



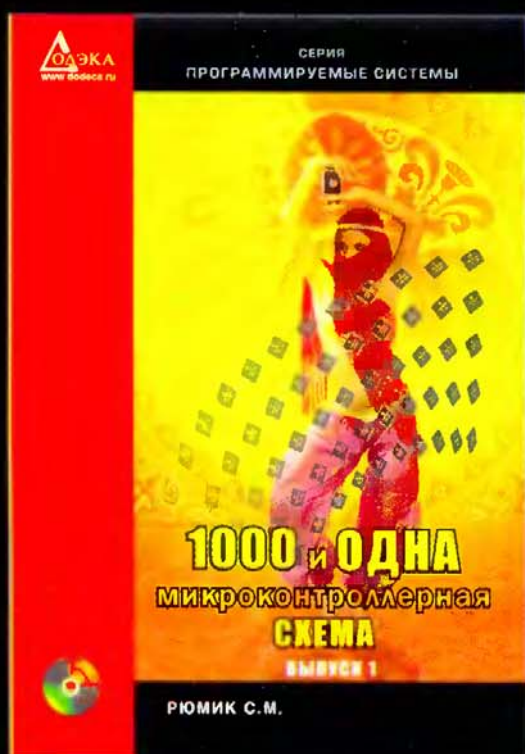
**1000 и ОДНА**  
**микрoкoнтрoллерная**  
**СХЕМА**  
**ВЫПУСК 1**



**РЮМИК С.М.**

РЮМИК С.М.

# 1000 и ОДНА микроконтроллерная СХЕМА



Книга является первым выпуском своеобразной энциклопедии схем по применению микроконтроллеров. В ней представлено более 1000 электрических схем. Схемы рассортированы по функциональному признаку. Рассматриваются подсистемы ввода (подключение механических, ёмкостных, индуктивных, акустических, оптических, температурных и других датчиков), синхронизации (с использованием керамических и кварцевых резонаторов, RC- и LC-генераторов, схем ввода и вывода тактовых сигналов), начального сброса (включая детекторы напряжения, сторожевые таймеры, источники опорного напряжения), а также организация питания.

В первых главах книги даются теоретические выкладки, основанные на идеализированной модели, в которой легко угадываются черты популярных 8-, 16- и 32-битных микроконтроллеров фирм Atmel, Microchip Technology, Texas Instruments, Analog Devices, STMicroelectronics. Практическая часть книги содержит собственно схемы с краткими пояснениями о назначении элементов. Предлагаемые технические решения и схемные идеи были собраны из радиолюбительских журналов, книг по электронике, из Интернета. Главные принципы подачи материала — логичное и понятное изложение теории, дополненное большим количеством полезной практической информации.

К книге прилагается компакт-диск с программой и файлами справочных данных на применяемые в схемах радиоэлементы: микросхемы, транзисторы, оптоэлектронные приборы, датчики, диоды и т.д.

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

**ОДЭКА**  
www.dodeca.ru

ISBN 978-594120-211-9



9 785941 202119

С. М. Рюмик

# **1000 и одна микроконтроллерная схема**

Выпуск 1



Москва  
Издательский дом «Додэка-XXI»  
2010

УДК 004.312.46  
ББК 32.973.26-04-018.2  
Р97

**Рюмик, С. М.**

1000 и одна микронтроллерная схема. Вып. 1 / С. М. Рюмик. — М. : Додэка-XXI, 2010. — 356 с. : ил. + CD. — (Серия «Программируемые системы»). — ISBN 978-5-94120-211-9.

Книга является первым выпуском своеобразной энциклопедии схем по применению микроконтроллеров. В ней представлено более 1000 электрических схем. Рассматриваются подсистемы ввода (подключение механических, ёмкостных, индуктивных, акустических, оптических, температурных и других датчиков), синхронизации (с использованием кварцевых и керамических резонаторов,  $RC$   $LC$  детекторы напряжения, сторожевые таймеры), а также организация питания. Все электрические схемы снабжены краткими пояснениями о назначении элементов. Главные принципы подачи материала — логичное и понятное изложение теории, дополненное большим количеством полезной практической информации.

К книге прилагается компакт-диск с программами и справочными данными на применяемые в схемах радиоэлементы: микросхемы, транзисторы, датчики, диоды и т.д.

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

УДК 004.312.46  
ББК 32.973.26-04-018.2

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 978-5-94120-211-9

© Издательский дом «Додэка-XXI», 2010  
© Рюмик С.М., 2010

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> . . . . .	7
<b>ГЛАВА 1. ЧТО ТАКОЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕР?</b>	
1.1. Структурная схема МК . . . . .	10
1.2. Процессоры встраиваемых систем. . . . .	14
1.3. Направления любительских разработок . . . . .	16
1.4. Мифы и реальность . . . . .	18
1.5. Классификация МК . . . . .	20
1.6. Какой МК выбрать любителям. . . . .	24
1.7. Какой МК выбрать профессионалам . . . . .	25
Список использованных источников и литературы к главе 1 . . . . .	28
<b>ГЛАВА 2. ИДЕАЛИЗИРОВАННЫЙ МК</b>	
2.1. Системный уровень . . . . .	29
2.2. Эквивалентные схемы узлов и блоков МК . . . . .	31
2.2.1. Подсистема программирования . . . . .	31
2.2.2. Подсистема питания. . . . .	37
2.2.3. Подсистема начального сброса. . . . .	43
2.2.4. Подсистема синхронизации . . . . .	48
2.2.5. Подсистема портов ввода/вывода . . . . .	52
2.3. Ограничения и условные обозначения . . . . .	66
Список использованных источников и литературы к главе 2 . . . . .	73
<b>ГЛАВА 3. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УЗЛОВ ВВОДА МК</b>	
3.1. Датчики напряжения . . . . .	74
3.1.1. Сеть 220 В . . . . .	74
3.1.2. Сеть 380 В . . . . .	80
3.1.3. Входные цепи для внутреннего АЦП . . . . .	81
3.1.4. Входные цепи для внешнего АЦП . . . . .	83
3.1.5. Амплитудные детекторы . . . . .	85
3.1.6. Контроль сигналов низкого напряжения. . . . .	88
3.1.7. Контроль сигналов высокого напряжения . . . . .	94

3.1.8.	Внутренний аналоговый компаратор . . . . .	96
3.1.9.	Приём сигналов с телефонной линии . . . . .	99
3.1.10.	Приём цифровых логических сигналов . . . . .	105
3.1.11.	Приём шумоподобных сигналов . . . . .	108
3.2.	Входные усилители сигналов . . . . .	110
3.2.1.	Усилители на транзисторах . . . . .	110
3.2.2.	Усилители на микросхемах . . . . .	113
3.2.3.	Усилители на транзисторах и микросхемах . . . . .	120
3.2.4.	Трансформаторная развязка . . . . .	123
3.3.	Механические датчики . . . . .	124
3.3.1.	Энкодеры . . . . .	124
3.3.2.	Герконы . . . . .	127
3.3.3.	Кнопки, переключатели . . . . .	128
3.3.4.	Механические контакты . . . . .	135
3.3.5.	Реостатные датчики . . . . .	136
3.3.6.	Датчики уровня жидкости . . . . .	139
3.3.7.	Датчики вибрации . . . . .	140
3.4.	Ёмкостные датчики . . . . .	143
3.4.1.	Датчики внесения ёмкости . . . . .	143
3.4.2.	Датчики сетевых наводок . . . . .	148
3.4.3.	Датчики ускорения . . . . .	151
3.5.	Акустические датчики . . . . .	153
3.5.1.	Электретные микрофоны . . . . .	153
3.5.2.	Микрофоны электродинамические . . . . .	160
3.5.3.	Громкоговорители динамические . . . . .	162
3.6.	Оптические датчики . . . . .	164
3.6.1.	Фоторезисторы . . . . .	164
3.6.2.	Фотодиоды . . . . .	166
3.6.3.	Фототранзисторы . . . . .	172
3.6.4.	Интегральные фотомодули . . . . .	176
3.6.5.	Фотоприёмники в оптопарах . . . . .	178
3.6.6.	Датчики с открытым оптическим каналом . . . . .	183
3.6.7.	Видеодатчики . . . . .	186
3.7.	Индуктивные датчики . . . . .	190
3.7.1.	Бесконтактные индуктивные датчики . . . . .	190
3.7.2.	Индуктивные датчики электромагнитного поля . . . . .	191
3.8.	Температурные датчики . . . . .	194
3.8.1.	Терморезисторы . . . . .	194
3.8.2.	Термопары . . . . .	198
3.8.3.	Термодатчики на диодах . . . . .	200
3.8.4.	Термодатчики на транзисторах . . . . .	201
3.8.5.	Интегральные аналоговые термодатчики . . . . .	203
3.8.6.	Интегральные цифровые термодатчики . . . . .	205
3.9.	Датчики тока . . . . .	208
3.9.1.	Резисторные датчики тока . . . . .	208

3.9.2. Гальванически изолированные датчики тока . . . . .	211
3.10. Датчики магнитного поля . . . . .	214
3.10.1. Датчики Холла. . . . .	214
3.10.2. Магнитодиоды. . . . .	217
3.10.3. Электронные магнитные компасы . . . . .	218
3.11. Разные датчики . . . . .	220
3.11.1. Детекторы радиоизлучения . . . . .	220
3.11.2. Датчики атмосферного давления . . . . .	225
3.11.3. Подключение нескольких разнородных датчиков . . . . .	226
3.12. Необычные схемы узлов ввода . . . . .	229
Список использованных источников и литературы к главе 3 . . . . .	234
<b>Глава 4. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УЗЛОВ УПРАВЛЕНИЯ МК</b>	
4.1. Формирователи сигнала начального сброса . . . . .	243
4.2. Детекторы «просадок» напряжения питания. . . . .	247
4.3. Внешний сторожевой таймер (Watch-Dog). . . . .	251
4.4. Схемы «самоблокировки» питания . . . . .	253
4.5. Внешние источники опорного напряжения . . . . .	258
4.6. Тракты аналогового и цифрового питания . . . . .	261
Список использованных источников и литературы к главе 4 . . . . .	263
<b>Глава 5. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УЗЛОВ синхронизации МК</b>	
5.1. Стабилизация частоты кварцевым резонатором. . . . .	264
5.2. Стабилизация частоты пьезокерамическим резонатором . . . . .	269
5.3. Внешние <i>RC</i> - и <i>LC</i> -генераторы. . . . .	271
5.4. Ввод тактовых сигналов . . . . .	273
5.5. Вывод синхронизирующих сигналов . . . . .	280
Список использованных источников и литературы к главе 5 . . . . .	282
<b>Глава 6. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПОДАЧИ ПИТАНИЯ НА МК</b>	
6.1. Питание от сети 220 В через «сетевую вилку» . . . . .	283
6.2. Питание от сети 220 В через трансформатор. . . . .	286
6.3. Бестрансформаторное сетевое питание. . . . .	288
6.4. Параметрические стабилизаторы напряжения . . . . .	293
6.5. Интегральные стабилизаторы положительного напряжения . . . . .	295
6.6. Двухполярные стабилизаторы напряжения . . . . .	300
6.7. Ограничители входного напряжения . . . . .	304
6.8. Импульсные DC/DC-преобразователи напряжения . . . . .	305
6.9. Питание МК от разъёмов компьютера . . . . .	310
6.10. Бесперебойное питание . . . . .	315
6.11. Подзарядка аккумуляторных батарей . . . . .	320
6.12. Питание от солнечных элементов . . . . .	322
6.13. Питание от телефонной линии . . . . .	324
6.14. Защита от всплесков тока и напряжения . . . . .	325
6.15. Защита от смены полярности питания . . . . .	328
6.16. Фильтры по питанию. . . . .	330
6.17. Электронное включение питания . . . . .	333

6.18. Необычные источники питания . . . . .	336
Список использованных источников и литературы к главе 6 . . . . .	339

**Глава 7. СХЕМЫ, НЕ РЕКОМЕНДУЕМЫЕ К ПРИМЕНЕНИЮ**

7.1. Общие критерии и факторы . . . . .	342
7.2. Условные обозначения и пример анализа . . . . .	343
7.3. Коллекция не рекомендуемых схем . . . . .	344
Список использованных источников и литературы к главе 7 . . . . .	348

**Приложения**

Приложение 1. Содержание компакт-диска . . . . .	349
Приложение 2. Ссылки и адреса в Интернете . . . . .	351
Приложение 3. Список аббревиатур. . . . .	355



# ВВЕДЕНИЕ

*Наиболее трудная часть — это вступление  
(Цицерон)*

Человеку, поставившему перед собой цель научиться работать с микроконтроллером (МК), предстоит ответить на массу вопросов. Какое семейство МК выбрать? Где взять программное обеспечение? Как правильно подключить к МК внешние цепи? Какой алгоритмический язык выучить? В конце концов, с чего начать?!

Фундаментальные учебники и фирменные руководства для этих целей не годятся, слишком уж сложные и громоздкие они для начинающих. Как следствие, многие пользователи до сих пор не решаются разрабатывать свои собственные микроконтроллерные конструкции, ограничиваясь покупкой микросхемы и её «слепой» прошивкой по чужому HEX-файлу. А ведь хотелось бы самому научиться применять МК, благо практических направлений для этого существует множество.

Настоящая книга задумана как универсальный и разноплановый помощник. Для начинающих — это мини-учебник по основам микроконтроллерной техники. Для более опытных — подборка из «тысячи и одной» электрической схемы, которые аккуратно разложены по тематическим рубрикам. Для профессионалов — источник свежих идей для экспериментов в новых разработках.

Разумеется, в одной книге нельзя осветить все нюансы работы с МК, однако дать начальное направление, ускорение или «толчок» — можно. Основными принципами подачи материала являются: доходчивость, логичность изложения, компактность оформления схем и пояснений. Чтобы не распыляться, предусмотрена разумная система ограничений. В частности, МК представлен обобщённой моделью без привязки к конкретному изготовителю. Кроме того, на схемах изображаются только прилегающие части периферийных узлов, ничего лишнего.

В теоретической части книги (главы 1, 2) представлены начальные сведения об устройстве МК, даны технические характеристики разных микроконтроллерных семейств. Показано внутреннее строение подсистем МК на структурном, функциональном и логическом уровнях. Проведен обобщённый анализ, который позволяет составить своеобразный «фоторобот» универсального МК, включающего в себя черты наиболее популярных среди радиолюбителей микросхем.

В практической части книги (главы 3...7) освещается схемотехника подключения к МК внешних устройств. В данной области до сих пор отсутствует систематизация, поэтому автором сделана попытка создать банк типовых решений, который в дальнейшем может дополняться, уточняться, расширяться. Такой схемный

архив обладает определённой универсальностью, и разработчики вправе черпать из него идеи применительно к другим микроконтроллерным платформам разрядностью 8, 16 и 32 бита. Знание стандартных схемотехнических приёмов позволяет проектировать устройства по блочному принципу, когда в качестве элементарных «кирпичиков» используются готовые узлы из представленной базы данных.

В справочной части книги (приложения 1, 2) даны интернет-ссылки, без которых в нынешнее время немислима идентификация и перепроверка информации. На прилагаемом компакт-диске продублированы файлы фирменных даташитов (англ. «datasheet»). Это технические данные на радиоэлементы, применяемые в схемах книги. По ним будет легко ориентироваться в назначении деталей.

Какие главы и в каком порядке изучать? Согласно общепринятой методологии: сначала теория, затем практика. Если книга используется как справочное пособие, то порядок изучения не принципиален.

Материал в теоретической части рассчитан на последовательное чтение по восходящей спирали «от простого к сложному». Первоначально МК представляется в виде «чёрного ящика» с неизвестной внутренней структурой, свойства которого проявляются постепенно, как на фотоплёнке, по мере накопления знаний и приобретения опыта.

С коллекцией электрических схем надо работать творчески. Во многих случаях даже беглый просмотр всех схем подряд может на подсознательном уровне привести к «озарению». Пояснения к схемам приводятся в подрисуночных надписях, что значительно сокращает место и убирает «пустоты». С другой стороны, аскетическая краткость описания заставляет читателя стать активным участником процесса, самостоятельно анализировать принцип работы устройства и самому додумывать: какие сигналы и в какой последовательности должен формировать МК.

Много подсказок по назначению тех или иных радиоэлементов содержится в аналогичных по начертанию схемах, размещённых в других разделах книги. Это ещё один повод внимательно читать все подрисуночные тексты и «наматывать на ус» стандартные схемотехнические приёмы.

Считается, что разработчик микроконтроллерных схем должен обязательно иметь под рукой компьютер и очень желательно, чтобы последний был подключён к Интернету. Такой подход сэкономит массу времени на поиск дополнительной информации, ведь многие технические решения свободно размещаются во всемирной Сети. Примером могут служить микроконтроллерные программаторы. Чтобы в них сориентироваться, в книге приводятся ссылки на необходимые схемы и программы. Подключают программаторы через порты LPT, COM, USB настольного компьютера или ноутбука.

К сожалению, умение держать в руках паяльник сейчас не в моде. Многие молодые специалисты, получившие диплом инженера по электронике, с радиолюбительским делом — только на «Вы». Возможно, что детальное знакомство с МК на простых учебных примерах поможет снять психологический барьер и подскажет, как реализовать инженерные задумки в «железе».

В отличие от других изданий, посвящённых МК, в настоящей книге нет подробного описания ассемблерных команд, управляющих регистров, системы прерываний, временных диаграмм, цоколёвки и назначения выводов конкретных микросхем. Это справочная информация, доступная в даташитах и на сайтах

фирм-изготовителей. Основная задача формулируется следующим образом — научить пользователя поблочно синтезировать схемы входных и выходных узлов, а также правильно подключать цепи синхронизации, сброса и питания.

Все приводимые далее электрические схемы специально выполнены в «спартанской» графике с упрощённым изображением микросхемы МК. Тем самым разработчик абстрагируется от конкретного микроконтроллерного семейства и сосредотачивает своё внимание на деталях внешней «обвязки».

Чтобы облегчить понимание сути вопросов, во многие схемы были внесены не-принципиальные изменения по сравнению с оригиналами. Например, номиналы радиоэлементов корректировались применительно к «идеализированному» МК, кое-где добавлялись цепи защиты и элементы, повышающие эксплуатационную надёжность. Естественно, что в конструкциях двадцатилетней давности про МК речь вообще не шла, но оригинальные идеи с годами не стареют, и они тоже были использованы в настоящей книге.

Объяснение теоретических постулатов в микроконтроллерной технике имеет свою специфику. Кое-что приходится объяснять «на пальцах», приводить образные сравнения, давать нестандартные аналогии, изобретать новые термины и понятия. Что из всего этого приживётся — покажет время.

Ссылки на первоисточники даны в конце каждой главы, а интернет-адреса печатных изданий приводятся в приложении 2. Дать полную библиографическую справку по всем заимствованным схемам не представляется возможным из-за многочисленных перепечаток, кочующих из одного издания в другое, из-за совпадения мыслей у разных авторов, из-за очевидности технических решений.

При формировании банка схем были использованы идеи, принципы и концепции, опубликованные в открытой литературе, печатных журналах, в Интернете. Это не противоречит части 4 статьи 6 Закона Российской Федерации «Об авторском праве и смежных правах» — «Авторское право *не распространяется* на идеи, методы, процессы, системы, способы, концепции, принципы, открытия, факты».

В первую книгу («Выпуск 1») включены электрические схемы входных узлов, а также схемы организации питания, начального сброса и синхронизации. Это примерно половина минимально необходимого материала. Оставшаяся часть, а именно, схемы выходных, комбинированных и интерфейсных узлов будут освещаться во второй книге («Выпуск 2»). Туда же войдёт изучение основ языка программирования Си на конкретных примерах.

В каждой из книг планируется публиковать комплексные подборки, состоящие не менее, чем из 1001 схемы. Почему «1001»? Во-первых, это «магическое число Шахерезады», во-вторых, если серьёзно, — это условный оптимум, позволяющий использовать книгу не как тяжёлый, пылящийся на полке фолиант, а как удобный настольный справочник.

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 и CD.

## ЧТО ТАКОЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕР?

*Мал муравей, да горы копает  
(Русская пословица)*

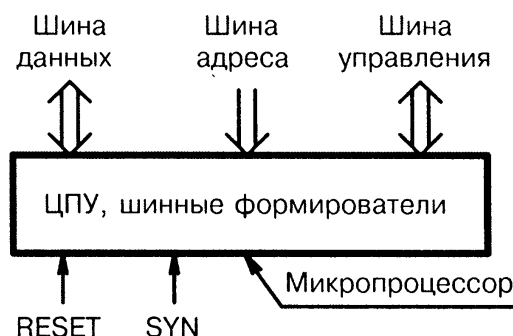
### 1.1. Структурная схема МК

Если переводить слово «микроконтроллер» (англ. «microcontroller») дословно, то получится «миниатюрное устройство, предназначенное для управления». Здесь принято во внимание, что термин «control» в англоязычных текстах гораздо чаще имеет значение «управлять», чем «контролировать». На практике в функции МК входит контроль и управление производственными процессами, бытовыми приборами, спецтехникой, системами сбора информации, принтерами, факсами, сотовыми телефонами и т.д.

Следует отличать МК от микропроцессоров, микроконверторов, цифровых сигнальных процессоров и микрокомпьютеров. Слова по звучанию похожие, но по смыслу разные. Что их объединяет — это наличие в одном корпусе набора узлов, пригодных для построения функционально законченной системы управления.

Исторически первыми появились *микропроцессоры*. Их родоначальником стала микросхема i4004, которую фирма Intel представила миру 15 ноября 1971 г.

Обобщённая структурная схема типового микропроцессора показана на **Рис. 1.1**. В его основе — центральное процессорное устройство (ЦПУ), которое содержит арифметический вычислитель, логическое ядро и регистры общего назначения. С внешним миром ЦПУ общается при помощи трёх шин: адреса, данных и управления. По этим же шинам в него поступают коды управляющей программы, которая хранится на внешнем носителе. Начальная установка регистров ЦПУ производится по сигналу сброса RESET, а синхронизация работы осуществляется от тактовых импульсов SYN.



**Рис. 1.1.** Структурная схема микропроцессора.

Разделение процессоров на обычные процессоры и микропроцессоры возникло в 1970-х годах с началом производства больших интегральных схем (БИС). Радиолюбители со стажем хорошо помнят микропроцессоры КР580ВМ80А и Zilog Z80А, применявшиеся в первых домашних компьютерах «Радио-86РК», «Специалист», «ZX-Spectrum», а также в телефонах с АОН — автоматическим определителем номера абонента.

Если к ЦПУ на кристалл добавить оперативное и постоянное запоминающие устройства (ОЗУ, ПЗУ), таймеры, счётчики, аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи (АЦП, ЦАП), интерфейсные узлы и порты ввода/вывода, то микропроцессор превратится в МК (Рис. 1.2). Первые МК были разработаны фирмой Intel в 1976 г. У истоков стояло семейство MCS-48 во главе с первенцем — микросхемой i8048. Существует и другое мнение, согласно которому первым МК был четырёхбитный TMS1000 фирмы Texas Instruments (1972 г.), который содержал 32 байта ОЗУ, 1 Кбайт ПЗУ, часы реального времени и систему ввода/вывода. В середине 1980-х годов в СССР появились первые аналоги семейств MCS-48/51 на популярных БИС из серий К1816, КР1830. Их называли однокристалльными микро-ЭВМ или программируемыми контроллерами, но в лексике эти термины не закрепились.

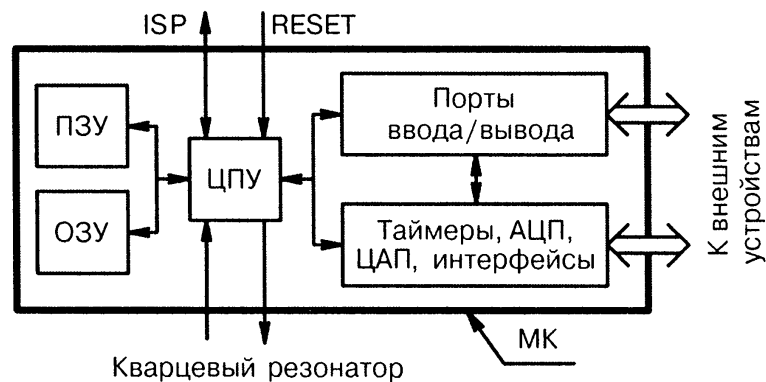


Рис. 1.2. Структурная схема МК.

