, LCD, Nu-LB-Mini51, NANO130, Nu-LB-NUC140, NuTiny-SDK-100/120/M058/M0518/M453/Mini58, NuTiny-SDK-NUC029/123/240/442/472/505
NXP Semiconductors	Нидерланды	http://www.nxp.com/	LPC-Link2, OL2300/OM13501/PCA8538 Demo board
Object Co.	Япония	http://www.object.co.jp/	AM1/AM3/AM32L Starter Kit
Olimex	Болгария	https://www.olimex.com/	BB-PWR-3608, EM-32G210F128-H, EFM32G880F128-H, EFM32G880F128-STK, STM32-P103_P405/P107/P152, MSP430-1121STK2, MSP430-EasyWeb2, TMS570-CAN, TMX320-P28027, LPC-E22xx, Header board for LPC2148
Parallax	США	https://www.parallax.com/	Propeller Professional Development Board, Basic Stamp
Propox	Польша	http://propox.com/	EVBST7-02 Evaluation board, MMstm32F107 Minimodule
P&E Microcomputer Systems	США	https://www.pemicro.com/	XPC56xxEVB Motherboard
Renesas Electronics	Япония	http://www.renesas.com/	RSKM3803/M16C62P/M16C6NK/M32C87/R8C2D/H8SX1622/R8C1B, Starter Kit for M38D5/RX62T/RL78/G14/RX111/RX23T, RSK USB Ethernet Application Board, R7S910018 Evaluation board
Seeed Studio	США	https://www.seeedstudio.com/	Grove LED Socket Kit, Grove Relay, Grove Sound Sensor, Grove Temperature Sensor, Grove Starter Kit for Arduino
Seiko Epson	Япония	http://www.epsondevice.com/	S1C8F360 DEMO Board

Окончание таблицы П1.1

Фирма	Страна	Интернет-адрес на 14.04.2017 г.	Продукция, которая рассматривалась при составлении книги
Silicon Laboratories	США	http://www.silabs.com/	C8051F850 BLDC Kit, Si10xx-DK, EFM32 Zero/Happy Gecko Starter Kit, EFM32 Giant Gecko Starter Kit, SiM3L1xx Badger Board, EM35x NCP Breakout Board, C8051F00x/01x/C8051F336/C8051F41x/C8051T606 Development Kit
SofTec Microsystems	Италия	http://softecmicro.com	ZK-HC08Ax-A, PK-HC08QT Starter Kit, EVBQE128
Spansion (входит в состав Cypress Semiconductor)	США	http://www.spansion.com	SK-FM0-V48, SK-FM3-48/100, SK-FM4-120/176/U120
SparkFun Electronics	США	https://www.sparkfun.com/	SparkFun xxxDUINO, Teensy-xx, Mega Pro Mini, SparkFun Inventor's Kit
Spectrum Digital	США	http://www.spectrumdigital.com/	TMS320C5515 eZdsp USB Stick
STMicroelectronics	Италия, Франция	http://www.st.com/	SPC564A-DISP, STM32xxx-EVAL, STM32Lxxx-EVAL, STMT-BOX, STM3210C-EVAL Audio, STM32Fxxx-DISCO, B-F446E-96B01A, NUCLEO-xxxx, 32FxxxDISCOVERY, STM8/128-EVAL board, STEVAL-ILL060V1, EVAL-ST95HF
TechNexion	Тайвань	http://www.technexion.com/	BLIZZARD, TAM-3517, TSUNAMI, TWISTER
Tessera Technology	Япония	http://www.tessera.co.jp/eng/	StickCAN V850
Texas Instruments	США	http://www.ti.com/	CC2430DK Development Kit, eZ430-F2013 Development Tool, DRV8803/04/05/06 Evaluation Module, Stellaris LMxxxxx Evaluation Board, MSP-EXP432P401R, Tiva TM4C123G Development Board, LAUNCHXL2-TMSxxxx, MSPxxxx LaunchPad Evaluation Kit, LAUNCHXL-F28027 C2000 Piccolo LaunchPad Experimenter Kit
Uwe Becker	Германия	http://mikrocontroller.bplaced.net/	STM32F429-Board
Waveshare Electronics	Китай	http://www.waveshare.com/	OpenI03V
WIZnet	Корея	http://www.wiznet.co.kr/	W5300E01-ARM
XMOS	Великобритания	http://www.xmos.com/	XK-1A, XS1-Dev-Board
Zilog	США	http://www.zilog.com/	eZ80L92/Z51F3220/ Z32F064/ Z32F128/S3F8S5A Development Kit, Z8F64200100KITG, Z16F2800100ZCOG