Согласно одному из многих определений, МК — это специализированный микропроцессор, оснащённый приборными интерфейсами. Главным отличием между микропроцессором и МК является самодостаточность и способность к «самовывживанию» последнего. Например, тактовые импульсы вырабатывает встроенный синхрогенератор, который может работать как автономно, так и от внешнего кварцевого резонатора. Порты ввода/вывода гибко перестраивают свои функции и могут напрямую соединяться с датчиками и исполнительными устройствами. Управляющая программа хранится во внутреннем, а не во внешнем, ПЗУ. Её легко стирать и модифицировать, поскольку современные МК содержат многократно перезаписываемую флэш-память (FLASH). Для программирования обычно используется интерфейс ISP (In-System Programming), который не требует извлечения МК из панельки в печатной плате.

Иногда МК уменьшительно называют «контроллерами». Здесь надо правильно понимать смысл, к чему относится фраза, ведь существуют и настоящие «промышленные контроллеры», представляющие собой готовое изделие или печатную плату с радиоэлементами, среди которых может находиться процессор и МК.

*Микроконвертор* — это удачное рекламное изобретение фирмы Analog Devices. Первым микроконвертором был ADuC812, выпущенный в 1998 г. Ключевое слово «MicroConverter» является официальной торговой маркой и защищено юридическими правами. Относится оно к линейкам микросхем ADuC7xxx, ADuC8xx, выполняющих функцию центрального ядра интеллектуальных систем сбора информации.

«Изюминкой» микроконверторов является быстродействующий прецизионный АЦП, дополненный универсальным блоком логической обработки данных и многоразрядным ЦАП. Если учесть сверхнизкое потребление тока и малые габариты микроконверторов, то становится ясно, что специализированные «АДyКи» по праву занимают свою нишу на рынке.

Тем не менее, структурные схемы у микроконверторов и МК полностью совпадают. Однако принципиальная разница всё же имеется. Заключается она в идеологии разработки — «Что первично, курица или яйцо?». Для обычного МК сначала выбирается цифровое вычислительное ядро, а затем к нему добавляется АЦП и ЦАП. В противоположность этому, ядром микроконвертора изначально служит связка прецизионных АЦП и ЦАП, к которым добавляется управляющий процессор. Такие рассуждения вполне логичны, учитывая богатый опыт фирмы Analog Devices в разработке уникальных по параметрам аналоговых микросхем.

*Цифровые сигнальные процессоры* (англ. DSP — **D**igital **S**ignal **P**rocessor) тоже относятся к подвиду «микроконтроллерных» (Рис. 1.3). Их «коньком» является обработка широкополосных сигналов в режиме реального времени. Это характерно как для аудио/видео техники, так и для систем гибкого управления роботизированными комплексами. Достижению цели способствует высокое быстродействие ядра сигнального процессора (СП), многопоточная система обслуживания памяти и наличие аппаратных математических команд, например, для быстрого преобразования Фурье. Обычные МК такими возможностями не обладают.

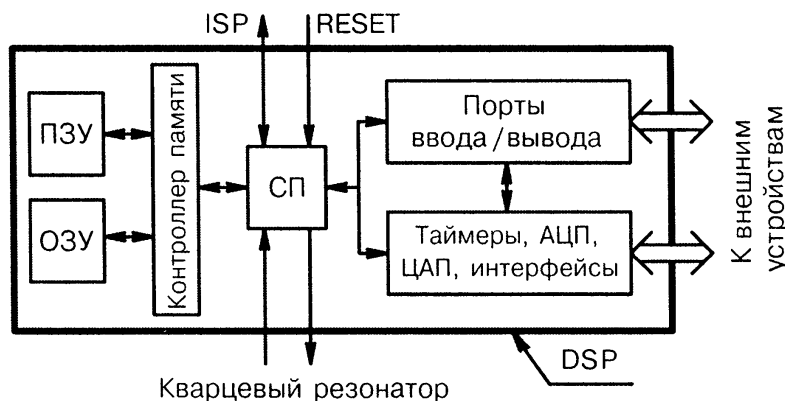


Рис. 1.3. Структурная схема DSP.

Первые DSP появились в конце 1970-х годов через несколько лет после первых МК, однако высокая цена и технологические ограничения того времени не позволили им соревноваться на равных. Лишь в 1982 г. фирма Texas Instruments сделала революционный прорыв, выпустив в продажу первый универсальный программируемый DSP TMS32010. Его концепция стала стандартом «де-факто» для всех последующих сигнальных процессоров и их собратьев — цифровых сигнальных контроллеров (англ. DSC — **D**igital **S**ignal **C**ontroller). К числу последних,

в частности, относится известное среди радиолюбителей семейство dsPIC фирмы Microchip Technology Inc. (сокращённо Microchip).

Различия в архитектуре и узкая специализация привели к тому, что направление DSP/DSC выделилось в отдельную от МК сферу разработок с количеством разновидностей моделей более 300. Считается, что основным отличительным признаком DSP является отсутствие развитой системы команд управления, т.е. условных переходов, косвенных вызовов подпрограмм и т.д., которые необходимы для выполнения задач сопряжения с внешними объектами. Процессор в DSP и его система команд ориентированы на наивысшую скорость преобразования поступающих входных данных. На управленческие «мелочи» вычислительных ресурсов уже не хватает.

Как показало время, уход DSP из микроконтроллерной «альма-матер» получился не долгим. Сейчас наступает этап мирной конвергенции. Современные МК заимствуют от DSP аппаратное умножение и специализацию команд, а DSP заимствуют от МК универсальные интерфейсы ввода/вывода и гибкость в платформе программирования. Грани различий постепенно стираются.

В начале 1980-х годов с лёгкой руки японской фирмы Hitachi в обиход вошло «новое старое» название «микрокомпьютер». Этим звучным термином в даташитах стали называть быстродействующие процессоры линейки «Hitachi SuperH». В рекламе возможностей чипов «SuperH microcomputer SH7000 series» подчёркивалось, что на одной микросхеме теперь можно построить управляющую систему реального времени, превышающую по производительности обычный настольный микрокомпьютер.

Надо знать, что в те годы к микрокомпьютерам относили и «продвинутые» калькуляторы фирмы Hewlett Packard, и домашние компьютеры «Apple-II», и облегчённые модели специализированных вычислителей для научных экспериментов. Интересно, что впервые слово «микрокомпьютер» в 1956 г. употребил американский писатель-фантаст Айзек Азимов [1-1].

Современный микрокомпьютер (Рис. 1.4) содержит все составляющие МК или DSP, но вдобавок имеет на борту контроллер шин для подключения внешней высокоскоростной памяти, а также аудио- и видеопроцессоры. Последние, как правило, не уступают ЦПУ по сложности и функциональности. Примеры упрощённых микрокомпьютеров из повседневной жизни — это однокристальные СБИС китайских клонов игровых приставок «Dendy», «SEGA Mega Drive-II».

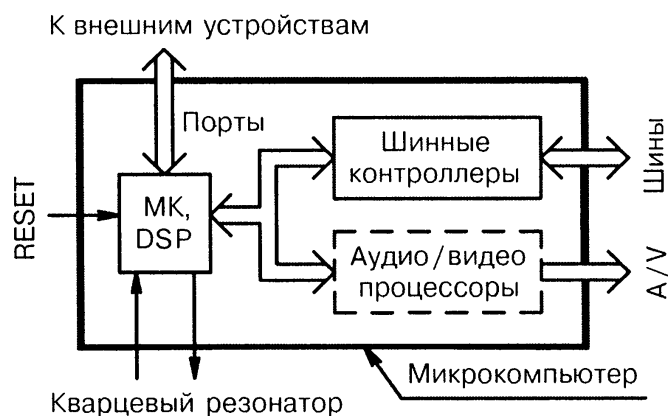


Рис. 1.4. Структурная схема микрокомпьютера.

Современные технологии добавляют новые штрихи к устоявшейся классификации микросхем. Перспективным считается объединение разных вычислительных архитектур на одном кристалле, что стало возможным благодаря повышению степени интеграции транзисторов. Сейчас производят двухядерные чипы, содержащие одновременно ЦПУ, что характерно для МК, и сигнальный процессор, что характерно для DSP. Первый из них управляет исполнительными механизмами, а второй осуществляет обработку данных. Именно такую структуру имеет встраиваемый 32-битный сигнальный контроллер 1892VM3T на базе российской платформы «Мультикор» [1-2].

Слово «микро» в названии современных МК порой звучит весьма архаично. Например, «девайс» AT91CAP9S500A фирмы Atmel согласно даташиту называется «Customizable Microcontroller Processor». Но можно ли всерьёз говорить о микросвойствах изделия, которое размещается в корпусе с 400 (!) выводами, имеет тактовую частоту 200 МГц, поддержку DSP-команд, звуковой процессор, десятков встроенных периферийных интерфейсов и 500 тысяч вентилях ПЛИС?

Сейчас уже не спорят о том, к какому подвиду относится очередной сверхбольшой чип, а рассуждают о конкретном режиме его работы. К примеру, в одних изделиях он может использоваться как быстродействующий DSP, в других — как многопортовый МК, в третьих — как управляющий центральный процессор с собственной операционной системой и т.д.

## 1.2. Процессоры встраиваемых систем

Жёсткое разделение микросхем на МК, микропроцессоры и DSP было характерно в конце XX века. В нынешнее время грани различий постепенно стираются, и на их месте появляются новые структурные и лексические образования.

МК всё чаще относят к классу процессоров для встраиваемых применений или, по-другому, процессоров встраиваемых систем (embedded processor). Знаменитый «чёрный плавник» Blackfin ADSP-BF5xx фирмы Analog Devices так и называется в даташите — «Embedded Processor».

По определению [1-3], встраиваемые вычислительные системы — это системы, которые непосредственно, без постоянного присутствия человека, взаимодействуют с датчиками и исполнительными устройствами управляемого объекта.

Специфика встраиваемых систем:

- физическое расположение управляющего устройства внутри или вблизи от объекта;
- высокоскоростная обработка данных в режиме реального времени;
- широкое применение алгоритмов автоматического регулирования (конечные автоматы, фазовая автоподстройка частоты, ПИД-регуляторы);
- наличие канала связи с удалённым компьютером или с системой сбора информации;
- повышенные требования к миниатюрности, экономичности, надёжности, долговечности;
- широкий диапазон температур, работа при высоком уровне помех.



За примерами встраиваемых систем далеко ходить не надо. Это бортовые и панельные компьютеры, портативные измерительные приборы, системы видеонаблюдения, роботы, сетевое оборудование, сотовые телефоны (Рис. 1.5).

 Аудио	 Автомобиль	 Компьютерная периферия
 Игры	 Измерение	 Медицина
 Питание	 Телефония	 Безопасность
 Видео	 Сети	 Управление

Рис. 1.5. Сферы применения встраиваемых систем.

Процессоры, применяемые во встраиваемых системах, занимают строго определённое место в общей иерархии «древа эволюции» (Рис. 1.6). Предметом дальнейшего изучения специально выбраны универсальные МК начального уровня. Без их освоения нельзя сразу перейти ни к DSP, ни к мультимедийным процессорам. Нужна определённая база знаний, своего рода платформа, «школа», без которой нельзя поступить в процессорный «университет».

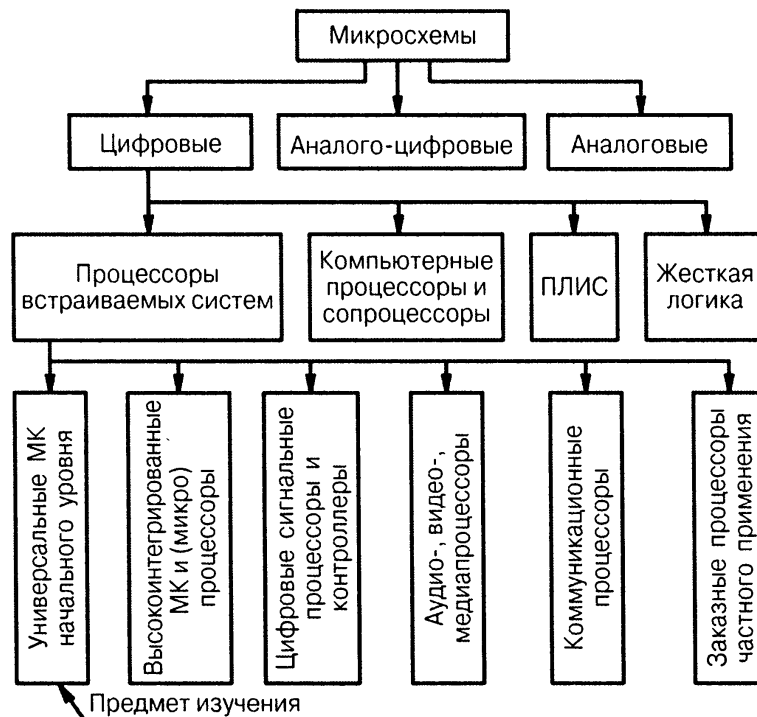


Рис. 1.6. Иерархия микросхем.

В фирмах, постоянно занимающихся разработкой аппаратуры для встраиваемых применений, существует чёткое распределение обязанностей (Рис. 1.7). Координатор проекта должен знать назначение устройства, межсистемные связи, быть немного маркетологом, немного экономистом, немного техническим менеджером и финансистом. Именно он составляет и уточняет с исполнителями техническое задание на разработку. Этот человек отвечает за сроки и знает, что он хочет получить от остальных членов команды. Электронщик является «правой рукой» системщика, поскольку от него во многом зависит реальная, а не виртуальная, работоспособность изделия. Программист служит интеллектуальным «мозгом» проекта. Без его искусного программирования ни МК, ни ПЛИС не заработают в полную силу. Конструктор отвечает за общую компоновку изделия, механическую прочность и надёжность. Часто в его обязанности входит разводка печатных плат и проведение испытаний.

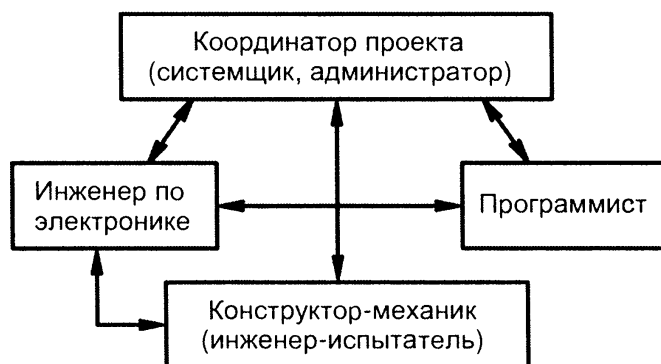


Рис. 1.7. Коллектив разработчиков проекта для встраиваемых систем.

Радиолюбитель, судя по всему, должен быть универсалом или на сленге — «микроконтроллерным эмбеддером». Он, как человек-оркестр, сам себе составляет техническое задание, рисует электрическую схему, моделирует на компьютере работу отдельных узлов, программирует МК, изготавливает механические детали конструкции.

Хорошо, если удаётся увлечь за собой семейный тандем, например, умница-дочь составляет программу, а сообразительный сын запаивает детали в печатную плату. Но в большинстве случаев радиолюбительство представляется для окружающих сугубо индивидуальным хобби, хотя иной раз и не бесполезным.

### 1.3. Направления любительских разработок

К человеку, разбирающемуся в «радио», всегда было особое, почтительное отношение. Считается, что первые описания радиолюбительских конструкций появились в 1898 г., когда англичанин Лесли Миллер (Leslie Miller) опубликовал работу «The Model Engineer and Amateur Electrician» [1-4], а в России в «Журнале новейших открытий и изобретений» была напечатана статья «Домашнее устройство опытов телеграфирования без проводов». И в том, и в другом случае речь шла о построении своими силами искрового приёмопередатчика, обеспечивающего связь на расстоянии до 25 метров.

Первые радиолюбители занимались беспроводной связью чаще всего из любопытства или в рамках университетской науки, без получения материальной выгоды. Среди юных первопроходцев следует отметить пятиклассника Киевского коммерческого училища Михаила Бонч-Бруевича, который ещё зимой 1906 г. сам построил «передатчик и приёмник волн Герца» [1-5].

Современное радиолюбительство развивается по следующим направлениям:

- изготовление бытовых приборов, ещё не освоенных промышленностью;
- ремонт и совершенствование заводских изделий;
- разработка нестандартных схем включения радиоэлементов;
- создание единичных приборов с уникальными параметрами;
- конструирование аппаратуры для спортивной радиосвязи;
- измерительная, автомобильная, медицинская электроника;
- автоматизация и роботизация быта (концепция «умного дома»).

Просматривается чёткая тенденция на отказ от кустарной разработки сложных изделий. Никаких самодельных видеоманитонов, телевизоров, магнитол, компьютерных аксессуаров. Их проще и дешевле купить в магазине или заказать через Интернет.

Идеальная любительская конструкция должна быть такой, чтобы повторить её можно было за пару выходных дней. Вместо «россыпи» микросхем малой и средней степени интеграции применяют один МК. Основная задача разработчика теперь сводится к придумыванию алгоритма функционирования программы, её компиляции и прошивке в память чипа.

В Интернете, словно грибы после дождя, появляются сайты, посвящённые различным микроконтроллерным конструкциям. Правда, их авторы демонстрируют в основном готовые технические решения с файлами прошивок, но без листингов программ и объяснений. Устройство можно повторить «один к одному» и использовать в личных (не коммерческих) целях. Однако внести программные изменения или улучшить алгоритм функционирования — не получится.

Профессионалы не спешат делиться секретами ремесла и технологиями создания микроконтроллерных программ. Девиз их презентаций: «Смотрите, как хорошо я умею делать». Основная задача таких проектов — показать потенциальному работодателю или коллегам, на что способен разработчик.

К счастью, существуют и другие сайты, на которых подробно расписываются чьи-то небольшие, но интересные исследования, приводится последовательность действий по шагам от нуля до получения конечного положительного результата. Широко практикуется выкладывание фотографий, скриншотов, видеоуроков. Всё более привычной становится открытая публикация исходных листингов программ с лицензией OpenSource. Всем миром в Сети накапливается глобальная база микроконтроллерных знаний.

Чего же не хватает современному радиоконструктору? Сейчас и МК приобрести не так сложно, и идей в голове хватает, но как дойдёт дело до совмещения электроники и программирования — «Стоп, машина!». Хороший программист, как правило, слаб в составлении электрических схем, а хороший схемотехник пасует перед простейшей программой. Чтобы совместить эти две составляющие, надо избавиться от распространённых заблуждений.

## 1.4. Мифы и реальность

Народная мудрость гласит: «Любая задача по плечу, если цель оправдана и времени достаточно». Чтобы убедить читателей в полезности дальнейших занятий и в оправданности траты времени, необходимо проанализировать некоторые устоявшиеся мифы [1-6].

*Миф 1: МК — это дорого.*

Для профессиональных применений, скорее «да», чем «нет», для бытовых изделий — наоборот. Судите сами, цена дешёвых многократно программируемых МК с флэш-памятью составляет 1...2 доллара США. Если учесть, что микросхема обычно устанавливается в панельку на плате, то один и тот же МК после перепрограммирования можно использовать в нескольких разных приборах. Получается практически «вечная» микросхема, вплоть до её морального старения или до физического исчерпания ресурса ПЗУ (более 100000 циклов «запись-стирание»).

В наши дни сложилась уникальная ситуация, когда нет большой разницы в доступности микроконтроллерной элементной базы в разных странах мира. На первый план выходит логическое мышление, талант программиста и знание стандартных схем включения. Вот где надо бы приложить знаменитую славянскую смекалку и сообразительность, оправдывая тезис о высоком интеллектуальном потенциале нации.

*Миф 2: для МК нужен сложный программатор.*

Действительно, заводские сертифицированные программаторы, по которым фирмы-изготовители МК принимают от потребителей претензии к качеству продукции, — это сложные и дорогостоящие приборы. Приобретают их обычно крупные промышленные предприятия, аттестованные по системе ISO-9001, на которых налажен массовый выпуск продукции с МК.

Для любительских условий подойдут простейшие самодельные программаторы, подключаемые к персональному компьютеру или ноутбуку через разъёмы COM, LPT, USB. Стоимость деталей самых дешёвых из них составляет 1...2 доллара США. Во многих современных МК программатор вообще может потребоваться только один раз для прошивки начального загрузчика. Дальнейшее программирование производится «на лету» по стандартным каналам компьютера COM, USB.

*Миф 3: сложно разобраться в архитектуре МК.*

Разумеется, научиться чему-либо без желания и труда — это нереально. С другой стороны, когда в учебнике с многообещающим названием «МК для начинающих», встречается фраза: «...Основой булева процессора служит аккумуляторный принцип архитектуры с переключаемыми банками рабочих регистров...», то даже у самого усердного ученика опускаются руки.

Предлагаемая далее методика построена на представлении МК в виде автономного блока с известными входными и выходными сигналами. Его внутренняя структура будет сымитирована максимально упрощёнными схемами, которые практически одинаковы для МК разных платформ. При этом пользователю не обязательно знать детальное строение адресного пространства ОЗУ, не надо изучать косвенно регистровые и страничные способы адресации памяти. Немного абстракции, немного упрощений, немного старания и всё получится. Фантастика? Попробуйте и удостоверьтесь сами.

*Миф 4: сложно освоить составление программ.*

Если начинать с Ассемблера, то «да», а если с языка Си, то «нет». Программу на Ассемблере сложнее составлять, дольше отлаживать, труднее анализировать. Вдобавок к тому, нужно максимально глубоко вникать в архитектуру конкретного МК. Но, даже досконально изучив, например, все ассемблерные команды семейства MCS-51, всё равно придётся начинать почти с нуля при переходе на AVR- или PIC-контроллеры.

Язык Си, как инструмент программирования высокого уровня, позволяет абстрагироваться от мелочей. В частности, можно не держать в уме названия регистров общего назначения, не помнить их количество, не контролировать глубину стека при входе и выходе из подпрограммы. Всё это производится автоматически (и безошибочно!) при компиляции Си-программы. Более того, синтаксис языка Си практически одинаков и для MCS-51, и для AVR, и для PIC, и для ARM, что позволяет без труда осваивать новые микроконтроллерные платформы.

Си-программы пишутся быстрее и легче ассемблерных. Применяются шаблоны на основе стандартных, легко запоминающихся процедур. Плата за удовольствие — меньшее быстродействие и больший размер файлов прошивки памяти МК. По данному показателю язык Си уступает Ассемблеру примерно на 20...30%. Но, как показывает практика, большой объём ПЗУ современных МК и высокие тактовые частоты с лихвой перекрывают издержки Си-компиляторов, особенно для простых любительских приложений.

*Миф 5: на языке Си программы пишут только профессионалы.*

Здесь забывают основную концепцию Си-программирования — это многовариантность решения одной и той же задачи. Профессионал составит лаконичную, хорошо структурированную и легко читаемую программу, а любитель напишет неоптимальный и только одному ему понятный «исходник». Но, в случае с МК, выполнять несложные задачи обе программы будут с одинаковым успехом и без больших отличий во времени.

Иногда в Интернете можно встретить суждения о «запутанности», «непонятности», «несуразности» чьих-то исходных листингов. В свою заслугу такие люди ставят «вычищение» текста и сокращение длины программы на пару-тройку байтов. Если функциональность устройства осталась прежней, то получается, что проделан напрасный труд. Опытные программисты так не поступают, а улучшив что-либо в листинге, обязательно укажут фамилию того первопроходца, который первым создал каркас программы и любезно подарил миру свою идею.

Язык Си допускает использование ограниченного числа «понятных» операторов. Никто не заставляет программиста применять алгоритмы, в которых он «плавает». Например, опрос кнопок в МК можно организовать через прерывания, но, если эта процедура кому-то покажется сложной, то существует запасной вариант опроса кнопок через периодическое чтение линий порта.