В Табл. П1.2 приведены позиционные обозначения зарубежных ЭРИ, встречающиеся на электрических схемах отладочных плат. В разных фирмах используются разные обозначения элементов, поэтому в перечне встречаются как стандартные, так и нестандартные аббревиатуры.

Таблица П1.2. Позиционные обозначения зарубежных ЭРИ

Надпись	Расшифровка	ЭРИ	Надпись	Расшифровка	ЭРИ
<i>AI</i>	Antenna	Антенна	<i>DISPI</i>	DISPlay	Дисплей
<i>B1</i>	BRidge	Диодный мост	<i>DS1</i>	Diode Solar	Фотодиод
<i>B1</i>	Button	Кнопка	<i>E1</i>	Equipment	Разъём
<i>B1</i>	Buzzer	Бuzzer	<i>E1</i>	Electrolytic capacitor	Электролитический конденсатор
<i>BC1</i>	Bipolar Capacitor	Неполярный электролитический конденсатор	<i>EC1</i>	Electrolytic Capacitor	Электролитический конденсатор
<i>BH1</i>	Battery Holder	Батарейный отсек	<i>ESD1</i>	ElectroStatic Diode	Сапрессор, защитный диод
<i>BP1</i>	Button Push	Джойстик	<i>F1</i>	Fuse	Предохранитель
<i>BR1</i>	BRidge	Диодный мост	<i>FB1</i>	Ferrite Bead	ВЧ-дроссель ферритовая «бусинка»
<i>BT1</i>	BaTtery	Батарея, аккумулятор	<i>FER1</i>	FERrite bead	ВЧ-дроссель ферритовая «бусинка»
<i>BTN1</i>	BuTtoN	Тактовая кнопка	<i>FP1</i>	Ferrite Production	ВЧ-дроссель ферритовая «бусинка»
<i>BZ1</i>	BuZzer	Бuzzer	<i>G1</i>	Ground	Джампер, «земляная» тестовая площадка
<i>C1</i>	Capacitor	Конденсатор	<i>GND1</i>	GrouND	«Земляная» тестовая площадка
<i>CB1</i>	Capacitor Bypass	Конденсатор керамический (класс X7R, Z5U, Y5V)	<i>IC1</i>	Integrated Circuit	Цифровая микросхема
<i>CE1</i>	Capacitor Electrolytic	Конденсатор электролитический	<i>IO1</i>	Indicator Output	Светодиод
<i>CN1</i>	CoNnector	Разъём	<i>J1</i>	Jumper	Джампер
<i>CNU1</i>	CoNnector Unite	Разъём	<i>J1</i>	Junction	Соединитель
<i>CP1</i>	Capacitor Power	Конденсатор по питанию (0.1 мкФ)	<i>JA1</i>	JAck	Разъём
<i>CR1</i>	ClippeR	Сапрессор, защитный диод	<i>JOY1</i>	JOYstick	Джойстик
<i>CR1</i>	ColoR	Светодиодный индикатор	<i>JP1</i>	JumPer	Джампер
<i>CSB1</i>	Capacitance Sensing Button	Сенсорная кнопка	<i>JPP1</i>	JumPer Plug	Джамперный соединитель на плате
<i>CSS1</i>	Capacitance Sensing Slider	Сенсорный слайдер	<i>JS1</i>	Jumper Shunt	Короткозамкнутый джампер (перемычка)
<i>CT1</i>	Capacitor Tantalum	Конденсатор танталовый электролитический	<i>K1</i>	Key	Кнопка
<i>D1</i>	Diode	Диод, сборка диодов, диод Шоттки, стабилитрон, сапрессор, светодиод, фотодиод	<i>L1</i>	Lenz (Ленц, Эмилий Христианович, физик)	Дроссель, катушка индуктивности, трансформатор ВЧ, дроссель ферритовая «бусинка»