Существует так называемый «школьный» вариант языка Си, освоить который под силу даже начинающему. В нем любой желающий устанавливает собственные разумные ограничения на синтаксис операторов и функций, составляет перечень разрешённых к применению алгоритмов и стандартных приёмов. Пусть программа получится длиннее, ничего страшного. Степень дальнейшего углубления знаний каждый определяет для себя самостоятельно.

*Миф 6: достаточно освоить только один тип МК.*

Технический прогресс не стоит на месте и притормозить его шаманскими заклинаниями нельзя. Считается, что современный радиолюбитель должен каждые пять лет повышать свой технический уровень. Делать это приходится в индивидуальном порядке по книгам, журналам, Интернету.

Учеба, применительно к МК, имеет свою специфику. В частности, первое из ученное семейство не должно стать последним. В начале 2000-х годов специалисты рекомендовали начинать освоение МК с популярной микросхемы AT89C2051 фирмы Atmel, имеющей ядро MCS-51. Многие любители досконально изучили возможности этого МК и до сих пор успешно разрабатывают простые и полезные для дома конструкции. Но, ограничивая себя одной моделью, человек лишается стимула к приобретению новых знаний.

А сожалеть есть о чем. В частности, родственное семейство ATmega фирмы Atmel допускает внутрисхемное программирование без изъятия МК из панельки, обладает в 12 раз лучшей производительностью и имеет на порядок-два выше объём памяти. Не за горами переход на ещё более «навороченное» 8-битное семейство Atmel ATXmega, недорогие 16-битные DSP и 32-битные ARM с операционными системами реального времени...

Свежим веянием последнего времени становится мультиплатформенность, когда разработчик в своём резюме подчёркивает владение несколькими типами МК. В зависимости от исходных требований технического задания он выбирает ту микросхему, которая позволяет оптимизировать изделие по критерию «цена + качество». Знание методологий разных микроконтроллерных платформ значительно расширяет инженерный кругозор и облегчает восприятие всего нового.

Разработчикам пора научиться гибкости, толерантности и уважительному отношению к МК разных фирм. Признаком хорошего тона должно стать умение применять на практике две-три микроконтроллерные платформы. Соответствующую подготовку должны проходить и студенты в вузах. Будущее за специалистами-универсалами. Однако привязанность к какому-то одному семейству МК у человека всё равно останется. Как говорят французы: «Люблю, потому что люблю»; ничего не поделаешь — человеческий фактор.

## 1.5. Классификация МК

Жаркие споры о том, какой МК лучше, давно перешли в разряд философских. Сторонники крайних точек зрения сходятся на том, что каждый МК предназначен для выполнения своего круга задач, причём очень часто эти «круги» взаимно пересекаются. Фирмы, изготавливающие МК, подсматривают друг у друга новинки и быстро внедряют их в производство. Таким образом появляются на свет функционально одинаковые МК-двойняшки, а вместе с ними и конструкции-двойники, отличающиеся между собой только микросхемой управляющего контроллера.

Устоявшейся классификации МК на сегодняшний день не существует. Это относительно новый и бурно развивающийся класс электронных приборов, поэтому должно пройти некоторое время, чтобы система структурировалась.

Из основных «классообразующих» признаков можно выделить следующие.

### 1. Классификация МК по разрядности шины данных ЦПУ:

- 4-битные (Atmel MARC4, Winbond W742, NEC uPD75 и др.);
- 8-битные (Intel MCS-48, Intel MCS-51, Atmel ATtiny/ATmega/ATXmega, Microchip PIC12/16/18, Zilog Z86 и др.);
- 16-битные (Intel MCS-96, Texas Instruments MSP430, Motorola 68HC16, Fujitsu MB90, Infineon C16, Mitsubishi M16C, Microchip PIC24 и др.);
- 32-битные (Atmel ARM, Fujitsu MB91, NEC V850, NXP LPC2xxx и др.).

В приведенную классификацию не вошли отдельные тупиковые ветви развития прогресса, что подчёркивает справедливость фразы: «Нет правил без исключения». Так, например, MC14500 фирмы Motorola имел разрядность 1 бит, набор команд из 16 инструкций, и был способен работать с неограниченным объёмом памяти. Но на рынке его давно уже не видно и в очередь за ним разработчики не становились.

Для любительской аппаратуры, естественно, отбирают что-то попроще, подешевле и с меньшей разрядностью (однако не настолько малой как морально устаревшие 4 бита). Самыми популярными на сегодняшний день считаются 8-битные МК. Профессионалы предпочитают разрядность повыше.

Родоначальником 8-битных МК является фирма Intel, освоившая линейку базовых семейств MCS-48, MCS-51, MCS-251. Они составили достойную конкуренцию господствовавшим в те годы микропроцессорам. В дальнейшем фирма Intel переключилась на производство исключительно 16-битных моделей, и, к её чести, не стала в судебном порядке запрещать клонирование MCS-совместимых контроллеров сторонними разработчиками.

Нынешними лидерами продаж среди 8-битных МК являются фирмы Atmel и Microchip. Они далеко опережают ближайших конкурентов.

### 2. Классификация МК по архитектуре вычислительной системы:

- CISC (Complex Instruction Set Computing);
- RISC (Reduced Instruction Set Computing).

Первые МК имели стандартную CISC-архитектуру, которая применялась в настольных компьютерах того времени. Особенности CISC: команды выполняются поочерёдно друг за другом и имеют разную длину и структуру. Выборка команды из памяти осуществляется побайтно и выполняется за несколько тактов. CISC-архитектуру имеют: МК из семейства Motorola HC05/HC08, МК с ядром MCS-51, МК из семейства Infineon C500 и ряд других.

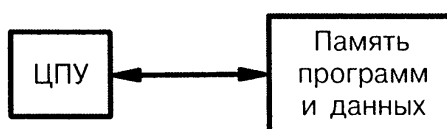
В начале 1980-х годов была разработана новая архитектура с многообещающим названием RISC (аббревиатуру предложил Д. Паттерсон из Калифорнийского университета в г. Беркли, США). Основная идея заключается в замене сложных команд однотипными простыми и выполнении их единым потоком на параллельном конвейере. Все команды имеют фиксированную длину и в идеале должны выполняться за один, а не за несколько, тактов, чем достигается повышенное быстродействие.

Одним из первых МК с архитектурой RISC стал PIC-контроллер 16C54 фирмы Microchip. Благодаря высокой производительности и трём десяткам легко запоминающихся команд, PIC-контроллеры быстро завоевали популярность во всём мире. Вскоре их примеру последовали разработчики из фирм Atmel, Scenix и др.

RISC-архитектура в МК сейчас вне конкуренции. Даже новейшие клоны контроллеров, имеющие совместимость с MCS-51, отличаются от прародителей в первую очередь сменой архитектуры. Это чётко прослеживается на примере продукции фирмы Atmel — «старая» микросхема AT89C2051 (CISC) против улучшенных «новых» микросхем AT89S2051, AT89LP2052 (RISC).

С точки зрения принципов конструирования вычислительных систем выделяют *принстонскую* и *гарвардскую* архитектуры. Оба названия связаны с одноимёнными университетами в США.

Принстонская архитектура была разработана Джоном фон Нейманом и независимо от него академиком С.А. Лебедевым. В ней используется общая память для хранения программ и данных (**Рис. 1.8**). Основное преимущество заключается в упрощении схемотехники ЦПУ и в гибкости распределения ресурсов между областями памяти.



**Рис. 1.8.** Принстонская архитектура.

Особенностью гарвардской архитектуры является наличие отдельных адресных пространств для хранения команд и данных (**Рис. 1.9**). Эта архитектура почти не использовалась до конца 1970-х годов, пока разработчики МК наконец-то поняли, что именно она даёт им определённые преимущества. В частности, анализ реальных программ показывает, что объём памяти данных МК, используемый для хранения промежуточных результатов, примерно на порядок меньше требуемого объёма памяти программ. Значит, можно сократить разрядность шины данных, уменьшить число транзисторов в микросхеме, а заодно и ускорить доступ к информации сразу в обоих «полушариях» памяти. Как следствие, сейчас большинство современных МК используют RISC-архитектуру гарвардского типа.



**Рис. 1.9.** Гарвардская архитектура.

### 3. Классификация МК по фирменным платформам.

Слово «платформа» вошло в обиход как средство обозначения комплекса, состоящего из внутрифирменных стандартов, технологий, конструктивных особенностей, запатентованных «ноу-хау». К примеру, фирмы Atmel и Silicon Laboratories исповедуют разную идеологию в архитектуре микропроцессорной системы, разную схемотехнику и технологию изготовления транзисторных ячеек памяти, разный подход к засекречиванию средств отладки и программирования. В результате их МК имеют отличия в электрических параметрах, сферах применения, рыночной популярности.

Для примера на **Рис. 1.10** представлены основные зарубежные изготовители, характеризующиеся чётко обозначенными платформами.



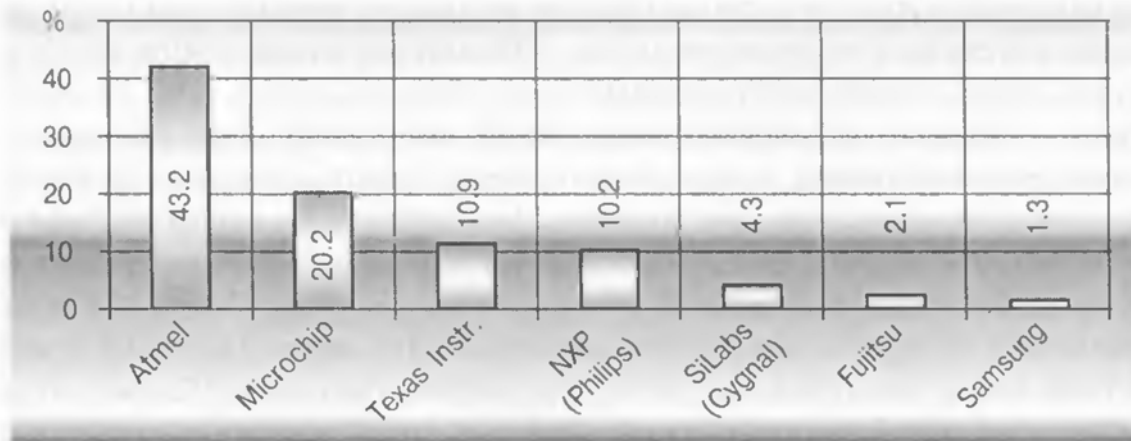


Рис. 1.10. Индексы популярности изготовителей МК согласно опросу на сайте [1-7].

#### 4. Классификация МК по выполняемым функциям:

- универсальные;
- специализированные.

Первыми появились МК общего назначения с универсальным набором функций. В «джентльменский набор» их аппаратных узлов входили: порты ввода/вывода, таймеры/счётчики, канал последовательного доступа UART, аналоговый компаратор. По мере встраивания МК в различные бытовые приборы, выяснилось, что большинство функций у них «простаивает», а на выполнение специфических задач тратится слишком много машинного времени. Для заполнения образовавшейся ниши были разработаны специализированные МК, «заточенные» под конкретные сферы применения, например, для драйвера шагового двигателя, для MP3-декодера, для подключения символьного ЖКИ, для адаптера Ethernet и т.д.

Современные универсальные МК позаимствовали от специализированных собратьев весьма полезные интерфейсы: Serial Bus, SPI, USB, CAN. Более того, модуль широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и внутренний АЦП перешли из разряда диковинок в обязательную спецификацию параметров многих МК. На очереди — ЦАП, Ethernet, ячейки ПЛИС.

Диапазон радиолюбительских разработок настолько велик, что требуемый набор аппаратных узлов заранее не предугадаешь. Поэтому практичнее использовать универсальные МК. В дальнейшем переход на специализированные контроллеры будет происходить гораздо легче, поскольку методология у них общая.

#### 5. Классификация по семействам 8-битных МК:

- ядро MCS-51 — AT89Cх051, AT89C5х, AT89S (Atmel), DS89 (Maxim/Dallas);
- ядро AVR — ATtiny, AT90S, ATmega, ATXmega (Atmel);
- ядро PIC — PIC10, PIC12, PIC16, PIC18 (Microchip).
- ядро SX — SXxxx (Uvicom, ранее Scenix);
- ядро 68HC — 68HC08, 68HC12 (Freescale Semiconductor, ранее Motorola);
- ядро ST — ST62, ST7 (STMicroelectronics, ранее SGS-THOMSON);
- ядро CIP-51 — C8051 (Silicon Laboratories, ранее Cygnal Integrated);
- ядро 8052 — W78E516 (Winbond);
- ядро «ТЕСЕЙ» — KP1878BE1 («Ангстрем»).

Такие понятия как «семейство», «платформа», «ядро», «архитектура» в разных источниках трактуются по-разному. Иногда их просто считают синонимами, что в большинстве случаев не принципиально. Однако для определённости предлагается использовать следующие термины.

«Ядро» — базовое устройство внутренней вычислительной системы. Ядро определяет систему команд, шинный интерфейс, архитектуру памяти, т.е. коренные отличия «вычислителей» друг от друга. Различают МК с ядром MCS-51, AVR, ARM7, ARM9, PIC16, PIC18 и т.д. Процессорное ядро может быть одинаковым, а фирмы-изготовители — разными.

«Семейство» — группа микросхем, имеющих одно ядро, у которых примерно одинаковый набор программных и периферийных функций. Семейство может разбиваться на более мелкие подсемейства.

«Серия», «линейка» — это фирменный бренд или рекламный слоган, например, серия «Classic», серия «tinyAVR», линейка «MegaPIC». Встречаются и обобщенные названия по типу «линейка 16-битных МК общего назначения».

«Модель» — несколько микросхем одного семейства, различающиеся между собой второстепенными цифрами (буквами) в названии, что определяет разный температурный диапазон, тактовую частоту, вариант корпуса, питание.

**Пример 1.** Микросхема AT89S51-33PI относится к платформе Atmel, архитектуре CISC гарвардского типа, ядру MCS-51, семейству AT89S, модели AT89S51. Надпись «33-PI» означает максимальную тактовую частоту 33 МГц, DIP-корпус и промышленный диапазон рабочих температур.

**Пример 2.** Микросхема ATmega128L-8AU относится к платформе Atmel, архитектуре RISC гарвардского типа, ядру AVR, серии MegaAVR, семейству ATmega, модели ATmega128. Надпись «L-8AU» определяет электрические, частотные, температурные и конструктивные параметры.

**Пример 3.** Микросхема PIC18LF2455-I/SP относится к платформе Microchip, архитектуре RISC гарвардского типа, ядру PIC18, семейству PIC18F, модели PIC18F2455. Буква «L» указывает на расширенный диапазон питания, а надпись «I/SP» определяет температурный диапазон и тип корпуса микросхемы.

## 1.6. Какой МК выбрать любителям

Если вспомнить олимпийский девиз: «Быстрее, выше, сильнее» (лат. «Citius, Altius, Fortius»), то применительно к МК он прозвучит так: «Выше тактовая частота, больше объём памяти, меньше энергопотребление». Но не надо в спешке выбирать по каталогу самую «крутую» микросхему. Это не поможет. Радиохоббейская практика ограничивается тремя важными факторами: стоимостью, технологией пайки, доступностью программного обеспечения.

*Стоимость* ультрасовременных «навороченных» МК доходит до нескольких десятков долларов США. В простых любительских конструкциях нет смысла ориентироваться на большие деньги. Одну и ту же не очень сложную задачу дешёвый и дорогой МК решают с одинаковым успехом. Зачем платить больше?

*Технология пайки*, как ни парадоксально, может стать большой преградой в применении высокопроизводительных МК. Дело в том, что они выпускаются

в корпусах SOIC, QFP, рассчитанных на автоматизированный поверхностный монтаж. Расстояние между выводами составляет 0.5...1.27 мм. Не каждый монтажник без специальных приспособлений и микроскопа сможет качественно запаять все 44...208 выводов такой микросхемы.

В домашних условиях имеется большой риск повредить и сам чип, и тонкие дорожки печатной платы. Следовательно, двухрядная чёрная китайская панелька с шагом между выводами 2.54 мм останется ещё долгое время объективной реальностью в радиолюбительском деле.

Если всё-таки понадобится использовать более совершенный МК, то стоит задуматься о приобретении так называемого «отладочного комплекта». Он состоит из печатной платы, на которой уже распаяны: МК, кварцевый резонатор, стабилизатор питания, разъёмы для подключения периферийных устройств, а зачастую и ЖК-индикатор с кнопочной тастатурой. Кроме того, в комплект поставки входят средства проектирования — программный компилятор и отладчик. В целом получается хороший стартовый набор при относительно небольшой цене от 15 до 100 долларов США в зависимости от периферии.

*Программное обеспечение* для МК должно быть, как минимум, доступным и, как максимум, бесплатным. Многие фирмы-изготовители преднамеренно засекречивают схемы программаторов, вводят непомерно высокую плату за компиляторы и библиотеки функций. Это резко сужает сферу применения, ведь, чем меньше людей имеют свободный доступ к информации, тем меньше рекламы, меньше примеров электрических схем, меньше текстов программ и реальных конструкций для повторения.

Житейская мудрость определила ряд здоровых принципов отбора МК. Во-первых, не гнаться за экзотикой, во-вторых, не связываться с единственным семейством, в-третьих, не экономить на средствах отладки и программирования. Теперь понятно, почему на сегодняшний день наиболее популярными среди любителей являются 8-битные МК семейств ATmega, ATtiny, PIC12, PIC16, PIC18. Сравнительно низкие цены, доступность на рынке, хорошие технические характеристики, наличие микросхем в DIP-корпусе, множество учебников и примеров — вот залог успеха.

## 1.7. Какой МК выбрать профессионалам

Инженеры, по долгу службы занимающиеся разработкой аппаратуры для встраиваемых применений, могут позволить себе роскошь «ни в чём не отказывать» (конечно, в разумных пределах). Проблемы стоимости, технологии производства и доступности элементной базы отходят на второй план. Действительно, управляющий МК в сложных комплексах является далеко не самым дорогим элементом, хотя именно от него во многом зависят эксплуатационные характеристики изделия и успешность продаж на рынке. Критериями отбора для профессионального разработчика служат следующие факторы: технические параметры, лицензионная чистота программного обеспечения, удобство в обслуживании.

*Технические параметры* выбираемого МК должны обеспечивать выполнение требований задания на разработку. Например, если изделие предназначено для

установки в автомобиль, то придётся искать МК с расширенным диапазоном температур  $-40...+125^{\circ}\text{C}$  и, желательно, с наличием интерфейса CAN. Если требуется быстрая реакция на внешнее воздействие или прогнозируются сложные математические расчёты, то понадобится высокоскоростной МК с разрядностью 16 или 32 бита. Если проектируется миниатюрное изделие с батарейным питанием, то лучше применить микромощный МК в компактном SMD-корпусе, способный работать при пониженном напряжении и малой тактовой частоте.

В Табл. 1.1 приведены некоторые рекомендации по выбору МК. Понять их суть можно на примере микросхемы STR710FZ1T6 фирмы STMicroelectronics, которая рекомендуется для устройств с низким электромагнитным излучением (ЭМИ). В её даташите имеется специальный раздел «EMC characteristics», где приводятся уровни паразитного излучения МК по частотным диапазонам. Это даёт основание полагать, что на заводе-изготовителе серьёзно подходят к проблемам электромагнитной совместимости и периодически проверяют соответствие параметров, т.е. гарантируют их. Не исключено, что продукция других фирм тоже имеет показатели ЭМИ не хуже, но ведь об этом в их даташитах ничего не написано, значит, в Табл. 1.1 таким МК путь «заказан».

**Таблица 1.1. Рекомендации по выбору МК**

Главный параметр	Рекомендуемые МК разрядностью 8/16/32 бита
Быстродействие	Atmel ARM, NXP LP210x, Microchip PIC24/dsPIC, Ubicom SX
Помехозащищённость	NXP LP2xxx, Microchip PIC (модели после 2003 г.)
Экономичность	Texas Instruments MSP430, Microchip PIC12/16/18
Миниатюрность	Microchip PIC10/12, Atmel ATtiny
Универсальность	Atmel ATmega, Microchip PIC18, Silicon Laboratories C8051F
Криптоустойчивость	Texas Instruments TMS320F, Atmel AT91SO, Atmel ATXmega
Электромагнитная совместимость	STMicroelectronics STR71xF

*Лицензионная чистота программного обеспечения* — это «больное место» многих разработок на малых и средних по численности предприятиях. Любая сколь угодно серьёзная проверка приводит к штрафам. Закон о нарушении авторских прав предусматривает весьма строгие наказания.

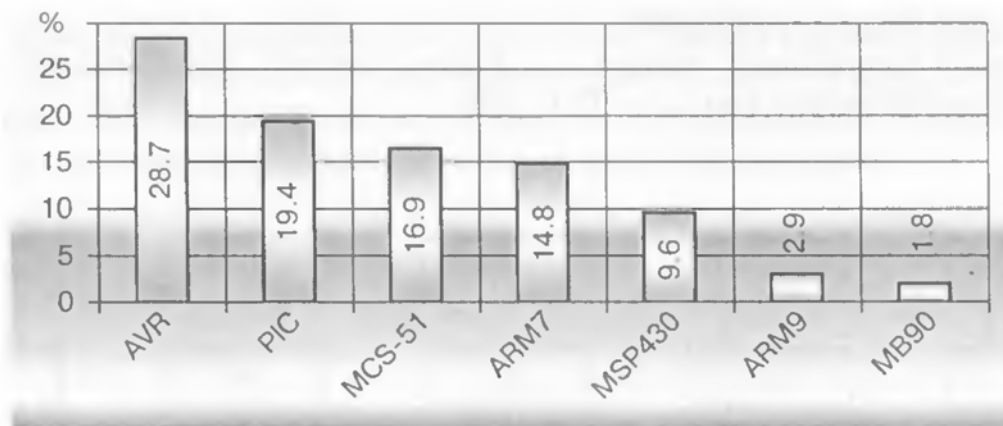
Если изделие простое и программист использует бесплатно поставляемый фирменный Ассемблер, то проблем нет. Здесь и исходный код можно продемонстрировать, и «вживую» откомпилировать проект в присутствии представителя контролирующей организации. Хуже обстоит дело с языками высокого уровня, для которых через Интернет обычно доступны только демо-версии коммерческих компиляторов с весьма урезанными возможностями. Полные версии фирменных компиляторов стоят денег (и немалых), что делает их покупку экономически убыточным при малых партиях изготавливаемой продукции.

На помощь может прийти смена семейства МК и перевод исходных листингов в среду свободно распространяемых программных продуктов. В частности, для AVR-контроллеров используют бесплатный Си-компилятор AVR-GCC, входящий в пакет WinAVR [1-8], а для PIC-контроллеров в простых случаях годится демо-версия компилятора MikroC фирмы mikroElektronika [1-9], имеющая лимит на длину кода, но без ограничения действия во времени.

*Удобство в обслуживании* является важной составляющей коммерческого успеха. Не секрет, что программисты, как и все обычные люди, допускают ошибки. Для их исправления, а также для удовлетворения эксклюзивных запросов и желаний капризных заказчиков, приходится «на ходу» изменять алгоритм работы устройства. Применительно к МК это означает, что надо перепрограммировать его внутреннее флэш-ПЗУ.

Чтобы не отправлять постоянно «гонцов» в командировки с программатором в кейсе, практикуют удалённую смену прошивок через Интернет. Однако для этого следует ещё на начальном этапе разработки выбрать такой тип МК, который имеет функцию самопрограммирования («BootLoader»). В любительских конструкциях столь щепетильный подход не обязателен, хотя и всячески приветствуется.

Завершает тему выбора МК график распределения индексов популярности, приведенный на **Рис. 1.11**. Это постоянно обновляемая интернет-статистика, составленная по оценкам электронщиков Рунета за последние несколько лет. Было бы большим заблуждением устанавливать на основании указанных процентов какие-либо ограничительные перечни по применению тех или иных моделей МК. Но общее направление подмечено верно.



**Рис. 1.11.** Индексы популярности моделей МК согласно опросу на сайте [1-7].

## Список использованных источников и литературы к главе 1

- 1-1. Microcomputer. From Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/wiki/Microcomputer> (англ.). — 05.07.2009.
- 1-2. «МУЛЬТИКОР» — технология проектирования «СнК» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://multicore.ru/index.php?id=21>. — 05.07.2009.
- 1-3. Кустарев, П. В. Специализированные процессоры. Процессоры для встраиваемых применений. Конспект лекций СПбГИТМО (ТУ) [Электронный ресурс] / Павел Кустарев. — СПб. : 2002. — Режим доступа: [http://lmt.ifmo.ru/old/media/support/misc/lec\\_sp\\_lite2002.pdf](http://lmt.ifmo.ru/old/media/support/misc/lec_sp_lite2002.pdf). — 05.07.2009.
- 1-4. Лбов, Ф. У истоков радиолюбительства / Фёдор Лбов // Радио. — 1963. — № 9. — С. 10–11.
- 1-5. Сидоров, В. Мировая и отечественная история любительской радиосвязи [Электронный ресурс] / Валерий Сидоров. — Режим доступа: <http://ru3se.front.ru/history.html>. — 05.07.2009.
- 1-6. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры. Шаг 1 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2004. — № 3. — С. 31–35.
- 1-7. Индекс популярности микроконтроллеров [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mcsu.saxara.ru/pop.html>. — 05.07.2009.
- 1-8. WinAVR [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://winavr.sourceforge.net/index.html> (англ.). — 05.07.2009.
- 1-9. MikroC [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mikroe.com/en/compilers/mikroc/pic/> (англ.). — 05.07.2009.

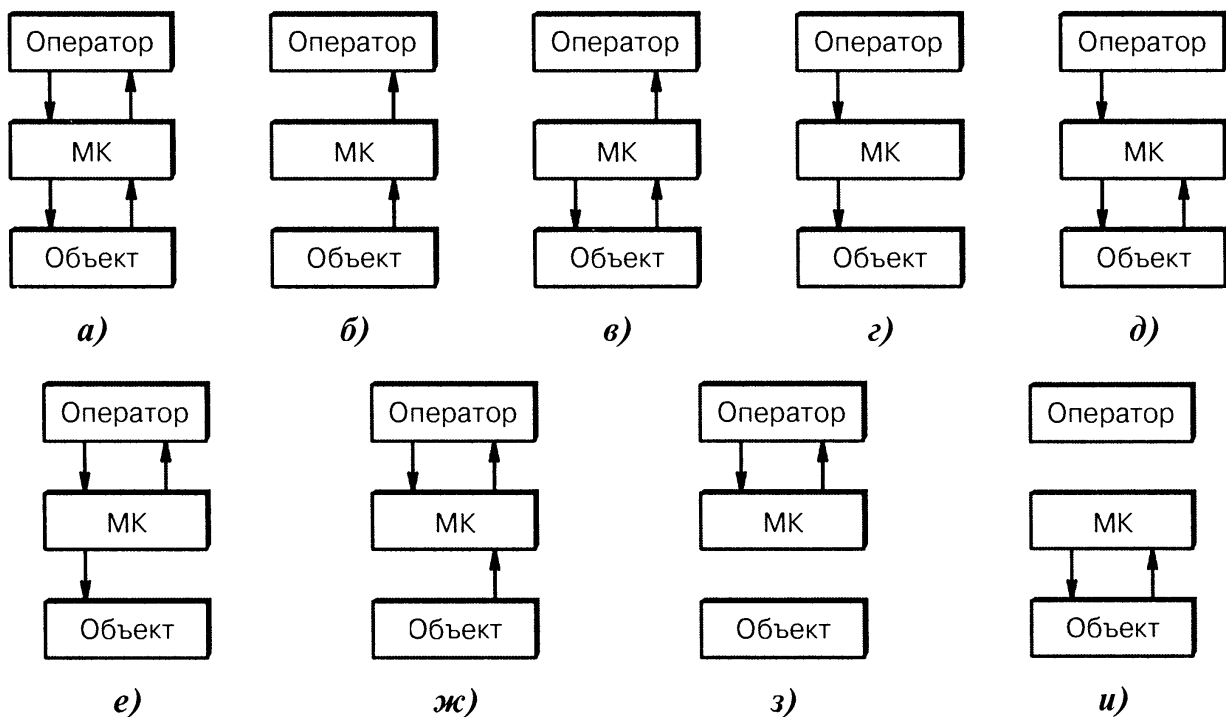
## ИДЕАЛИЗИРОВАННЫЙ МК

*Упрощать следует до тех пор, пока это возможно, но не более того (Альберт Эйнштейн)*

### 2.1. Системный уровень

Сам по себе «крошка МК» большой практической ценности не представляет. Это не электрическая лампочка, которая даёт яркий свет, и не резистор, через который протекает ток. МК предназначен для коллективной работы в «команде», по-научному — в цифровой системе обработки информации, управления и контроля.

На Рис. 2.1, а...и приведены типовые схемы включения МК в классической связке «Оператор — Исполнительное устройство — Объект управления». Как видно, ареал распространения МК охватывает практически все виды человеческой деятельности. Если где он пока и не применяется, то только из-за нехватки фантазии или из-за технологических (экономических) ограничений.



**Рис. 2.1.** Варианты применения МК:

- а) система автоматического контроля и управления с обратной связью;
- б) автономная измерительная система;
- в) интеллектуальный индикатор;
- г) система ручного управления;
- д) система автоматического контроля;
- е) интерактивная система управления без обратной связи с объектом;
- ж) интерактивная измерительная система без обратной связи с объектом;
- з) программатор/отладчик МК;
- и) автономный робот.

На Рис. 2.2 показано внутреннее строение МК на системном уровне. Базовым блоком служит ЦПУ, которое включает в себя:

- центральный процессор (он же «вычислитель»);
- внутренние шины адреса, данных, управления;
- формирователь сетки тактовых частот;
- модуль памяти и блок регистров общего назначения;
- блок конфигурации режимов работы, прерываний, рестарта.

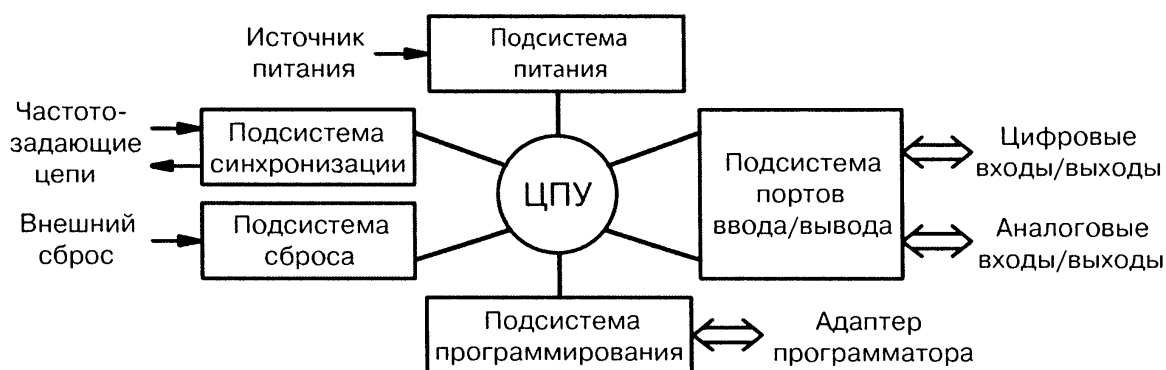


Рис. 2.2. Строение МК на системном уровне.

Процессорное ядро служит основным отличительным признаком архитектуры. По его характеристикам (и названию) судят о потенциальных возможностях определённого семейства МК. Ядро обслуживается несколькими периферийными модулями или, по-другому, подсистемами. Именно к ним пользователь имеет доступ извне. От того, как правильно будут подключаться к подсистемам внешние цепи, зависят точностные и эксплуатационные параметры всего устройства.

Каждая входящая в МК подсистема важна по-своему. Например, чтобы МК стартовал, надо выполнить следующие действия:

- запрограммировать ячейки памяти ПЗУ (подсистема программирования);
- подать питающее напряжение (подсистема питания);
- запустить тактовый генератор (подсистема синхронизации);
- осуществить начальный сброс (подсистема сброса);
- активизировать интерфейсные цепи (подсистема портов ввода/вывода).

Для уяснения свойств МК предлагается рассматривать его в виде «чёрного ящика». Если вспомнить историю, то в Древней Греции существовала легенда, согласно которой красавица Пандора как-то раз из любопытства открыла амфору, в которую громовержец Зевс спрятал все человеческие пороки. Оказавшись на воле, они мгновенно разлетелись по свету, до сих пор причиняя людям страдания и боль. Мораль истории простая — не ищи ради любопытства приключений на свою голову.

Выражение «амфора Пандоры» или «сосуд Пандоры», как символ вещи с неизвестным внутренним содержанием, стало нарицательным. Со временем оно трансформировалось в «сундук Пандоры», «ящик Пандоры» и, наконец, в «чёрный ящик» (англ. «black box»). В технике широко используется данный термин для обозначения прибора, в котором исследователю доступны для наблюдения только входные и выходные сигналы.



Применительно к МК, каждую подсистему можно приравнять к отдельному «чёрному ящику» и рассматривать упрощённые эквивалентные схемы со стороны доступных выводов. Функциональная структура подсистем детально расшифровываться не будет. За кадром останутся подробности аппаратной начинки, а также конкретные названия регистров общего назначения.

После того, как будут проанализированы все подсистемы, можно синтезировать некую идеализированную модель МК. Она будет простой для понимания и достаточно точной по параметрам. Это позволит отсечь, как «бритвой Оккама», несущественные детали, не упуская из виду главного.

## 2.2. Эквивалентные схемы узлов и блоков МК

### 2.2.1. Подсистема программирования

МК отличается от обычной микросхемы тем, что в него после покупки надо предварительно «прошить», т.е. записать, программу. Незапрограммированный МК в изделии бесполезен. Он будет исправно потреблять ток, но программно заикнется в «беге на месте», не производя никакой осмысленной работы.

Для программирования нужен программатор. Здесь первым делом надо договориться о терминологии [2-1]. При массовом производстве обычно используют промышленные программаторы (Рис. 2.3), имеющие самостоятельные органы управления, контроля, индикации.

Для мелкосерийного и единичного производства (читай «домашних условий») рациональнее использовать компьютерные программаторы. В их основе лежит простая формула: «Программатор = <Электрический адаптер> + <Компьютер> + <Программа>». Адаптер легко изготовить самостоятельно. Компьютер является частью рабочего места радиолюбителя, а управляющая программа доступна в Интернете и, как правило, бесплатна.

Различают автономные (Рис. 2.4) и внутрисхемные (Рис. 2.5) компьютерные программаторы. Первые из них работают в независимом режиме. Микросхема МК вручную устанавливается в панельку, программируется, затем извлекается из панельки и переносится в готовое изделие. Вторые из них используют специальный технологический разъём, расположенный на плате изделия. Через него, не выпаивая МК, можно в любой момент «перепрошить» флэш-ПЗУ.

Очень часто в Интернете (да и в технической литературе) «программатором» почему-то называют именно электрический адаптер, хотя это и не совсем верно.

Внутрисхемное программирование намного удобнее автономного, однако практика показывает, что лучше держать «на запасном пути» оба программатора одновременно. Это пригодится, например, для оперативной проверки работо-

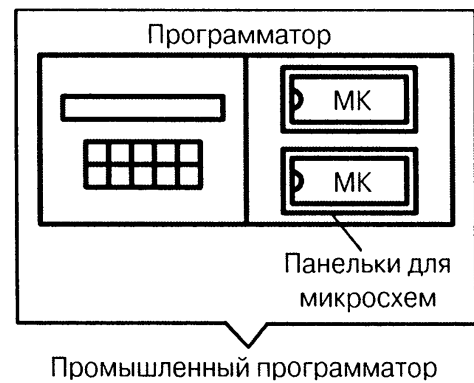


Рис. 2.3. Устройство промышленного программатора.

способности МК, для предварительного ввода в него программы-загрузчика, для смены режимов работы через конфигурационные биты.

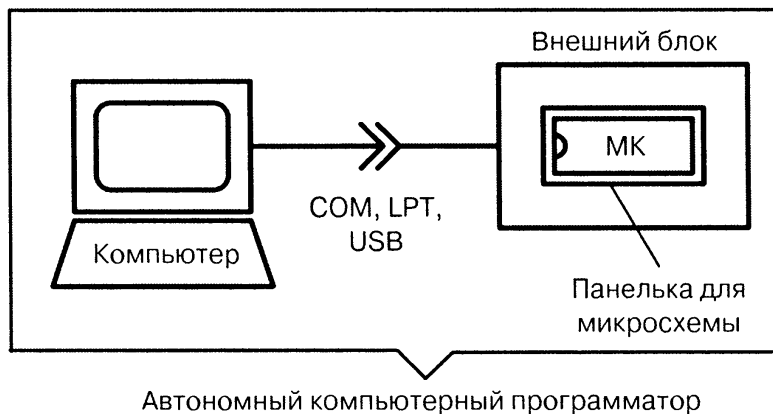


Рис. 2.4. Устройство автономного компьютерного программатора.

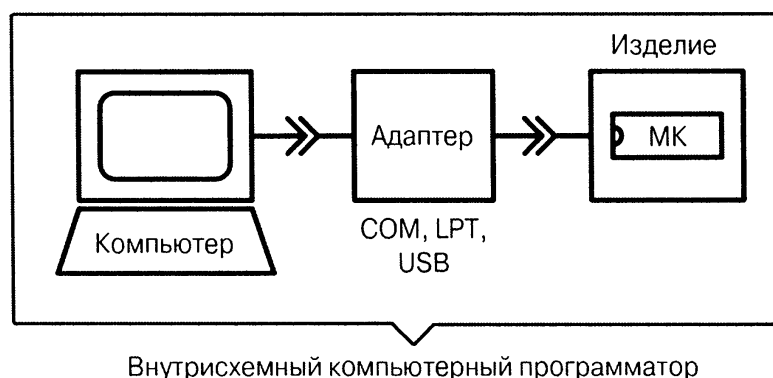


Рис. 2.5. Устройство внутрисхемного компьютерного программатора.

Новые термины «программа-загрузчик» и «конфигурационные биты» будут рассматриваться дальше, но для начала надо чётко представлять их физическое местоположение в памяти. Судя по стрелкам, изображенным на Рис. 2.6, три области памяти из четырёх доступны для внешнего программирования. Информация в них сохраняется при выключении источника питания.

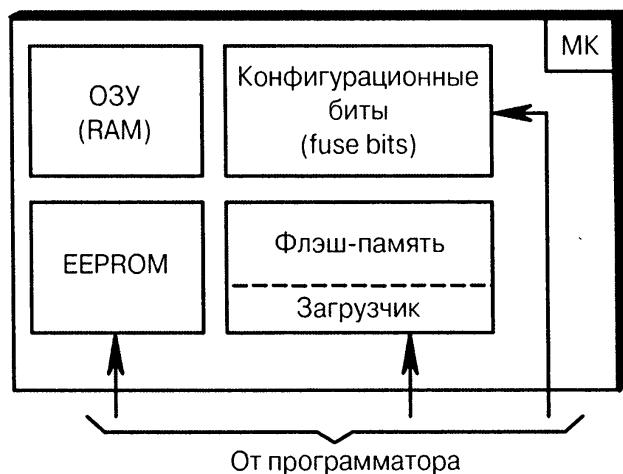


Рис. 2.6. Состав областей памяти МК.

Четвёртая область, ОЗУ или, по-английски, RAM, служит для временного хранения данных. В ОЗУ находятся регистры специальных функций SFR (Special Function Register), отвечающие за текущий режим работы МК. Их подробное описание приводится в даташитах, причём единого стандарта не существует (а жаль!). Каждый регистр из области SFR имеет своё уникальное имя, например, MCUCR, RAMPZ и т.д.

Для изменения состояния регистра достаточно записать в него

шестнадцатеричное число. Количество перезаписей не ограничено, поэтому смену режимов можно проводить неоднократно и в любом месте программы.

В Табл. 2.1 приведена расшифровка встречающихся в МК типов памяти.

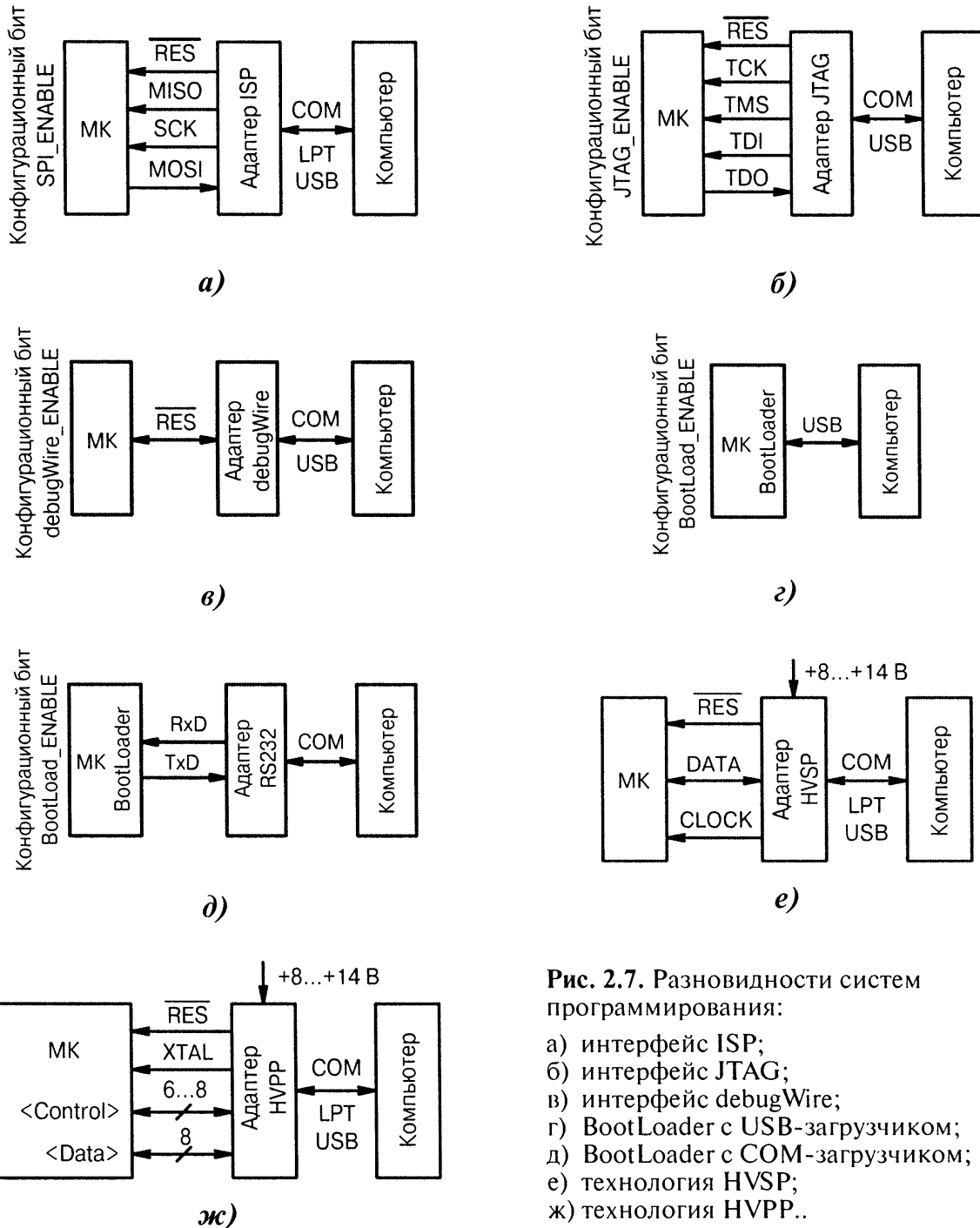
Таблица 2.1. Разновидности типов памяти у разных МК

Тип памяти МК	Расшифровка	Выполняемые функции
Mask ROM	<b>M</b> asked <b>R</b> ead <b>O</b> nly <b>M</b> emory	Масочное ПЗУ, программируемое при изготовлении кристалла микросхемы
OTPROM	<b>O</b> ne- <b>T</b> ime <b>P</b> rogrammable <b>R</b> OM	ПЗУ, однократно программируемое пользователем (самостоятельно)
QTPROM	<b>Q</b> uick- <b>T</b> urn <b>P</b> rogrammable <b>R</b> OM	ПЗУ, однократно программируемое на заводе-изготовителе по кодам пользователя
SQTPROM	<b>S</b> erialized <b>Q</b> T <b>P</b> ROM	То же, что QTPROM, но каждому МК присваивается уникальный серийный номер
UV EPROM	<b>U</b> ltra <b>V</b> iolet <b>E</b> rasable <b>P</b> rogrammable <b>R</b> OM	ПЗУ, стираемое ультрафиолетовым облучением кристалла через прозрачное окно в корпусе
EEPROM	<b>E</b> lectrical <b>E</b> PR <b>O</b> M	Электрически стираемое ПЗУ с произвольным доступом к ячейкам (ЭСПЗУ)
Flash	Флэш-ПЗУ (в переводе с англ. «вспышка»)	Электрически стираемое ПЗУ с блочным доступом к ячейкам
RAM	<b>R</b> andom <b>A</b> ccess <b>M</b> emory	Статическое ОЗУ (реже динамическое ОЗУ) с произвольным доступом к ячейкам
SFR	<b>S</b> pecial <b>F</b> unction <b>R</b> egister	Отдельная область ОЗУ, где хранятся настройки текущего режима работы МК
ROM-less	«Без ПЗУ»	ПЗУ в МК отсутствует, управляющая программа вводится с внешнего носителя
Fuse, Option Bits, Configuration Bits	Конфигурационные биты	Несколько байтов памяти, определяющие глобальные режимы работы МК
BootLoader	Программа-загрузчик ( <b>B</b> oot <b>s</b> tr <b>a</b> p <b>L</b> oader)	Записанная в флэш-ПЗУ небольшая программа, через которую многократно переписывается основная программа МК

## Разновидности технологий программирования

В разных микроконтроллерных платформах при программировании применяются свои фирменные средства, технологии и даже названия, а именно:

- **ISP (In-System Programming)**, **ICSP (In-Circuit Serial Programming)**, **ISSP (In-System Serial Programming)** — низковольтное последовательное программирование (Рис. 2.7, а);
- **JTAG (Joint Test Action Group)** — низковольтное шлейфное программирование по стандарту IEEE Std 1149.1 с возможностью отладки (Рис. 2.7, б);
- **debugWire** — низковольтное однопроводное программирование с возможностью отладки (Рис. 2.7, в);
- **BootLoader** — низковольтное программирование, при котором в ПЗУ МК сначала заносятся коды загрузчика на другом программаторе (Рис. 2.7, г, д);
- **HVSP (High Voltage Serial Programming)** — высоковольтное последовательное программирование (Рис. 2.7, е);
- **HVPP (High Voltage Parallel Programming)** — высоковольтное параллельное программирование (Рис. 2.7, ж).



**Рис. 2.7.** Разновидности систем программирования:

- а) интерфейс ISP;
- б) интерфейс JTAG;
- в) интерфейс debugWire;
- г) BootLoader с USB-загрузчиком;
- д) BootLoader с COM-загрузчиком;
- е) технология HVSP;
- ж) технология HVPP..

Разделение на низкие и высокие «вольты» произошло исторически. Первые МК программировались повышенным напряжением +8...14/+24...27 В и требовали извлечения микросхемы из панельки на плате устройства. По мере совершенствования технологии инженеры-конструкторы научились встраивать повышающие DC/DC-преобразователи напряжения прямо на подложку кристалла микросхемы. Программирование стало низковольтным от +5 В и внутрисхемным, поскольку теперь не требовалось извлекать МК из панельки.

Разделение на «параллельное» и «последовательное» программирование тоже имеет исторические корни. На заре микроконтроллерной эры потребители старались удешевить производство, заказывая на заводе-изготовителе крупные партии МК с определённой версией программы. Промышленное тиражирование

ние в заводских условиях должно быть быстрым, а высокую скорость передачи данных обеспечивает именно многопроводной параллельный режим.