Продолжение таблицы П1.2

Надпись	Расшифровка	ЭРИ
<i>LCD1</i>	Liquid Crystal Display	Жидкокристаллический дисплей
<i>LD1</i>	Light-Emitting Diode	Светодиод
<i>LED1</i>	Light-Emitting Diode	Светодиод
<i>LS1</i>	Load Speaker	Динамик
<i>M1</i>	MOSFET	MOSFET-транзистор
<i>M1</i>	Motor	Двигатель
<i>MIC1</i>	MICrophone	Микрофон
<i>MK1</i>	MiKe	Микрофон
<i>MN1</i>	MoNolithic integrated circuit	Интегральная микросхема
<i>MT1</i>	Making Test	Контактная площадка в макетной области
<i>OSC1</i>	OSCillator	Кварцевый генератор
<i>P1</i>	Pad	Контактная площадка
<i>P1</i>	Powerjack	Разъём внешний
<i>P1</i>	Power seat	Отсек для батареи
<i>POT1</i>	POTentiometer	Потенциометр, переменный резистор
<i>PROTO1</i>	PROTOtype	Массив контактных площадок
<i>PTC1</i>	Positive Temperature Coefficient	Терморезистор с положительным ТКС
<i>PWR1</i>	PoWeR	Разъём питания
<i>Q1</i>	Q	Транзистор, сборка транзисторов, фототранзистор, «цифровой» транзистор, оптопара
<i>QL1</i>	Q fieLd	Транзистор полевой
<i>R1</i>	Resistor	Резистор, подстроечный или переменный резистор
<i>RA1</i>	Resistor Array	Сборка резисторов
<i>RL1</i>	ReLay	Реле механическое

Надпись	Расшифровка	ЭРИ
<i>RLC1</i>	Resistor Lenz Capacitor	Монолитный фильтр R, L, C
<i>RN1</i>	Resistor Network	Сборка резисторов
<i>RP1</i>	Resistor Package	Сборка резисторов
<i>RP1</i>	Rotary Potentiometer	Переменный резистор
<i>RR1</i>	ResistoRs	Сборка резисторов
<i>RT1</i>	ReseTtable fuse	Самовостанавливающийся предохранитель
<i>RV1</i>	Resistor Variable	Переменный или подстроечный резистор
<i>S1</i>	Switch	Переключатель, кнопка
<i>S1</i>	Shunt	Короткозамкнутый джампер
<i>SEG1</i>	7-SEGment	Семисегментный индикатор
<i>SH1</i>	SHunt	Короткозамкнутый «печатный» джампер
<i>SJ1</i>	Shunt Jumper	Корпусной джампер
<i>SP1</i>	SPEaker	Динамик, бусер
<i>SPK1</i>	SPEaKer	Динамик
<i>SW1</i>	SWitch	Переключатель, кнопка, джойстик механический
<i>T1</i>	Test point	Тестовая контактная площадка
<i>T1</i>	Touch	Кнопка
<i>T1</i>	Touch pad	Сенсорная кнопка
<i>T1</i>	Touch slider	Сенсорный слайдер
<i>T1</i>	Transformer	Трансформатор, блок трансформаторов Ethernet
<i>T1</i>	Transistor	Транзистор, «цифровой» транзистор
<i>TB1</i>	Terminal Block	Блок из нескольких зажимов под винт
<i>TH1</i>	Test Hole	Тестовая площадка с отверстием