С широким внедрением низковольтных адаптеров оказалось, что выгоднее производить программирование небольших партий МК у себя на фирме. Несколько лишних секунд задержки «погоды не делают», зато экономия и удобство налицо. Однако прощаться с параллельным режимом ещё рано, т.к. через него в некоторых МК, например, Atmel ATmega, «прошиваются» важные конфигурационные биты. Говорят, для совместимости поколений «снизу-вверх».

Следующей заметной вехой стало объединение процесса программирования с отладкой программы. Технологии JTAG, debugWire дают программисту полный контроль над аппаратной начинкой МК, позволяют останавливать работу программы в нужных точках, проверять состояние портов и регистров в режиме реального времени. Это инструмент для профессионалов. Как правило, такие отладчики имеют вид заводских фирменных модулей со своим программным обеспечением. Любительские разработки тоже существуют, но они требуют высокой квалификации исполнителя.

Ещё одно интересное направление — это удалённое программирование через программу-загрузчик (BootLoader). Предварительно в МК «прошивается» короткая загрузочная программа, которая при определённых условиях может перепрограммировать своё собственное флэш-ПЗУ и ячейки EEPROM. Похоже на простейшую интеллектуальную систему с элементами самообучения. Такой себе «внутримикросхемный робот». Коды новой прошивки передаются в МК из компьютера по одному из доступных каналов связи: USB, COM, I<sup>2</sup>C, IrDA и т.д. Если компьютер программатора будет подключён к Интернету, то сменить прошивку можно с другого удалённого компьютера, находясь в любой точке Земного шара.

Самые дальновидные программисты вводят в загрузчик криптозащиту, чтобы байты, передаваемые по свободному каналу связи, не могли быть расшифрованы посторонним человеком. В некоторых МК программа-загрузчик является изначально встроенной в память. Её коды технологически вводятся в матрицу прямо на заводе-изготовителе. Примеры — Philips LPC2104 («On-Chip BootLoader Software») и Texas Instruments MSP430F (начальный аппаратный загрузчик BSL).

Область памяти загрузчика защищается от просмотра и изменения специальными конфигурационными битами. Для первого знакомства достаточно знать, что конфигурационные биты (они же «fuse», «Fuse Bits», «Fuses», «Option Bits», «фьюзы») — это некоторые ячейки памяти МК, которые можно многократно прошивать в «1» или «0» с помощью программатора.

Название «fuse» ввела в оборот фирма Atmel, чьи МК очень популярны. Однако этот термин несколько двусмысленен, т.к. обычно он обозначает пережигаемую перемычку, используемую в однократно программируемых ПЗУ. Такую перемычку восстановить невозможно — в отличие от содержимого конфигурационных битов, которое может быть обнулено в процессе полного стирания памяти МК. Однако из основной программы этого сделать нельзя, что, по-видимому, и привело к выбору терминологии. Стоит отметить, что в русскоязычном Интернете часто используют транскрипцию английского термина — «фьюз».

Расшифровка назначений конфигурационных битов приводится в даташитах. Конфигурационными битами можно также считать и биты защиты LockBits.

Они позволяют защитить коды программы от копирования, просмотра и несанкционированного изменения. Физически конфигурационные биты выделяются в отдельную область памяти, чтобы их было трудно (или невозможно) изменить в процессе эксплуатации, а также при хакерских атаках.

Микросхем, которые поддерживают все известные способы «последовательно-параллельного» программирования, не существует. Обычно доступны один, два или три разных способа. Самое важное, что все современные МК могут программироваться внутрисхемно. Это позволяет использовать простые и надёжные программаторы, работающие в протоколе SPI (Serial Programming Interface). В нём задействуются линии портов с запоминающимися названиями MISO, MOSI, SCK.

С электрической точки зрения выводы, участвующие в программировании, являются обычными входами/выходами КМОП-элементов. Придумывать самому схемы адаптеров программаторов не надо, их легче найти в Интернете.

### Реальные схемы компьютерных программаторов

Первое практическое задание, которое должен выполнить любой человек, желающий освоить МК, заключается в изготовлении (приобретении) программатора. Ориентироваться надо на низковольтные варианты с последовательным интерфейсом связи. В Табл. 2.2 приведены адреса сайтов, содержащих схемные решения для 8-битных AVR- и PIC-контроллеров [2-2].

Таблица 2.2. Перечень сайтов, посвящённых программаторам для AVR- и PIC-контроллеров

Интернет-адрес на 05.07.2009 г.	Тип МК	Интерфейс	Краткое описание
<a href="http://www.jdm.homepage.dk/newpics.htm">http://www.jdm.homepage.dk/newpics.htm</a>	PIC	COM	Программатор «JDM», Jens Dyekjaer Madsen, Дания
<a href="http://www.sprut.de/electronic/pic/brenner/index.htm">http://www.sprut.de/electronic/pic/brenner/index.htm</a>	PIC	USB	Программаторы, разработанные «Sprut», Германия
<a href="http://home.vrweb.de/%7Elotharstolz/stolz.de.be/">http://home.vrweb.de/%7Elotharstolz/stolz.de.be/</a>	PIC	COM, USB	Программаторы, разработанные Lothar Stolz, Германия
<a href="http://ajpic.zonk.pl/picload/">http://ajpic.zonk.pl/picload/</a>	PIC	LPT	Программатор «PicLoad», Польша
<a href="http://www.piclist.org/techref/microchip/devprogs.htm#programmers">http://www.piclist.org/techref/microchip/devprogs.htm#programmers</a>	PIC	LPT, COM, USB	50 интернет-ссылок на различные по сложности PIC-программаторы
<a href="http://icd2clone.narod.ru/">http://icd2clone.narod.ru/</a>	PIC, AVR	COM, USB	Самодельные клоны отладчиков «ICD2», «JTAG ICE», Россия
<a href="http://ponyprog.sourceforge.net/">http://ponyprog.sourceforge.net/</a>	PIC, AVR	COM, LPT	Программатор «PonyProg», Claudio Lanconelli, Италия
<a href="http://www.olimex.com/dev/">http://www.olimex.com/dev/</a>	PIC, AVR	LPT, COM, USB	Программаторы фирмы Olimex (для LPT, COM имеются схемы)
<a href="http://elm-chan.org/works/avr_x/report_e.html">http://elm-chan.org/works/avr_x/report_e.html</a>	AVR	LPT, COM	Программаторы, разработанные Elm-Chan, Япония
<a href="http://www.obdev.at/products/vusb/prjprog.html">http://www.obdev.at/products/vusb/prjprog.html</a>	AVR	USB	Программаторы на основе библиотеки функций ObDev, Christian Starkjohann, Австрия
<a href="http://www.fischl.de/usbasp/">http://www.fischl.de/usbasp/</a>	AVR	USB	Программатор «USBasp» и его версии, Thomas Fischl, Германия
<a href="http://www.ln.com.ua/~real/avreal/adapters.html">http://www.ln.com.ua/~real/avreal/adapters.html</a>	AVR	LPT	Программатор «AVReal», А.Редчук, Украина
<a href="http://pinokio3000.narod.ru/my_designs/AVR910_USB_Programmer.htm">http://pinokio3000.narod.ru/my_designs/AVR910_USB_Programmer.htm</a>	AVR, MCS-51	USB	Программатор «AVR910_USB», А.Рыжков, Россия

Среди программаторов выделяются следующие группы:

- USB — самые быстрые и перспективные, но относительно сложные;
- LPT — самые простые в изготовлении, но не всегда стабильно работающие;
- COM — самые массовые в любительской среде (на сегодняшний день), но с низкой скоростью программирования.

В Табл. 2.3 даны ссылки на бесплатные универсальные оболочки, используемые в программаторах с интерфейсами USB, LPT, COM. Без них «железная» часть устройства функционировать не будет. Кроме универсальных, существуют и узкоспециализированные оболочки, рассчитанные только на одну платформу МК, например, «AVRDUDE» (Atmel AVR), «PICkit-2» (Microchip PIC) и т.д.

Таблица 2.3. Перечень универсальных оболочек для программирования

Оболочка	Версия	Тип МК	Интернет-адрес на 05.07.2009 г.
IC-Prog	1.06B	PIC, AVR, SX, AT89S/C	<a href="http://www.ic-prog.com/">http://www.ic-prog.com/</a>
PonyProg2000	2.07c	AVR, PIC, AT89S	<a href="http://www.lancos.com/prog.html">http://www.lancos.com/prog.html</a>
WillemProg	0.97ja	PIC, AT90S, MCS-51	<a href="http://willem.org/">http://willem.org/</a> , <a href="http://www.czoflash.com/">http://www.czoflash.com/</a>
WinPic800	3.64	PIC, dsPIC, AVR	<a href="http://www.winpic800.com/">http://www.winpic800.com/</a>
Amadeus	2.0	AVR, PIC, dsPIC	<a href="http://home.arcor.de/bernhard.michelis/">http://home.arcor.de/bernhard.michelis/</a>

## 2.2.2. Подсистема питания

Для питания любого МК требуются, как минимум, два провода: положительный («плюс», «Power supply») и отрицательный («минус», «Ground reference»). Обозначают их в даташитах и на схемах следующими сокращениями (Рис. 2.8):

- $V_{CC}$  (Voltage Collector-to-Collector) или  $V_{DD}$  (Voltage Drain-to-Drain);
- GND (GrouND) или  $V_{SS}$  (Voltage Source-to-Source).

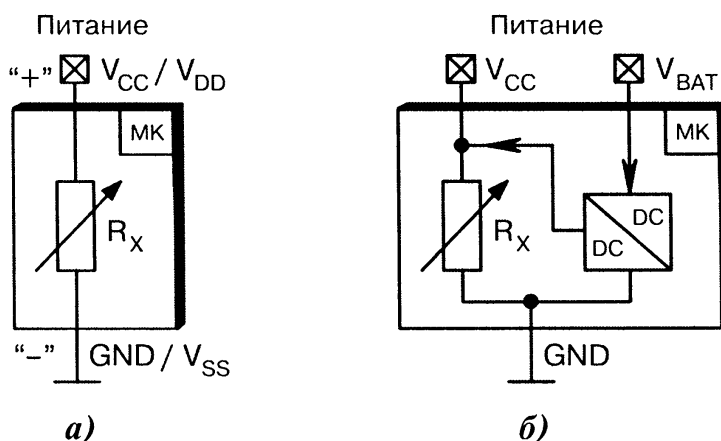


Рис. 2.8. Двухпроводное питание МК:

- базовая схема;
- встроенная цепь резервного батарейного питания  $V_{BAT}$  с повышающим DC/DC-преобразователем напряжения.

Внутреннее сопротивление МК обозначается переменным резистором  $R_X$ . Почему переменным? Потому, что ток потребления МК варьируется по мере исполнения программы. Зависит он также от режима работы, напряжения питания, температуры, тактовой частоты, нагрузки на выходные линии. В «спящем» режиме ток составляет единицы микроампер, в рабочем — десятки миллиампер, в максимально нагруженном — 0.1...0.3 А. Конкретные значения приводятся в даташите.

Несколько замечаний о принятых в международной инженерной практике условностях [2-3]. Напряжение на выводе биполярного транзистора по отношению к общему проводу GND обозначается буквой «V» (англ. «Voltage») и одним из подстрочных индексов: «B» (англ. «Base», база), «C» (англ. «Collector», коллектор), «E» (англ. «Emitter», эмиттер). К примеру,  $V_C$  — это напряжение на коллекторе относительно GND. Напряжение между двумя выводами транзистора обозначается двойным индексом:  $V_{CE}$  — это напряжение между коллектором и эмиттером.

Индекс, образованный двумя одинаковыми буквами указывает на источник питания:  $V_{CC}$  — положительный,  $V_{EE}$  — отрицательный контакт. Образно можно представить себе транзистор проводимости  $n-p-n$ , у которого коллектор соединяется с питанием (C-C), а эмиттер с «массой» (E-E). Транзисторы проводимости  $p-n-p$  в эту стройную теорию не помещаются, сказывается тот факт, что они изначально по технологическим причинам были меньше распространены.

Для полевых  $n$ -канальных транзисторов существуют аналогичные названия, соответственно,  $V_{DD}$  (плюс питания, напряжение «сток — сток», «Drain-to-Drain») и  $V_{SS}$  (минус питания, напряжение «исток — исток», «Source-to-Source»).

Поскольку современные МК состоят из полевых транзисторов, то логично было бы их выводы питания обозначить парой « $V_{DD}-V_{SS}$ », а не « $V_{CC}-GND$ », как у микросхем ТТЛ-логики. Однако, здесь начинается самое интересное (Табл. 2.4). Единообразие отсутствует даже в МК одной фирмы и одного семейства.

Таблица 2.4. Варианты обозначения выводов питания МК

Вывод МК	Назначение	Пары условных обозначений в даташитах			
Питание	Положительный, «плюс»	$V_{DD}$	$V_{CC}$	$V_{CC}$	$V_{DD}$
Общий	Отрицательный, «минус»	$V_{SS}$	GND	$V_{SS}$	GND

**Пример 1.** Микросхема Z86L33 фирмы Zilog, выполненная в корпусе с 28 выводами, имеет название цепей питания « $V_{DD}-V_{SS}$ », а та же микросхема в корпусе с 40 выводами — « $V_{CC}-GND$ ».

**Пример 2.** В семействе ATmega фирмы Atmel принято обозначение « $V_{CC}-GND$ » (далее в книге как основное), а в семействе ARM той же фирмы « $V_{DD}-GND$ ».

**Пример 3.** МК K1816BE49 имеет два вывода питания, один из них  $V_{CC}$  является основным, а другой  $V_{DD}$  служит для подключения резервной батареи.

Наверное, дальше всех в казуистике названий продвинулась микросхема TMS320F фирмы Texas Instruments, имеющая вывод общего провода с «двойной фамилией»  $V_{SSIAGND}$ .

Тем, кто часто работает с разными семействами МК, пригодится простое мнемоническое правило — поскольку за буквой «C» латинского алфавита сразу следует буква «D», значит  $V_{CC}$  и  $V_{DD}$  относятся к одной и той же цепи, т.е. к питанию. Вывод GND ни с чем не спутаешь, это «земля», «общий провод». Остаётся обозначение  $V_{SS}$ , которое методом исключения приравнивается к GND.

Кстати, слово «вывод» (англ. «pin» — булавка) употребляется в электронике для микросхем, транзисторов, конденсаторов, диодов, резисторов, оптопар, катушек индуктивности. Слово «контакт» — для разъёмов, переключателей, джамперов, реле, перемычек, а вот сленговые названия «ноги, ножки» более характерны человеку, нежели электронному изделию.



### Организация питания в МК

Двухпроводное питание современным МК досталось по наследству от «прадедушек» i8048/i8051. Сейчас оно в основном применяется в малогабаритных МК с числом выводов 6...18, например, в Atmel ATtiny, Microchip PIC10/12. Мера вынужденная, т.к. свободных выводов катастрофически не хватает.

С развитием технологии в состав МК стали вводить аналоговые узлы АЦП/ЦАП, которые весьма чувствительны к помехам. Произошёл естественный переход на трёх- (Рис. 2.9), четырёх- (Рис. 2.10, а...в) и многопроводные (Рис. 2.11, а, б) схемы питания.

Добавление цепей AVCC (Analog VCC) и AGND (Analog GND) позволяет развязать между собой аналоговые и цифровые части микросхемы, уменьшить импульсные помехи, повысить инструментальную точность каналов АЦП и ЦАП.

Переменные резисторы  $R_A$  и  $R_D$  отличаются между собой по сопротивлениям. Во времени они тоже изменяются по разным законам. Например, в рабочем режиме «цифровой» ток значительно больше «аналогового». Следовательно,  $R_A$  больше, чем  $R_D$ . В ждущем режиме ситуация может измениться с точностью до наоборот.

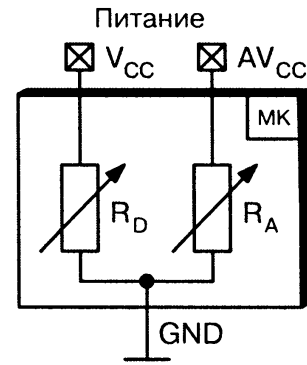


Рис. 2.9. Трёхпроводное питание МК.

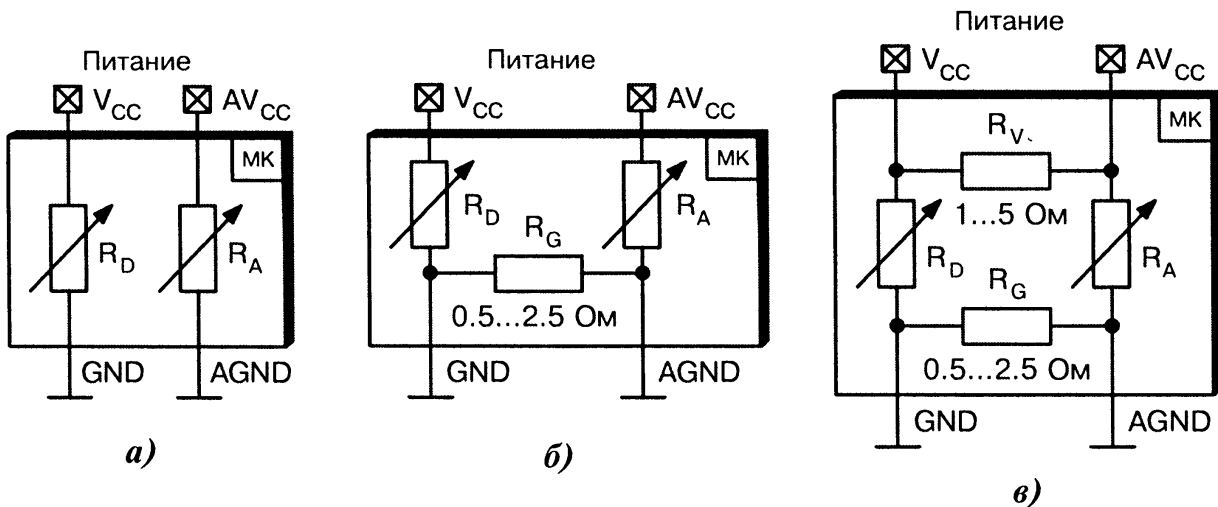


Рис. 2.10. Четырёхпроводное питание МК:

а) полная развязка; б) двойной общий провод; в) двойной общий провод и двойное питание.

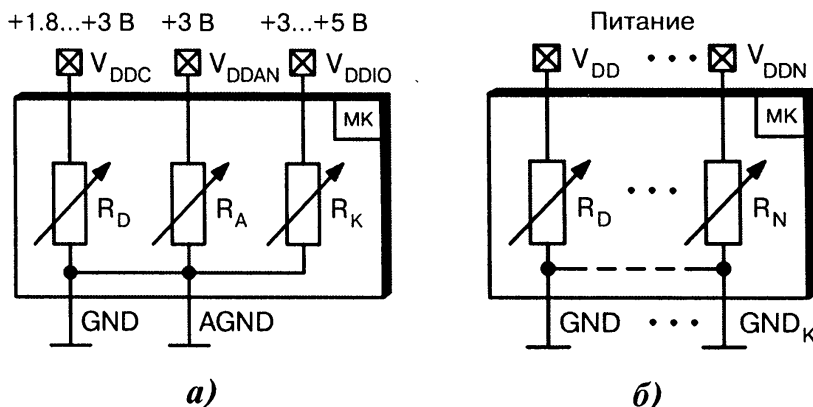


Рис. 2.11. Многопроводное питание МК:

а) разные диапазоны напряжения для процессорного ядра и периферийных линий ввода/вывода;  
б) разное число выводов питания и общего провода.

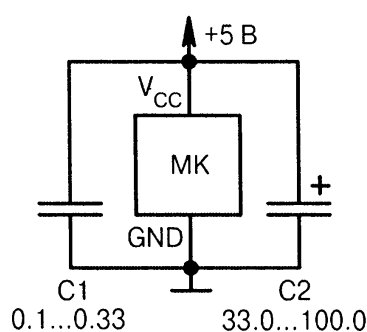
Резисторы  $R_G$ ,  $R_V$  — это омические сопротивления, непосредственно измеренные тестером между выводами микросхем. Их наличие или отсутствие не поддается логическому предсказанию и обычно не указывается в даташитах. Например, в одном и том же семействе Atmel ATmega у микросхем ATmega8 и ATmega16 питание выполняется, соответственно, по схемам, изображенным на **Рис. 2.10, в** и **Рис. 2.10, б**.

В каждом конкретном случае разобщённость внутренних цепей надо проверять экспериментально, не надеясь на знаменитый славянский «авось». Абсолютные значения сопротивлений резисторов  $R_G$ ,  $R_V$  у разных фирм отличаются, что связано с особенностями технологии изготовления.

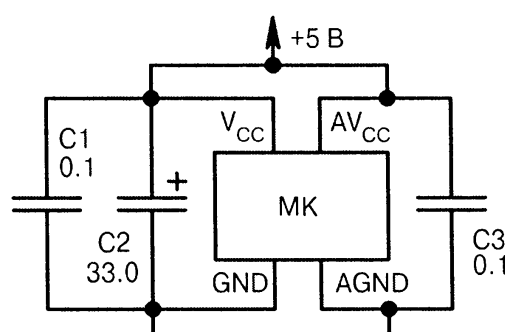
Многопроводные схемы особенно характерны для 16- и 32-битных МК, у которых питание разделяется на несколько потоков. А именно: ядро процессора, периферийные буферы, аналоговая часть, система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), генераторный блок и т.д. Названия цепей встречаются самые экзотические:  $V_{DDA2}$ ,  $V_{DD1.8}$ ,  $V_{DDCORE}$ ,  $V_{33}$ ,  $DV_{CC}$ ,  $V_{DDAD}$ ,  $AV+$ ,  $V_{SS4}$ ,  $DV_{SS}$ ,  $V_{SSA}$ . Рекордсменом в этой области можно считать МК семейства Atmel AT91CAP, где в одном корпусе насчитывается 12 неповторяющихся названий выводов питания и 8 вариаций названий общего провода. Каждая из силовых цепей в свою очередь продублирована несколькими одноимёнными выводами с разных сторон четырёхгранного корпуса, что позволяет равномернее распределить токовую нагрузку.

## Фильтрация помех

Если посмотреть на осциллограмму тока потребления МК, то в ней можно заметить низкочастотную (НЧ) и высокочастотную (ВЧ) составляющие. Как следствие, колебания тока приводят к появлению НЧ- и ВЧ-помех на зажимах питания. Для их ослабления используют стандартные решения в виде связки конденсаторов (**Рис. 2.12**, **Рис. 2.13**), LC- и RC-фильтров (**Рис. 2.14**, **Рис. 2.15**).



**Рис. 2.12.** Фильтрация помех в двухпроводной схеме питания.



**Рис. 2.13.** Фильтрация помех в четырёхпроводной схеме питания.

Неполярные конденсаторы  $C1$ ,  $C3$  ослабляют ВЧ-помехи. Их наличие обязательно возле любого МК, причём максимально близко от выводов питания (не более 50 мм). Конденсаторы должны быть керамические, например, К10-17 или поверхностно монтируемые чип-конденсаторы ходовых размеров 0603...1206.

Базовый номинал ёмкости 0.1 мкФ выбран условно, как легко запоминающийся. Устройство будет нормально функционировать и при 0.068 мкФ, и при 0.15...0.22 мкФ. Иногда параллельно конденсатору  $C1$  ставят ещё одну неполяр-

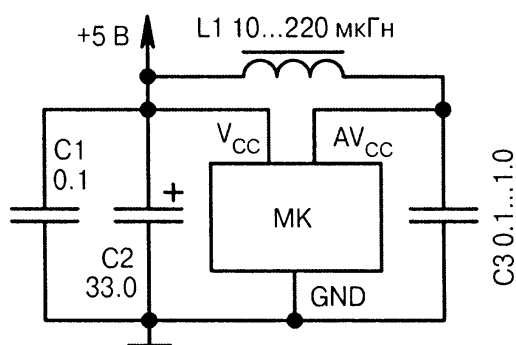


Рис. 2.14. Фильтрация помех LC-фильтром.

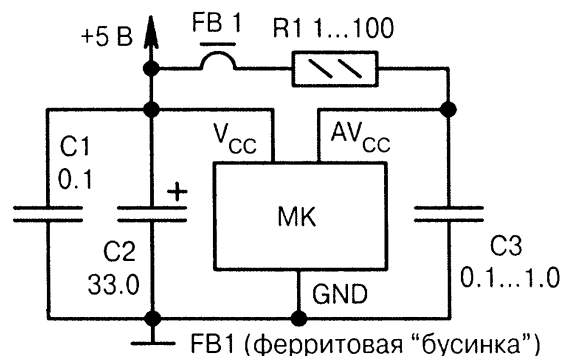


Рис. 2.15. Фильтрация помех RC-фильтром.

ную ёмкость 1000 пФ, которая снижает уровень радиоизлучений. Обычно такой способ применяют в профессиональной аппаратуре, чтобы войти в допуск при проверках изделия на электромагнитную совместимость и радиопомехи.

Полярный конденсатор  $C2$  желательно использовать танталовый (а не алюминиевый), поскольку он лучше подавляет импульсные помехи. При выборе ёмкости можно руководствоваться эмпирическим правилом, которое заимствовано из многолетней практики применения сетевых источников питания — 1000 мкФ на каждый ампер тока нагрузки. К примеру, если цифровая часть МК потребляет ток 10...30 мА, то достаточно поставить конденсатор  $C2$  ёмкостью 10...30 мкФ с рабочим напряжением не менее 6.3 В. Знатоки рекомендуют выбирать более высоковольтные конденсаторы с напряжением 10...16 В, поскольку повышается надёжность в эксплуатации и, главное, снижается внутренний импеданс, что позволяет лучше фильтровать помехи.

Конденсатор  $C2$  обязателен при батарейном питании в качестве накопителя энергии, а также при значительных колебаниях и скачках напряжения. В некоторых случаях его функцию выполняет конденсатор фильтра сетевого выпрямителя или стабилизатора напряжения. Как вариант, конденсатор  $C2$  может физически размещаться вблизи других цифровых микросхем и косвенно воздействовать на цепь питания МК.

Катушка индуктивности  $L1$  развязывает цифровую и аналоговую части по высокой частоте. Если её не ставить, то может ухудшиться точность измерения АЦП и стабильность порога срабатывания аналогового компаратора. Как ни парадоксально, но значительную часть помех по питанию создают внутренние цифровые узлы МК, поэтому LC- и RC-фильтры защищают контроллер от ... самого себя. Номинал индуктивности  $L1$  не особо критичен и может варьироваться в широких пределах.

Ферритовая «бусинка»  $FB1$  (Ferrite Bead) представляет собой проводник, пропущенный через ферритовое кольцо или цилиндр. Этот элемент способствует снижению высокочастотных излучений, которые можно зафиксировать лишь специальными измерительными радиоприёмниками в экранированной «безэховой» камере. Такие испытания обязательны при сертификации продукции.

В любительской практике фильтр  $FB1$  ставится редко, разве что в связанной спортивной аппаратуре, где помехи от МК могут существенно повлиять на качество принимаемого радиосигнала и значительно ухудшить чувствительность.

## Диапазон питания

Различают узко- и широкодиапазонные МК (Табл. 2.5). Классификационным признаком служат допустимые пределы рабочего питания, при которых изготовитель ещё гарантирует технические параметры согласно даташиту. «Низковольтные» варианты МК отличаются добавлением буквы «L» (Low) или «V» (Very low) в названии. Например, узкий диапазон — 4.5...5.5 В (ATmega128, PIC16F628A), широкий диапазон — 2.7...5.5 В (ATmega128L), 2...5.5 В (PIC16LF628A).

Таблица 2.5. Пределы изменения напряжения питания МК

Диапазон питания	Разброс [%]	Напряжение питания [В]
Узкий	±5; ±10; ±15	2.7...3.6; 3.0...3.6; 4.5...5.5; 4.75...5.25
Широкий	±35; ±40; ±45	1.8...5.5; 1.8...6.5; 2.0...5.5; 2.7...5.5

Традиционно в любительских разработках используют питание 5 В, хотя в последнее время всё чаще переходят на диапазон 2.7...3.6 В. Судя по форумам в Интернете, МК с узким и широким диапазоном питания изготавливаются по одному и тому же технологическому процессу, но вследствие естественного разброса параметров, разбраковываются на группы «хуже — лучше». Это не означает, что МК с диапазоном 4.5...5.5 В не будет работать при пониженном до 3 В питании. Будет! Однако нельзя гарантировать его устойчивый запуск при крайних значениях температуры, тактовой частоты и нагрузок.

Общее правило — когда требуется максимальное быстродействие, то повышают напряжение питания и выбирают узкодиапазонный МК, когда требуется минимальный ток потребления — наоборот.

Подводя итоги обзора подсистемы питания, предлагается для идеализированного МК выбрать следующие усреднённые характеристики:

- напряжение питания 2.7...5.5 В (широкий диапазон);
- ток потребления 3...15 мА при комнатной температуре, средней тактовой частоте и напряжении питания 3...5 В;
- нагрузка по всем выходам МК должна быть такой, чтобы максимальный ток, протекающий через вывод питания, не превышал 100 мА;
- обозначение силовых выводов  $V_{CC}$ , GND, как в AVR-контроллерах;
- базовая схема организации питания соответствует Рис. 2.8;
- аналоговые цепи  $AV_{CC}$ , AGND в идеализированном МК имеются, но для упрощения графики на электрических схемах не показываются, хотя питание к ним подводится по аналогии с Рис. 2.13, Рис. 2.14, Рис. 2.15.

## Практические рекомендации

Как показывает печальный опыт электронщиков, МК весьма «нежные» устройства по отношению к броскам питания и не любят перегрузок напряжения, даже кратковременных. Если имеется вероятность попадания на микросхему в аварийном режиме уровней более 5.5...7 В (для каждого МК в даташите по-разному), то необходимо ставить элементы защиты — стабилитроны, сапрессоры.

Частая ошибка увлечённых экспериментаторов заключается в установке МК в панельку «задом-наперёд», противоположной стороной. Получается, что вместо плюса питания может подаваться минус, линии портов могут соединяться с об-

шим проводом и т.д. Подавляющее большинство МК такие опыты выдерживают с достоинством и без разрушения. Здесь важно следить за длительностью воздействия неблагоприятных факторов, чем меньше время, тем лучше. Подача питания обратной полярности вызывает температурный разогрев корпуса МК, но если вовремя снять напряжение, то микросхема, как правило, остаётся целой.

Нумерация выводов питания МК не стандартизована, в отличие от серийных микросхем ТТЛ- и КМОП-логики. Известное правило: «Старший по номеру вывод — это  $V_{CC}$ , а вдвое меньший по номеру вывод — это GND» распространяется лишь на некоторые типы МК (в частности, Atmel ATmega8515), и то, для совместимости с цоколёвкой микросхем с ядром MCS-51. Лучшим вариантом с точки зрения помехоустойчивости и частотных свойств является размещение выводов подсистемы питания в центре корпуса (например, Atmel ATmega8535). При этом сокращается путь тока от источника питания к процессорному ядру и снижается индуктивность выводов. На низких тактовых частотах это не столь существенно, а на высоких — приносит ощутимую пользу.

Если корпус микросхемы четырёхгранный, то «земляных» выводов GND, как правило, много и они дублируют друг друга со всех четырёх сторон. Таким нехитрым способом повышается суммарная максимальная токовая нагрузка на линии портов МК до 200...400 мА без перегрева кристалла.

При разработке топологии печатной платы следует придерживаться общих рекомендаций по проектированию аналого-цифровых устройств:

- проводники, по которым распространяются аналоговые сигналы, должны быть как можно короче по длине и располагаться подальше от быстродействующих цифровых трактов;
- аналоговые и цифровые части питания должны соединяться в одной единственной точке, желательно прямо на выводах общего электролитического конденсатора фильтра;
- на печатной плате рекомендуется предусматривать две области сплошной металлизации, отдельно для аналоговой и отдельно для цифровой «земли», над которыми размещаются только «свои» радиоэлементы;
- если выводы GND и AGND соединяются электрически внутри микросхемы, этот момент можно использовать при разводке печатной платы в качестве бесплатной перемычки (но только для цифрового режима и низкой токовой нагрузки);
- если аналоговый компаратор, АЦП и ЦАП не используются, то всё равно для повышения помехоустойчивости рекомендуется соединять между собой цепи  $AV_{CC}$  и  $V_{CC}$ , GND и AGND любым доступным способом. Исключение из правила — это миниатюрные устройства с батарейным питанием, где отключение аналоговой части может существенно сэкономить энергию.

### 2.2.3. Подсистема начального сброса

МК состоит из статических триггеров, регистров и счётчиков. После подачи питания их надо принудительно установить в определённое логическое состояние, иначе из-за всеобщего хаоса выполнение программы станет непредсказуемым. Импульс начального сброса подаётся на выводы RST (ReSeT) или  $\overline{RES}$  (ин-

версный RESet). Отличаются они между собой, соответственно, положительной (Рис. 2.16) и отрицательной (Рис. 2.17) формой сигнала.

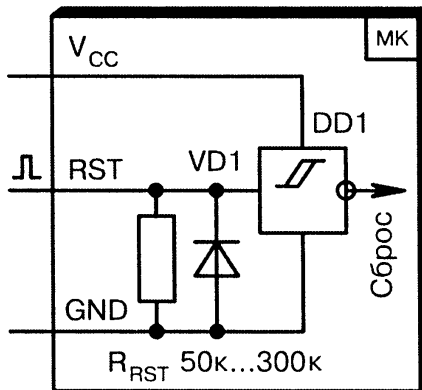


Рис. 2.16. Сброс импульсом положительной формы.

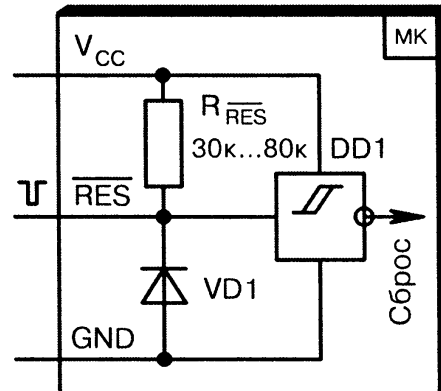


Рис. 2.17. Сброс импульсом отрицательной формы.

Резисторы  $R_{RST}$  и  $R_{RES}$  полупроводниковые. Их роль играют не полностью закрытые полевые транзисторы, находящиеся внутри МК. Назначение резисторов — обеспечить привязку входа триггера Шмитта DD1 к общему проводу или к шине питания. Тем самым цепь сброса не будет «висеть в воздухе» и не будет ловить внешние помехи. Следует учитывать, что полупроводниковые резисторы, в отличие от обычных, имеют нелинейную зависимость сопротивления от напряжения питания (Рис. 2.18). Кроме того, по технологическим причинам трудно обеспечить их одинаковые сопротивления от партии к партии и от микросхемы к микросхеме. Разброс неконтролируемый и составляет десятки процентов.

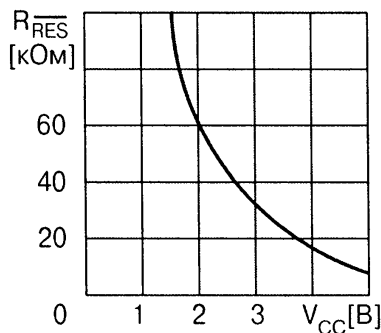


Рис. 2.18. Зависимость сопротивления резистора сброса  $R_{RES}$  от напряжения питания (семейство Atmel ATmega).

Диод VD1 защищает вход сброса от статического электричества и случайных выбросов отрицательного напряжения. Ток через диод в импульсе не должен превышать 10...20 мА.

МК, совместимые с MCS-51, традиционно используют схему «положительного» сброса. С этим связана поучительная история. Старожилы помнят, что первые микросхемы i8051 (без буквы «С» в названии) в начале 1980-х годов делались по технологии *n*-МОП. Как следствие, контроллер потреблял значительный ток в статике. Для снижения энергопотребления разработчики применили следующий трюк — вход сброса RST совместили с входом подачи резервного питания от внешней батареи. Если основное питание пропадало, то активизировалось резервное. При этом на входе RST постоянно был ВЫСОКИЙ уровень, который приостанавливал работу ядра ЦПУ, но сохранял информацию в ОЗУ. Если бы сброс производился импульсом отрицательной формы, то разработчики не смогли бы воспользоваться таким техническим решением.

Если бы сброс производился импульсом отрицательной формы, то разработчики не смогли бы воспользоваться таким техническим решением.

В дальнейшем произошёл переход на более прогрессивную КМОП-технология, при которой логические вентили практически не потребляют ток в статике. Теперь сигнал сброса может иметь любую полярность с «привязкой» входного резистора к общему проводу или к питанию.

Интересное наблюдение. Фирмы, разрабатывающие новые семейства МК, почему-то дружно используют схему с «отрицательным» сбросом. Её и предлагается ввести в состав идеализированного МК.

### Организация начального сброса

Начальное обнуление современных МК производится в следующих случаях (Рис. 2.19):

- Power-On — внутренний автоматический сброс, который активизируется сразу после подачи питания;
- Brown-Out — сброс от внутреннего детектора «просадок» питающего напряжения;
- External Reset — внешний сброс НИЗКИМ уровнем на выводе  $\overline{RES}$ ;
- Watch-Dog — сброс от внутреннего «сторожевого» таймера при случайной остановке работы ЦПУ или зависании программы;
- JTAG — программный сброс через отладочный интерфейс JTAG.

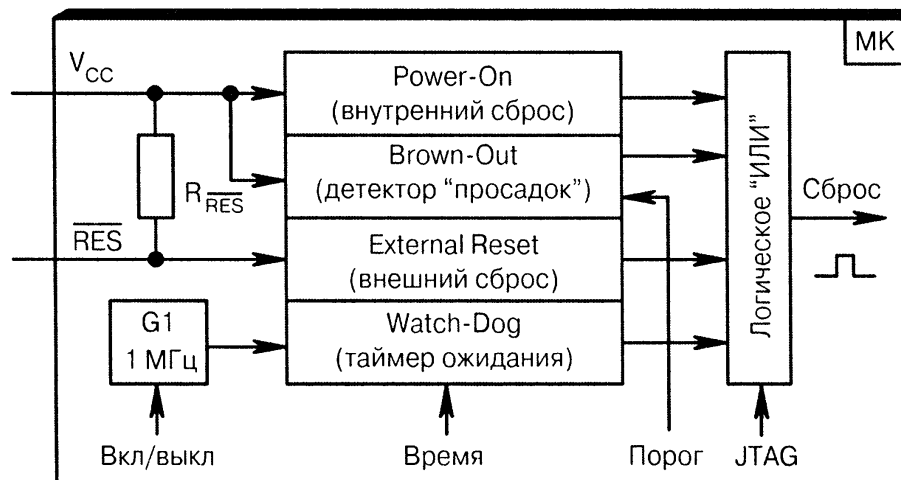


Рис. 2.19. Подсистема начального сброса МК.

Все источники сброса равноценны, что подчёркивает логический элемент «ИЛИ», находящийся внутри МК. Установка режимов сброса производится конфигурационными битами, а также программно-доступными регистрами из области SFR. Настраиваться могут: порог срабатывания детектора «просадок» напряжения, длительность времени задержки таймера ожидания Watch-Dog, моменты включения/отключения генератора G1.

Узел аппаратного сброса Power-On присутствует во всех без исключения МК. Если напряжение питания стабильно во времени и подаётся резким скачком, то внешние элементы для сброса теоретически вообще не нужны. Обнуление производится автоматически узлом Power-On по достижению определённого порога.

При высокой скорости нарастания питания (ориентировочно за время не более 1...5 мс) вход сброса  $\overline{RES}$  подключают к цепи  $V_{CC}$  тремя способами: напрямую, че-

рез внешний резистор сопротивлением 1...10 кОм или оставляют свободным, полагаясь на внутренний резистор МК.

Первый вариант полностью устраняет путь помехам, но исключает «кнопочный» сброс и возможность повторного программирования. Второй вариант позволяет подключить кнопку сброса, что удобно при лабораторном макетировании в домашних условиях. Третий вариант разрешается при отсутствии помех и наличии внутри МК подтягивающего резистора  $R_{\overline{RES}}$  сопротивлением до 100 кОм.

Если напряжение питания нарастает более длительное время (для разных семейств МК по-разному), то рекомендуется установка внешних RC-цепочек (Рис. 2.20, а, б) со стандартными значениями:

- $R_1 = 10$  кОм,  $C_1 = 0.1$  мкФ при времени нарастания 5...20 мс. Например, подача питания  $V_{CC}$  переключателем, который располагается между интегральным стабилизатором напряжения +5 В и МК;
- $R_1 = 10$  кОм,  $C_1 = 10$  мкФ при времени нарастания 20...100 мс. Это актуально, например, при включении устройства в сеть 220 В общим тумблером. Если ёмкость конденсатора  $C_1$  больше 1 мкФ, то для ускорения его разряда ставят диод  $VD1$  типа 1N4148 (КД522Б), а для защиты входа сброса от перенапряжения ещё и резистор  $R_2$ . Эти перестраховки продлевают МК жизнь.

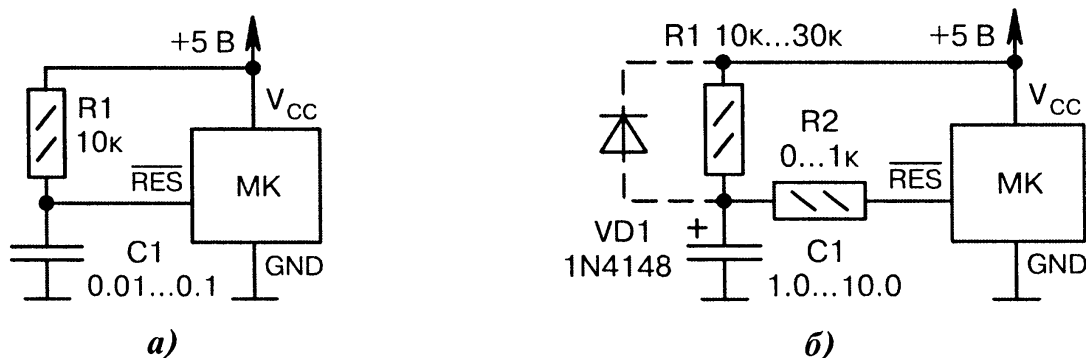


Рис. 2.20. Сброс внешней RC-цепочкой:

а) при среднем времени нарастания питания; б) при большом времени нарастания питания.

Узел детектора *Brown-Out* появился в архитектуре МК сравнительно недавно. В частности, в семействе Atmel AT90S его ещё не было, что приводило к непредсказуемым сбоям и самопроизвольному стиранию ячеек памяти EEPROM. Физика процессов простая. При критически низком напряжении питания узел программирования памяти ещё работоспособен, а ЦПУ уже не управляем. Следовательно, в ячейки памяти может заноситься произвольная информация. Налицо конструктивный дефект, поэтому семейство AT90S было полностью снято с производства и заменено семействами ATmega, ATtiny, в которых детектор *Brown-Out* предусмотрен на постоянной основе.

Детекторная цепь измеряет напряжение питания  $V_{CC}$  и вырабатывает сигнал сброса ЦПУ при достижении программно заданного порога в районе 2...4 В. Имеется гистерезис 0.1...0.15 В, что препятствует повторному рестарту при небольших колебаниях напряжения. В результате повышается помехоустойчивость при питании от полуразряженных батарей/аккумуляторов, а также при мощных электромагнитных наводках.



Детектор получил название «Brown-Out», поскольку отслеживает кратковременные «коричневые» (англ. «brown») просадки напряжения. Почему «коричневые»? Потому что этот цвет более светлый, чем чёрный, которым на сленге обозначают полное пропадание питания «Black-Out».

Детектор Brown-Out можно включить и выключить установкой определённых конфигурационных битов. Через них же задаются пороги срабатывания напряжения 2...4 В, которые, кстати, имеют приличный технологический разброс.

Здесь находится «подводный камень», о который часто «спотыкаются» разработчики, если устанавливают порог срабатывания детектора Brown-Out равным или выше, чем рабочее питание. Типичный пример:  $V_{CC} = 3.6$  В, а конфигурационные биты настроены на порог 4 В. В таком случае МК примерно через секунду после подачи питания сбросится внутренним сигналом Brown-Out, затем вновь начнёт программу и опять сбросится, не успев толком ничего сделать.

Напрашивается вывод — первичную отладку программного обеспечения следует проводить при выключенном узле Brown-Out, но затем обязательно его включить, проверить и постоянно эксплуатировать на объекте.

*Узел Watch-Dog*, он же «сторожевой таймер», «пограничный пес», «собака в карауле». Если сторожевой таймер включен, то он постоянно увеличивает значение своего счётчика. Через промежуток времени, равный «тайм-ауту» Watch-Dog, выполняется принудительный сброс МК. Однако, пользователь имеет возможность вставить в программу специальную команду WDR (**W**atch-**D**og **R**eset), чтобы обнулить счётчик и тем самым отсрочить момент сброса. Если отсрочку производить вовремя, то устройство будет нормально функционировать, а разработчик будет уверен в том, что его детище «не зациклилось». Время «тайм-аута» задаётся регистрами из области SFR и может составлять от одной миллисекунды до нескольких секунд.

Если программа почему-то «зависла» на одном месте или произошёл сбой, то очередная команда WDR в ЦПУ не поступает, «спящий дог» просыпается и принудительно сбрасывает МК. Программа стартует заново, как после нажатия кнопки сброса. Тем самым предотвращаются аварийные остановки программы, что полезно при автономной работе устройства в необслуживаемых человеком пунктах.

Тактируется Watch-Dog от отдельного внутреннего RC-генератора  $G1$  частотой 0.1...1 МГц, что позволяет ему выполнять свою функцию даже при полном пропадании внешнего тактового сигнала. Частота генерации зависит от температуры и напряжения питания. Общее разрешение/запрет на работу «сторожевого таймера» устанавливается конфигурационными битами.

Узел Watch-Dog является полезным, но не обязательным для домашнего применения. Чтобы не запутаться, на первых порах его лучше вообще не использовать. Благо, при начальных заводских настройках конфигурационных битов, Watch-Dog по умолчанию отключён и никак не влияет на работу МК.

*Узел внешнего сброса* активизируется, если на входе  $\overline{RES}$  в течение нескольких микросекунд удерживается НИЗКИЙ уровень. На более короткие импульсы вход сброса не реагирует. Это сделано специально, чтобы повысить помехоустойчивость. Источниками внешнего сброса могут служить: механическая кнопка, управляющий логический уровень, микросхема монитора питания, а также любой узел автоматики, имеющий выход «сухой контакт» или «открытый коллектор».

Узел сброса через JTAG характерен только для самых новых МК, в которых присутствует одноимённый интерфейс. Программисту предоставляется возможность при отладке послать команду с условным названием «МК\_RESET», принудительно сбрасывая МК в начальное положение. Такая технология полезна для опытных разработчиков, поскольку требует специальных знаний и навыков.

Выбор конкретной схемы сброса зависит от условий эксплуатации. Например, если суммарная ёмкость конденсаторов фильтра между цепями  $V_{CC}$  и GND составляет более 1000 мкФ, то, скорее всего, понадобится внешняя RC-цепочка (Рис. 2.20, а, б). Если рядом с выводом  $\overline{RES}$  на печатной плате проходит силовая коммутационная цепь, то для выяснения причин сбоев полезно временно соединить линию сброса МК с питанием. Если прибор располагается вблизи от источника мощных промышленных помех, то на входе сброса рекомендуется поставить дополнительную микросхему супервизора питания, которая продублирует узел Brown-Out. Логика рассуждений простая. Копеечный супервизор «кашу маслом не испортит», зато он сможет спасти в непредвиденной ситуации.

#### 2.2.4. Подсистема синхронизации

Для того чтобы МК заработал, необходимо подать на ЦПУ тактовые импульсы. Чем выше их частота, тем быстрее выполняются операции, а чем ниже их частота, тем меньше потребление тока. Формированием тактовых частот занимается подсистема синхронизации. На её структурной схеме (Рис. 2.21) имеется несколько встроенных генераторных узлов (on-chip oscillator). Расшифровка сокращений: HF (High Frequency) — высокочастотный, LF (Low Frequency) — низкочастотный, CLK (CLOCK) — тактирование.