Окончание таблицы П1.2

Надпись	Расшифровка	ЭРИ	Надпись	Расшифровка	ЭРИ
<i>TP1</i>	Test Point	Тестовая контактная площадка	<i>V1</i>	Voltage	Диод, сапрессор
<i>TPJ1</i>	Test Point Junction	Тестовая контактная площадка	<i>VR1</i>	Voltage Regulator	Микросхема аналогового стабилизатора напряжения, микросхема ИОН, переменный резистор (регулятор напряжения)
<i>TR1</i>	TRansformer	Трансформатор	<i>X1</i>	X	Разъём, контактное поле для макетирования
<i>TR1</i>	TRansistor	Транзистор	<i>X1</i>	Xtal (сокращение от «crystal»)	Кварцевый генератор, кварцевый резонатор
<i>TRANSD1</i>	TRANSDucer	Пьезокерамический излучатель	<i>XC1</i>	Xtal Ceramic	Керамический резонатор
<i>TV1</i>	Test Via	Тестовое контактное отверстие	<i>XT1</i>	XTal (сокращение от «crystal»)	Кварцевый резонатор, керамический резонатор
<i>U1</i>	Unit	Микросхема, колодка для микросхемы, сборка сапрессоров, трёхвыводной стабилитрон, кварцевый генератор, джойстик, бужер, транзистор, сборка транзисторов, матрица индикаторов, ЖКИ, реле, разъём для наушников	<i>Y1</i>	Y	Кварцевый генератор, кварцевый резонатор, керамический резонатор
<i>USB1</i>	Universal Serial Bus	Разъём USB	<i>YZ1</i>	Y quartZ	Кварцевый резонатор
<i>V1</i>	Visible light	Светодиод	<i>ZD1</i>	Zener Diode	Стабилитрон (диод Зенера)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

СПИСОК АББРЕВИАТУР

*Краткость приятна, когда она сочетается с ясностью.
(Дионисий)*

АЦЖК — алфавитно-цифровой жидкокристаллический индикатор
АЦП — аналого-цифровой преобразователь
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика
БИС — большая интегральная схема
ВАХ — вольт-амперная характеристика
ВЧ — высокочастотный
ГОСТ — государственный стандарт
ЕСКД — Единая система конструкторской документации
ЖКИ — жидкокристаллический индикатор
ИК — инфракрасный
ИОН — источник опорного напряжения
КД — конструкторская документация
КЗ — короткое замыкание
КМОП — комплементарная структура «металл-оксид-полупроводник»
КНИ — коэффициент нелинейных искажений
КПД — коэффициент полезного действия
МК — микроконтроллер
НЧ — низкочастотный
ОЗУ — оперативное запоминающее устройство
ОТК — отдел технического контроля
ОУ — операционный усилитель
ПЗУ — постоянное запоминающее устройство
ПЛИС — программируемая логическая интегральная схема
ПО — программное обеспечение
ПП — печатная плата
РЭА — радиоэлектронная аппаратура
САПР — система автоматизированного проектирования
СБИС — сверхбольшая интегральная схема
СНГ — Содружество Независимых Государств
СПИС — сверхпроводниковая интегральная схема
ТКС — температурный коэффициент сопротивления
УГО — условное графическое обозначение
УНЧ — усилитель низкой частоты
ФАПЧ — фазовая автоподстройка частоты

ФВЧ — фильтр высоких частот

ФНЧ — фильтр низких частот

ЦАП — цифроаналоговый преобразователь

ШИМ — широтно-импульсная модуляция

ЭРИ — электрорадиоизделие

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу: **115487, г. Москва, 2-й Нагатинский пр-д, д. 6А.**

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя. Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: <http://www.alians-Kniga.ru>.

Электронный адрес: books@alians-Kniga.ru.

Оптовые закупки: тел. +7(499) 782-38-89.

Рюмик Сергей Максимович

**1000 и одна микроконтроллерная схема.
Выпуск 4**

Главный редактор *Мовчан Д. А.*
dmpress@gmail.com

Корректор *Синяева Г. И.*
Вёрстка *Рюмик С. М.*
Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Тираж — 100 экз. Усл. печ. л. 32,81

Веб-сайт издательства: <http://www.дмк.рф>