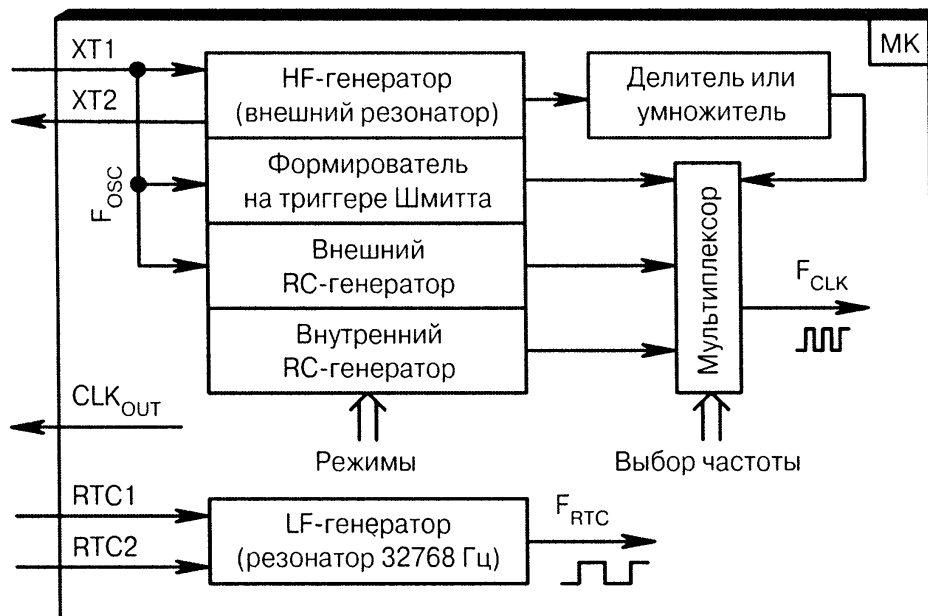


Рис. 2.21. Подсистема синхронизации МК.

Из четырёх верхних частотообразующих блоков, только HF-генератор использует два вывода подключения XT1, XT2. Тем самым подчёркивается, что он рассчитан на схему с обратной связью. На Рис. 2.22 показано внутреннее устройство подобного генератора, в котором содержится инвертирующий усилитель  $A1$  и бу-

ферный логический формирователь на триггере Шмитта *DD1*. Если к выводам *XT1*, *XT2* подключить кварцевый резонатор и два конденсатора на общий провод, то в системе возникнут условия для автогенерации.

Вместо кварцевого резонатора можно поставить более дешёвый керамический. Такие резонаторы упрощают конструкцию (т.к. часто содержат встроенные конденсаторы), быстрее выходят в рабочий режим, но обладают меньшей стабильностью частоты генерации.

Если разомкнуть обратную связь и оставить вывод *XT2* свободным, то на вход *XT1* можно подавать внешний тактовый сигнал любой скважности и формы (если особо не оговорено). Внутренний формирователь на триггере Шмитта *DD1* восстанавливает крутые фронты импульсов даже из синусоидального сигнала.

Если необходима плавная перестройка тактовой частоты, то к выводу *XT1* подключают внешнюю *RC*-цепочку с переменным резистором. При этом используется не усилитель *A1*, а другой генераторный узел, тоже находящийся в МК.

При невысоких требованиях к стабильности временных интервалов можно перейти на внутренний *RC*-генератор. Достоинство — экономится дорогостоящий кварцевый или керамический резонатор. Входы *XT1*, *XT2* оставляют свободными или используют их как дополнительные цифровые линии портов. Частота генерации задаётся конфигурационными битами (грубо) и внутренними регистрами (точно). Устанавливать её номинал желательно как можно ниже (обычно около 1 МГц), чтобы обеспечить максимальную стабильность параметров.

Выводы *XT1*, *XT2* основного генератора в разных МК могут обозначаться по-разному: *XTAL1*, *XTAL2*, *X1*, *X2*, *XIN*, *XOUT*, *OSC1*, *OSC2*. Главное, запомнить, что первым по порядку идёт вход (*xxxx1*, «In»), затем выход (*xxxx2*, «Out»).

Управление режимами подсистемы синхронизации осуществляется через конфигурационные биты. Они переключают каналы мультиплексора, настраивают частоту внутреннего *RC*-генератора и т.д. Они же могут разрешить/запретить выдачу сигнала *CLK<sub>OUT</sub>* (Рис. 2.21) с отдельной линии порта, с частотой, в несколько раз меньше тактовой. Эта функция присутствует не во всех МК.

Сформированный из входного сигнала  $F_{OSC}$  сигнал  $F_{CLK}$  направляется в качестве тактового к ЦПУ и к периферии. Частота обоих сигналов может быть как одинаковой, так и разной. В последнем случае в игру вступают делители и умножители частоты. Например, при долгих паузах в работе выгодно уменьшить частоту до 32 кГц, при этом значительно снижается потребление тока. При желании увеличить быстродействие, можно умножить тактовую частоту через систему ФАПЧ.

Канал «часов реального времени» *RTC* (*Real Time Clock*) функционирует отдельно от основного тактового генератора. Другие названия его выводов — *TOSC1*, *TOSC2*. Канал *RTC* отсутствует в дешёвых и маловыводных МК. Физически он представляет собой автономный асинхронный генератор НЧ-сигналов, из которых после деления формируются метки стабильного времени, например,

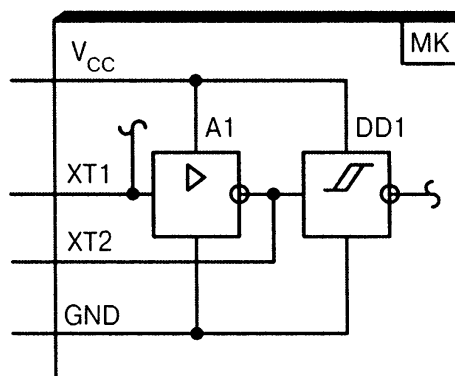


Рис. 2.22. Внутреннее устройство генераторного узла.

секундные. Базовой частотой узла RTC считается 32768 Гц, как в электронных часах, хотя допускается его работа в диапазоне 10...250 кГц.

Активизируется канал RTC через программно-доступные регистры из области SFR. В момент начальной подачи питания он выключен, поэтому выводы RTC1, RTC2 могут использоваться в качестве обычных линий цифровых портов.

Многообещающее название «часы реального времени» на поверку оказывается «красивой обёрткой, но без конфеты». Чтобы узнать точное время в «часах-минутах-секундах», программисту придётся изрядно потрудиться, обрабатывая прерывания и создавая свой «Юлианский календарь». Считается, что проще применить отдельную специализированную микросхему типа DS1307, DS1337 фирмы Maxim/Dallas, из регистров которой по запросу получают точное время и дату.

Положительным свойством сигналов RTC является асинхронность по отношению к  $F_{CLK}$ . Это позволяет использовать их для управления таймерами-счётчиками или для независимого формирования сигналов сверхбольшой длительности.

### Режимы работы основного канала синхронизации

Идеализированный МК должен работать в тех же самых режимах тактирования, которые присущи стандартным МК общего назначения:

- от высокочастотного кварцевого резонатора 1...33 МГц (Рис. 2.23, а);
- от среднечастотного керамического резонатора 0.4...4 МГц (Рис. 2.23, б);
- от низкочастотного кварцевого резонатора 10...100 кГц (Рис. 2.23, в);
- от внутреннего RC-генератора 1; 2; 4; 8 МГц (Рис. 2.23, г);
- от внешней RC-цепочки 0.4...12 МГц (Рис. 2.23, д);
- от внешних синхроимпульсов 0...40 МГц (Рис. 2.23, е).

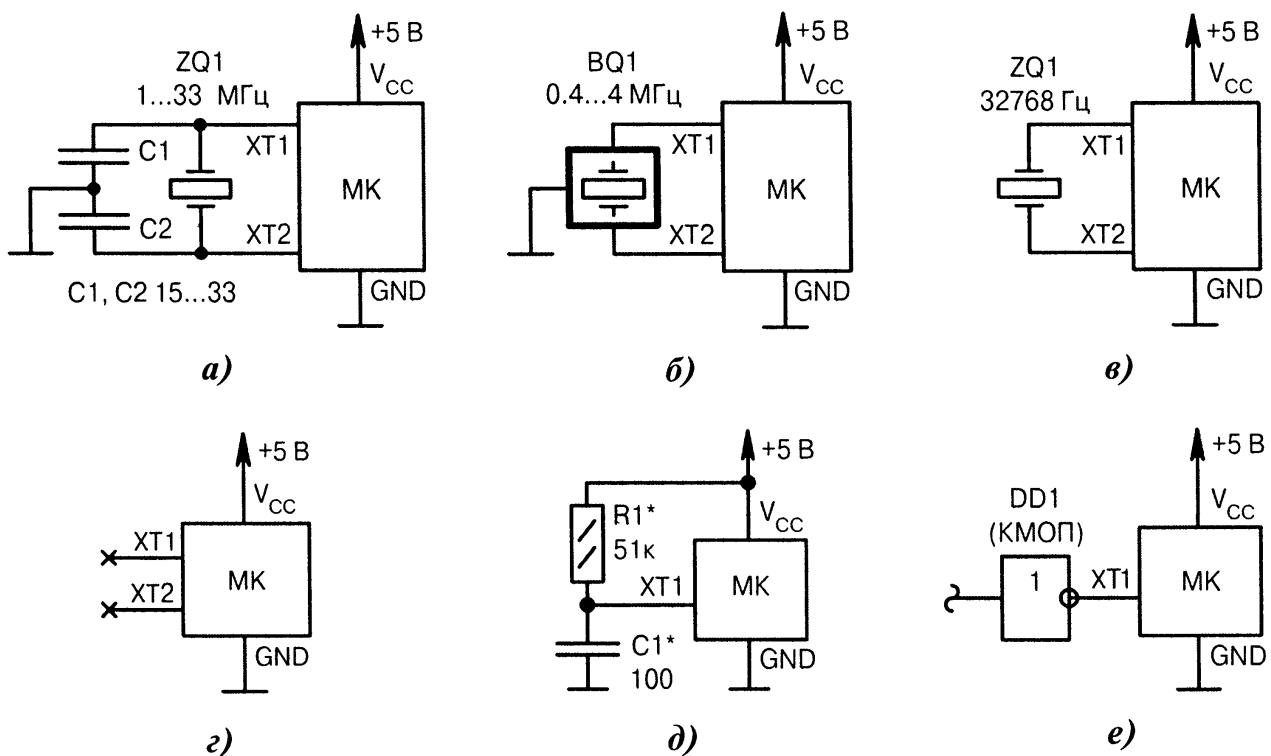


Рис. 2.23. Схемы формирования тактовой частоты:

а) от ВЧ кварцевого резонатора; б) от керамического резонатора; в) от НЧ кварцевого резонатора; г) от внутреннего генератора; д) от RC-цепочки; е) от внешних импульсов.

Все перечисленные режимы работы задаются при программировании многочисленных конфигурационных битов. Как здесь не запутаться начинающему разработчику? То коэффициент умножения/деления выбирается неверный, то внутренний *RC*-генератор на вдвое меньшую частоту настраивается, то включается «не тот» источник тактового сигнала. Квинтэссенцией ошибок горе-экспериментатора становится ситуация, когда МК после очередной «прошивки» конфигурационных битов вообще перестает откликаться и его нельзя перепрограммировать, хотя пять минут назад всё отлично получалось...

Из общих рекомендаций действенна лишь одна — внимательно изучать материальную часть и с карандашом в руке разбираться в хитросплетениях таблиц даташитов. Некоторые подсказки по заполнению конфигурационных битов для семейств Atmel ATmega, Microchip PIC16/18 содержатся в [2-4], [2-5], [2-6].

Нижняя частота работы МК, как правило, не ограничивается, вплоть до нуля герц, т.е. на вход ХТ1 можно подавать постоянное напряжение или перепады логических уровней от обычной кнопки. Однако для правильного функционирования системы ФАПЧ, которая применяется во внутренних умножителях частоты, требуется подавать ВЧ-импульсы определённых параметров. Например, для Microchip PIC18F2455 в даташите указывается значение  $F_{OSC} = 0...48$  МГц (без ФАПЧ) и  $F_{OSC} = 4...48$  МГц (с ФАПЧ). Наличие или отсутствие режима ФАПЧ в МК можно узнать по ключевому слову PLL (Phase Locked Loop).

Верхняя частота работы идеализированного МК будет принята равной 33 МГц при подключении кварцевого резонатора и 33...40 МГц при подаче внешних тактовых синхроимпульсов. Это примерно соответствует параметрам современных МК и уровню существующей технологии. Небольшой нюанс. Разница в частотах 33 и 40 МГц указывает на то, что внутри МК имеется умножитель с ФАПЧ (как в Microchip PIC). Если частоты совпадают (как в Atmel AVR), то умножителя, скорее всего, нет.

В рекламе самых производительных МК фигурируют очень высокие тактовые частоты. Но они действительны только для ядра ЦПУ, а не для внешнего кварцевого резонатора. К примеру, микроконверторы семейства Analog Devices ADuC7000 могут от «часового кварца» с частотой 32768 Гц синтезировать тактовый сигнал для ЦПУ с частотой  $F_{CLK} = 41.78$  МГц, а в контроллерах Analog Devices Blackfin умножители «разгоняют» внутренние импульсы с единиц мегагерц до 500...750 МГц.

В некоторых МК конфигурационными битами допускается изменение амплитуды выходного сигнала генератора на выводе ХТ2. При малой амплитуде снижаются паразитные ВЧ-излучения, что важно для электромагнитной совместимости. При больших уровнях, называемых «rail-to-rail» ( $0...V_{CC}$ ), появляется возможность подключения к ХТ2 одного или нескольких логических КМОП-элементов.

При работе от аккумуляторной батареи и невысоких требованиях к быстродействию выгодно применять низкочастотные кварцевые резонаторы от электронных часов. Дело в том, что на частоту 32768 Гц оптимально настроена внутренняя генераторная схема МК. Собственный ток потребления цифровыми узлами в таком режиме составляет всего лишь десятки микроампер.

Если в аппаратуре уже имеется системный задающий генератор, то логично использовать его в качестве хронизирующего для тактирования МК. Импульсы подаются на вход ХТ1 и далее на внутренний триггер Шмитта. Преимущество

подобного решения заключается, во-первых, в полной синхронизации системы от единого источника, во-вторых, в возможности выбора нестандартной частоты генерации, в-третьих, в повышенной стабильности тактовых импульсов. Последний вариант рассчитан на применение термостатированных кварцевых генераторов, квантовых хранителей времени, системы спутниковой и радионавигационной синхронизации.

Ещё одна польза от режима внешнего генератора проявляется при так называемом «аварийном программировании». Имеется в виду случай, когда МК теряет управляемость из-за неверно установленных конфигурационных битов. Рекомендуются сделать для себя простейший генератор на логической микросхеме, без разницы с RC-цепочкой или с кварцевым резонатором на частоту 1...8 МГц [2-4]. Подав от него сигнал на вход XT1, можно восстановить программируемость МК при заранее неизвестных конфигурационных битах. Внешние импульсы служат своеобразной «палочкой-выручалочкой», поскольку они успешно проходят внутрь микросхемы во всех без исключения генераторных режимах.

### 2.2.5. Подсистема портов ввода/вывода

Порты, порты и ещё раз порты. Без их детального изучения в микроконтроллерной технике не обойтись. Порты в 8-битных МК содержат по 8 линий (выводов, разрядов, битов). Но это не догма. В разных семействах МК порты могут логически объединяться в группы по 4, 16 или 32 линии.

Различают две системы нумерации портов — цифровую и буквенную.

*Цифровая нумерация* берёт начало от прародителя MCS-51 и содержит следующие элементы: букву «Р» (англ. «Port»), затем цифру номера порта 0...3, разделительную точку, цифру номера текущей линии 0...7.

**Пример.** «P3.4» — пятая линия четвёртого по счёту порта. Цифра «3» обманчива, как майский снег. По ней нельзя судить об истинном количестве портов в МК. К примеру, 20-выводная микросхема Atmel AT89C4051 физически имеет всего лишь два порта, но для совместимости программного обеспечения с MCS-51 один из портов называется P1 (а не P0), а другой P3 (а не P1).

Разновидности цифровой нумерации:

- отсутствует разделительная точка между цифрами (P25, P33);
- добавление к букве «Р» одной или нескольких других букв (BP10, GPIO24);
- цифра номера порта больше, чем 3 (P9.1, P5.5);
- номер текущей линии больше, чем 7 (P0.31, P2.14).

*Буквенная нумерация* появилась позже цифровой. В её основе лежит здравая идея замены цифры порта порядковой буквой латинского алфавита. Новая система обозначений содержит следующие элементы: букву «Р», номер порта «А...Z», номер текущей линии 0...7.

**Пример.** «PA2» — третья по счёту линия порта «А». Почему «третья»? Потому что программисты начинают счёт не с единицы, как обычные люди, а с нуля.

Разновидности буквенной нумерации:

- замена буквы «Р» другой буквой (RA2);
- добавление к букве «Р» одной или нескольких других букв (GPIOA2, PTB3);
- номер текущей линии больше, чем 7 (PA25, PF15).

Порт для удобства понимания можно представить в виде морской гавани (Рис. 2.24). В неё заходят корабли (вводятся электрические сигналы), и оттуда они отправляются в плавание (выходят электрические сигналы). Линии порта — это отдельные судоходные каналы или, по-морскому, фарватеры, ограниченные ба-кенами (буями). Направление движения в канале в любой момент времени может быть изменено на противоположное. Некоторые каналы имеют особый статус. К примеру, две линии портов PC5, PC6 на Рис. 2.24 физически отсутствуют или же они спрятаны внутри и доступны на чтение только для ЦПУ, как в MCS-51.

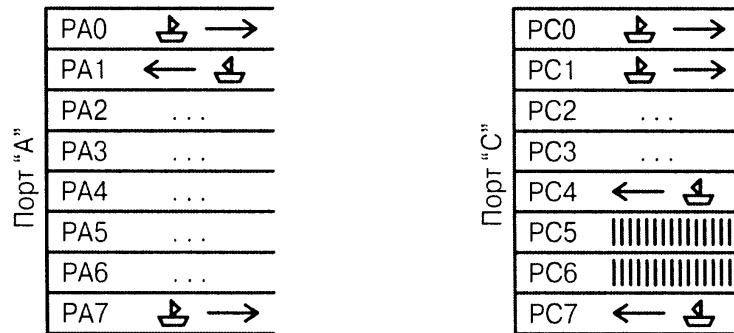


Рис. 2.24. Образная интерпретация понятия «порт».

Количество портов зависит в первую очередь от размера корпуса. Общая тенденция — чем больше выводов имеет микросхема, тем больше в ней линий портов, тем больше выполняемых функций, но тем дороже она продаётся.

## Классификация портов

По типу сигналов различают:

- цифровые порты, использующие на входе и на выходе дискретные логические уровни ВЫСОКИЙ/НИЗКИЙ;
- аналоговые порты, использующие плавно весь диапазон входных/выходных напряжений  $0 \dots V_{CC}$ . В редких случаях, например, в микроконвертерах Analog Devices, допускаются двухполярные входные аналоговые сигналы;
- смешанные порты, которые в процессе работы могут оперативно изменить режим и перейти с «цифры» на «аналог», и наоборот.

Смешанный вариант сам по себе уникален, ведь совмещение цифровых и аналоговых функций под крышей одного вывода — это поистине микроконтроллерное «ноу-хау». В микропроцессорах серии i8080 такого ещё не было.

Несмотря на формальное преимущество смешанных портов, тем не менее, если корпус МК большой, то аналоговые выводы стараются физически отделить от цифровой части и подвести к ним «своё» питание и «землю». Данный приём встречается в 32-битных МК, что позволяет уменьшить перекрёстные помехи.

По направлению передачи сигнала различают:

- входные порты, предназначенные только для ввода информации;
- выходные порты, предназначенные только для вывода информации;
- двунаправленные порты, режим работы которых изменяется с входа на выход в зависимости от инструкций программы;
- порты с переключаемой альтернативной функцией, например, цифровой порт, совмещённый с АЦП, с входом таймера, с UART, ШИМ и т.д.

Монофункциональные порты первого и второго типов сейчас встречаются крайне редко. Слишком уж расточительно такое «барство» для малоразмерных МК. Чистые двунаправленные порты третьего типа тоже теряют свои позиции. В настоящее время самыми распространёнными являются порты четвёртого типа. Более того, наблюдается чёткая тенденция к увеличению числа альтернативных функций, «навешанных» на одну линию.

В условном обозначении МК альтернативные функции принято перечислять через дробь. Однако, если дробей много, то ухудшается читаемость схемы.

*Пример надписи:* GP4/T1G/OSC2/CLKOUT. Именно так в даташите на микросхему Microchip PIC12F629 указываются три дополнительные функции для одной цифровой линии порта GP4.

Модной тенденцией последнего времени стало динамичное распределение альтернативных функций портов. Имеется в виду, что каждому выводу микросхемы может быть оперативно назначена своя функция. Например, нулевой канал АЦП на выбор можно подключить или к линии PA0, или к линии PA5 и т.д. В даташитах приводятся переводные таблицы режимов, которые переключаются регистрами из области SFR. Так сделано, например, в МК семейства Atmel ATXmega.

Жизнь показывает, что в реальных программах линии портов чаще всего выполняют какую-то одну задачу, например, цифровой логический выход, генератор сигналов ШИМ, вход АЦП, выход ЦАП. Режимы работы задаются в начале программы при инициализации регистров и в дальнейшем не изменяются.

Быстрое переключение свойств выводов МК встречается редко, ведь для этого требуются определённые программные навыки и нетрадиционные схемные решения. Следовательно, на первый план выходит умение разбираться в тонкостях подключения одиночных линий входных и выходных портов первого и второго типов. Уяснив их работу, в дальнейшем будет нетрудно перейти к анализу смешанных портов третьего и четвёртого типов.

Итак, рассмотрению подлежат: цифровые входы, аналоговые входы, цифровые выходы, аналоговые выходы, двунаправленные входы/выходы.

## Цифровые входы

Входную цепь МК в цифровом режиме проще всего представить в виде логического КМОП-элемента, который по параметрам примерно соответствует стандартным сериям микросхем 74НС, 74АС, К561. «Примерно», потому, что есть разница в электрических характеристиках продукции разных фирм, изготавливающих МК.

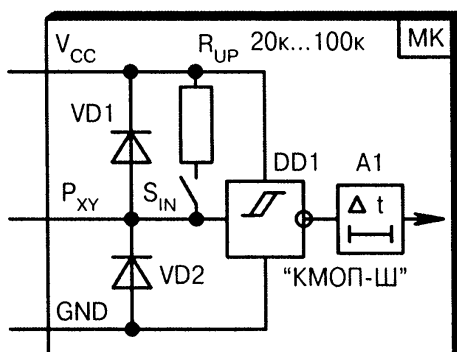


Рис. 2.25. Схема цифрового входа МК с «pull-up» резистором  $R_{UP}$ .

В отличие от микросхем обычной логики, на входе МК находится подтягивающий резистор  $R_{UP}$  и программно управляемый ключ  $S_{IN}$  (Рис. 2.25). Если ключ разомкнут, то входное сопротивление МК очень велико. В некоторых семействах резистор присутствует постоянно или же он «притягивается» к общему проводу через отдельный ключ (Рис. 2.26, а...г).



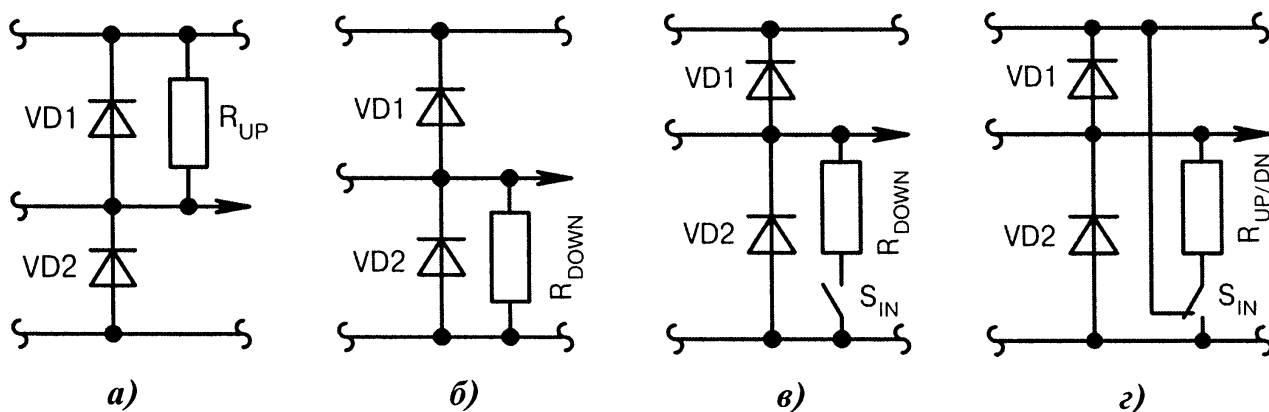


Рис. 2.26. Варианты подключения внутренних резисторов в МК:

- а) постоянное соединение резистора с цепью питания (MCS-51); б) постоянное соединение резистора с общим проводом; в) программное подключение резистора к общему проводу; г) программный выбор резистора «pull-up»/«pull-down» (Texas Instruments MSP430x21).

Логический элемент *DD1*, что на Рис. 2.25, выполняется по технологии КМОП и имеет характеристику триггера Шмитта (КМОП-Ш, Рис. 2.27). Это повышает помехоустойчивость. Той же цели служит линия задержки *A1*, которая отсекает короткие импульсные помехи.

Резисторы  $R_{UP}$ ,  $R_{DOWN}$ , как и в подсистеме сброса, изготавливаются на основе интегральных полевых транзисторов, поэтому прозвонить их омметром нельзя. Большой технологический разброс определяет широкие допуски, вплоть до  $\pm 50\%$  от номинала, например, 30...100 кОм.

Редко, но встречаются МК с индивидуальной настройкой сопротивления входных резисторов. Например, для Texas Instruments MSP430x11x (версия с MaskROM) обеспечивается выбор 10 градаций сопротивлений в диапазоне 2.1...506 кОм путем пережигания плавких перемычек в заводских условиях.

Резисторы имеют англоязычные названия: «pull-up» («тянуть вверх»), «pull-down» («тянуть вниз»). Если для коммутации резисторов применяется ключ («switch»), то используются похожие термины «switched pull-up», «switched pull-down». Почему вверх и вниз? Потому что на электрических схемах принято рисовать общий провод внизу, а вывод питания вверху.

Диоды  $VD1$ ,  $VD2$  защитные, антистатические. Они присутствуют в МК так же, как и в обычных микросхемах КМОП-логики. При входном напряжении выше уровня  $V_{CC}$  открывается диод  $VD1$ . При уменьшении входного напряжения ниже уровня GND открывается диод  $VD2$ .

Насколько большими в абсолютных числах могут быть скачки напряжения? Для большинства МК по даташитам допускается не более  $+0.3/-0.3$  В, как например, в Microchip PIC12/16/18/24. Встречается повышенная устойчивость входов к перенапряжениям  $+0.5/-0.5$  В (Atmel AVR, Analog Devices Blackfin). Бывают

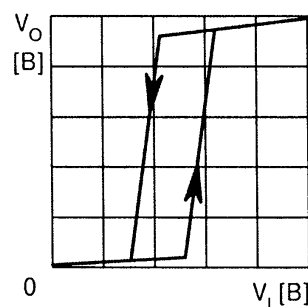


Рис. 2.27. Передаточная характеристика элемента «триггер Шмитта» ( $V_I$ ,  $V_O$  — входное и выходное напряжение).

несимметричные уровни +0.5/−0.3 В (Maxim/Dallas DS89C430) или +0.5/−1.0 В (Atmel AT90S).

В даташитах можно найти параметр «Input/Output clamp current» или «DC injection current». Для МК фирмы Microchip его значение составляет +20/−20 мА, что хорошо согласуется с рекомендациями международной ассоциации JEDEC для микросхем КМОП-логики (Рис. 2.28). Что же означает этот параметр? Имеется в виду максимальное значение прямого тока, которое выдерживают защитные диоды *VD1* и *VD2* при выходе напряжения за нормальные пределы. Это стрессовый параметр аварийного режима, на который нельзя ориентироваться при разработках.

Но в некоторых даташитах указываются гарантированные прямые токи, после воздействия которых микросхема возвращается в исходное состояние без повреждения полупроводниковых структур. Например, TMS320F фирмы Texas Instruments официально допускает длительное протекание тока через защитные диоды +2/−2 мА, а в MC9S08 фирмы Freescale Semiconductor указан суммарный ток через все защитные диоды не более 5 мА. Рекордные токи гарантируются в семействе STR71 фирмы STMicroelectronics: +5/−5 мА длительно для одного диода, но не более 25 мА суммарно по всем диодам.

Схемные разновидности цифровых входов показаны на Рис. 2.29, а...в. Сокращение ТТЛ-КМОП означает логический элемент, выполненный по технологии КМОП, но имеющий входные уровни, совместимые с ТТЛ (+0.4/+2.4 В). Приме-

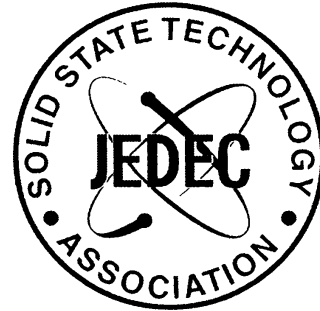


Рис. 2.28. Эмблема ассоциации JEDEC [2-7].

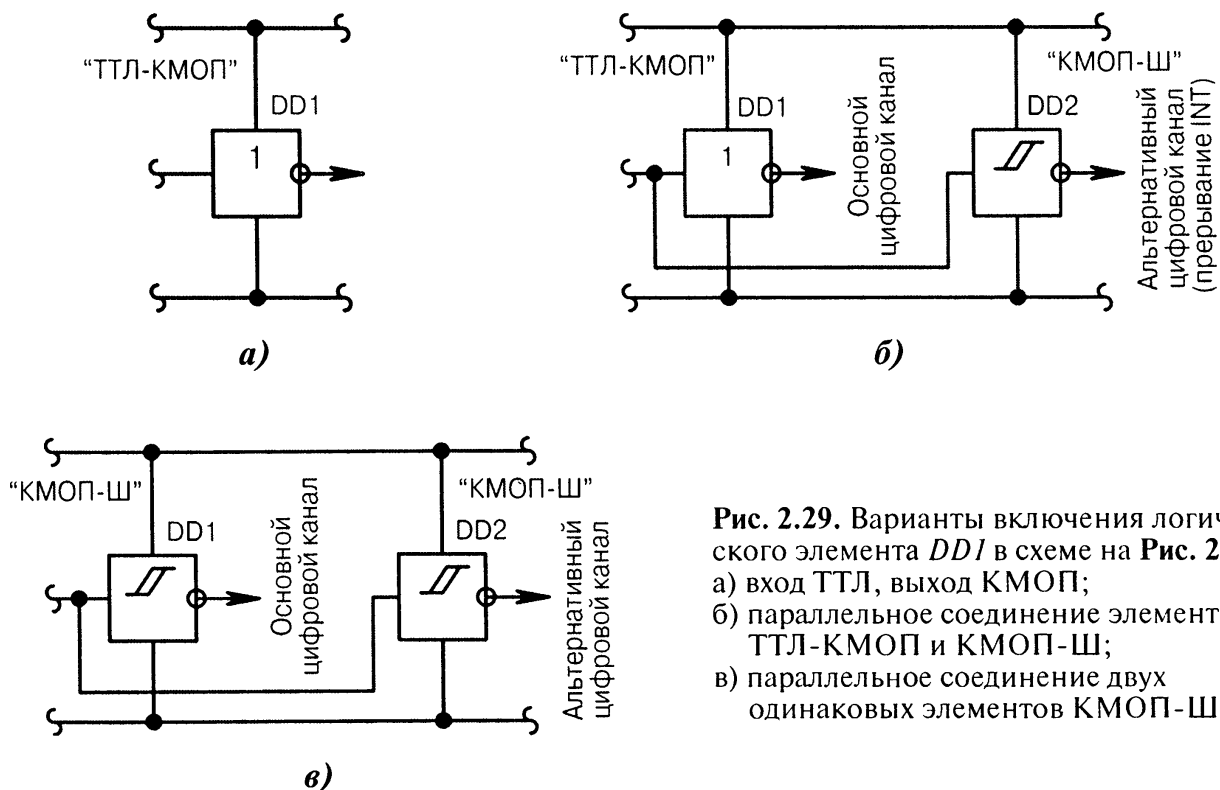


Рис. 2.29. Варианты включения логического элемента *DD1* в схеме на Рис. 2.25: а) вход ТТЛ, выход КМОП; б) параллельное соединение элементов ТТЛ-КМОП и КМОП-Ш; в) параллельное соединение двух одинаковых элементов КМОП-Ш.

ром может служить серия микросхем 74НСТ (ТТЛ-КМОП), которая отличается по входным характеристикам от аналогичной серии 74НС (КМОП, КМОП-Ш).

Элементы ТТЛ-КМОП, показанные на **Рис. 2.29, а**, встречаются в семействе Microchip PIC16, причем попеременно с КМОП. С одной стороны это хорошо, т.к. можно напрямую подключать к входам МК микросхемы ТТЛ-логики, но с другой стороны доставляет хлопоты, поскольку надо запоминать, какой вывод микросхемы какой характеристикой обладает — ТТЛ или КМОП. В дальнейшем фирма Microchip отказалась от специализации и в своих новых семействах PIC18/24 сделала их единообразными КМОП-Ш. На фирме STMicroelectronics пошли по другому пути и ввели в семейство STR71 программно переключаемые входы. Хочешь, на выбор, КМОП-Ш или ТТЛ-КМОП.

Схема, показанная на **Рис. 2.29, б**, относится к классу многофункциональных цифровых портов. Такое встречается, например, в Microchip PIC16F684 и выделяется дробью в обозначении вывода — RA5/T1СК1. Входной сигнал разделяется на два потока: цифровой вход с логическим элементом *DD1* (ТТЛ-КМОП) и вход таймера прерывания с логическим элементом *DD2* (КМОП-Ш). Оба элемента имеют разные пороги срабатывания по напряжению, поэтому может возникнуть курьёзный случай, когда МК в режиме обычного цифрового входа работает нормально, а при обслуживании запросов прерывания INT даёт сбой.

Схема, показанная на **Рис. 2.29, в**, тоже является многофункциональной, но в правой и левой частях стоят одинаковые логические элементы. Альтернативными каналами могут быть UART и SPI, синхронные и асинхронные входы обработки прерываний. Параллельное включение двух элементов *DD1*, *DD2* не влияет на суммарное входное сопротивление МК, слишком уж оно велико у полевых транзисторов. Цифровые каналы также могут разделяться не возле входа, а после общего буферного элемента, т.е. вход элемента *DD2* соединяется с выходом *DD1*.

Важный практический нюанс, общий для всех входных цифровых схем. Если линии портов настроены как входы без внутренних «pull-up» резисторов и к ним ничего извне не подключается, то потребляемый МК ток увеличивается чуть ли не на четверть. Парадокса здесь нет, просто «парящие в воздухе» высокоомные КМОП-входы находятся в неустойчивом состоянии (то ли «ноль», то ли «единица») и любая внешняя наводка приводит к «дребезгу». Это заставляет хаотично работать логические элементы внутри МК, что приводит к увеличению динамических потерь и повышению энергопотребления. Рекомендация — все неиспользуемые в схеме входы надо снаружи или изнутри нагружать на резисторы сопротивлением 10...100 кОм или же переводить линии в режим цифровых выходов.

*Подведение итогов.* Базовой для идеализированного МК предлагается выбрать схему, приведенную на **Рис. 2.25**. Входы с альтернативными цифровыми функциями будут замещаться схемой, изображенной на **Рис. 2.29, в**, которая содержит однотипные элементы КМОП-Ш.

## Аналоговые входы

Аналоговый режим отличается от цифрового, в первую очередь, уровнями подаваемых на вход сигналов. Для цифрового режима — это стандартные двоичные перепады напряжения НИЗКИЙ/ВЫСОКИЙ. Для аналогового режима допускаются сигналы любой формы в диапазоне  $0... V_{CC}$ .

Изолированные аналоговые входы в МК встречаются редко. В целях экономии места их совмещают с цифровыми линиями и используют как альтернативную функцию порта. В условном изображении МК такие выводы легко идентифицируются по аббревиатуре, начинающейся с первой буквы латинского алфавита: «AN», «ADC4», «AIN» и т.д. Пример — линия RA0/AN0 в микросхеме Microchip PIC16F628A или PC1/ADC1/PCINT9 в микросхеме Atmel ATmega168.

Аналоговые входы МК отождествляются с аналоговым компаратором и АЦП.

Принцип работы *аналогового компаратора* (Рис. 2.30) заключается в сравнении между собой сигналов на положительном («+», AIN0) и отрицательном («-», AIN1) входах. Если на «положительном» входе напряжение станет хотя бы на несколько милливольт больше, чем на «отрицательном», то выходной сигнал компаратора DA1 станет ВЫСОКИМ, и наоборот. Результат сравнения помещается в один из регистров из области SFR. В некоторых МК сигнал AIN физически выводится наружу, что показано на схеме пунктиром. Программно управляемый переключатель S1 служит для подачи на вход компаратора сигнала от внутреннего источника опорного напряжения (ИОН) или от внешнего вывода AIN0. В некоторых семействах МК переключатель S1 многопозиционный и обеспечивает не два, а несколько дополнительных вариантов коммутации.

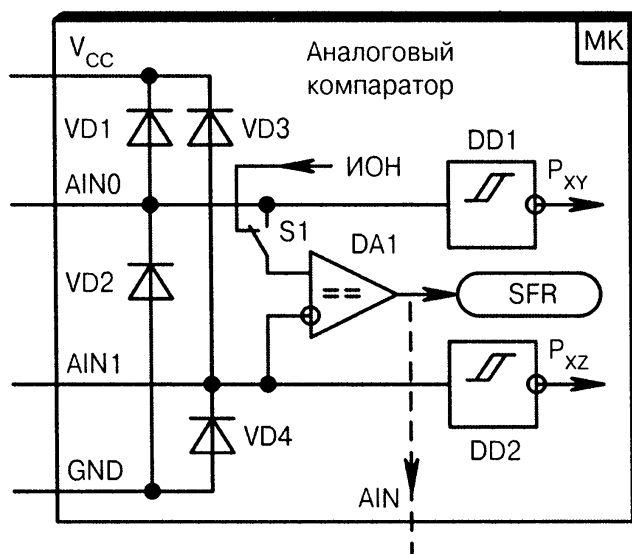


Рис. 2.30. Структурная схема узла аналогового компаратора.

Диоды  $VD1...VD4$  и логические элементы  $DD1, DD2$  относятся к цифровому порту (никуда от них не денешься!), но они имеют очень высокое сопротивление и на точность работы компаратора не влияют. Важно только проследить, чтобы цифровые «pull-up» резисторы были программно отключены, иначе пострадают показания абсолютных уровней сигналов.

Главное достоинство аналогового компаратора заключается в высоком быстродействии, иначе его уже давно бы заменили узлом АЦП. Только время покажет, устоит ли аналоговый компаратор перед технологическими достижениями и останется ли он в будущих моделях МК.

Принцип работы *многоканального АЦП* в МК заключается в измерении абсолютного уровня входного сигнала методом последовательных приближений (чаще) или дельта-сигма-преобразованием (реже). Основным параметром АЦП

считается разрядность. Обычно она составляет 8...12 битов при максимальной частоте выборок 0.1...2 МГц. Для справки, 8-битный АЦП обеспечивает точность измерения входных напряжений около 0.4%, а 10-битный АЦП — около 0.1%, чего вполне достаточно для любительских конструкций.

На Рис. 2.31 в качестве примера показана структурная схема модуля АЦП, применяемого в МК Atmel ATmega16-16PU [2-8]. С незначительными изменениями её можно распространить и на все остальные AVR-контроллеры.

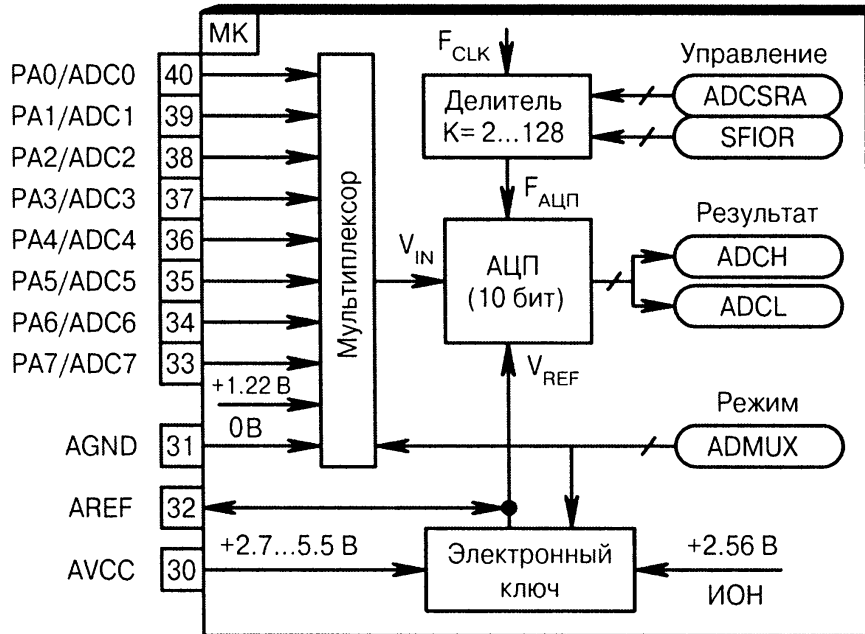


Рис. 2.31. Структурная схема модуля АЦП в МК Atmel ATmega16.

Преобразование «аналог-цифра» осуществляется в 10-битном АЦП последовательного приближения. Для его нормальной работы требуются три сигнала: входной  $V_{IN}$ , тактовый  $F_{АЦП}$ , образцовый  $V_{REF}$ .

Сигнал  $V_{IN}$  поступает от мультиплексора, коммутирующего восемь аналоговых каналов с линий PA0...PA7 и два тестовых напряжения 0 и +1.22 В. Выбор источников сигнала осуществляется программным способом через регистр ADMUX. Этот и другие задействованные регистры входят в область SFR.

Сигнал  $F_{АЦП}$  получается из тактового сигнала  $F_{CLK}$  путем деления на коэффициент 2...128, программно задаваемый регистром ADCSRA. Внутри блока АЦП частота  $F_{АЦП}$  делится ещё раз на 13 или 14 в зависимости от однократного или непрерывного режима измерений. Это и будет истинным значением частоты дискретизации сигнала  $F_D$ . Для справки, второе деление производится потому, что используется АЦП последовательного приближения, а ему для вычисления результата необходимы 13 или 14 машинных тактов.

**Пример.** Пусть  $F_{CLK} = 8$  МГц, коэффициент деления установлен 16, следовательно,  $F_{АЦП} = 500$  кГц,  $F_D = 38.5$  кГц (13 тактов) или  $F_D = 35.7$  кГц (14 тактов).

Сигнал  $V_{REF}$  может поступать из трёх направлений: от входной линии AREF, от внутреннего ИОН +2.56 В, от источника питания AVCC. Переключение направлений осуществляется электронным ключом, который управляется регистром ADMUX. Вывод AREF имеет непосредственную электрическую связь с модулем АЦП, поэтому, для уменьшения наводок, его обычно шунтируют керамическим

конденсатором ёмкостью 0.1 мкФ. Температурная стабильность ИОН в Atmel ATmega16 оставляет желать лучшего, поэтому для повышения инструментальной точности рекомендуется использовать внешнюю микросхему ИОН с нормированными параметрами и выходным напряжением не более  $V_{CC}$ .

Результат каждого измерения помещается в регистры ADCH (старшие 2 бита) и ADCL (младшие 8 битов). Итого в двух регистрах образуется число в диапазоне 0...1023. Цена одного деления —  $V_{REF}/1024$ . Это справедливо для «чистого» режима 10 бит. В ATmega16 имеется ещё один режим, условно называемый 8/10 бит. В нём измерение проводится с точностью 10 битов, но индицируются всего лишь 8 старших битов, т.е. диапазон составляет 0...255, цена одного деления  $V_{REF}/256$ .

При работе АЦП надо в начале программы отключать входные «pull-up» резисторы, поскольку линии ADC0...ADC7 по совместительству служат ещё и цифровыми входами PA0...PA7. На структурной схеме **Рис. 2.31** для простоты не показаны защитные диоды на линиях ADC0...ADC7, хотя реально они существуют. Диоды ограничивают сверху и снизу измеряемое напряжение  $V_{IN}$ . Всё, что выходит за пределы 0... $V_{CC}$ , не обрабатывается и приравнивается снизу к AGND, а сверху к  $V_{CC}$ .

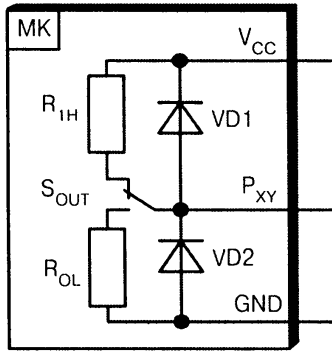
## Цифровые выходы

Основная функция цифровых выходов в МК заключается в формировании НИЗКИХ и ВЫСОКИХ логических уровней. Выходную цепь в цифровом режиме можно представить КМОП-элементом, который имеет «закрытый» или «открытый» выход со стандартной или повышенной нагрузочной способностью. Прототипы подобных элементов широко представлены в сериях микросхем 74НС, 74АС, КР1561, КР1554.

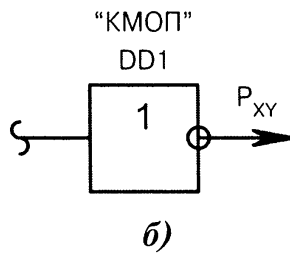
Различают четыре основных варианта организации выходов в МК:

- двухтактный каскад с выходными уровнями, близкими к  $V_{CC}$  и GND (**Рис. 2.32, а, б**). Сокращённое название «push-pull». Встречается практически во всех микроконтроллерных семействах;
- логический элемент с «истинно» открытым стоком или на сленге с «открытым коллектором» (**Рис. 2.33, а, б**). Сокращённое название «open drain» или «true open drain». Встречается в семействах Microchip PIC12/16, STMicroelectronics STR71xF, в МК с ядром MCS-51;
- логический элемент с квазиоткрытым стоком (**Рис. 2.34, а, б**). Сокращённое название «false open drain» из-за присутствия ограничительного диода  $V_{DI}$ . Встречается в МК с двунаправленными портами;
- логический элемент с открытым стоком, дополненный внутренним нагрузочным резистором  $R_{UP}$  (**Рис. 2.35 а, б**). Сокращённое название «квазидвунаправленный», встречается в МК с ядром MCS-51.

Для облегчения понимания физики процессов, в функциональные схемы вводятся эквивалентные переключатели  $S_{OUT}$ . Они замещают реальные электронные ключи, выполненные на полевых транзисторах. В верхнем положении переключателя  $S_{OUT}$  формируется ВЫСОКИЙ, а в нижнем — НИЗКИЙ логический уровень. В тех схемах, где переключатель  $S_{OUT}$  является двухполюсником, его разомкнутое состояние эквивалентно «выходу в обрыве» (**Рис. 2.33, а, Рис. 2.34, а**) или выходу с высокоомным «pull-up» резистором  $R_{UP}$  (**Рис. 2.35, а**).

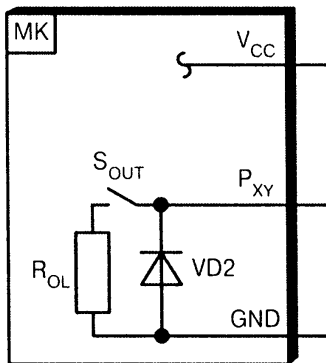


а)

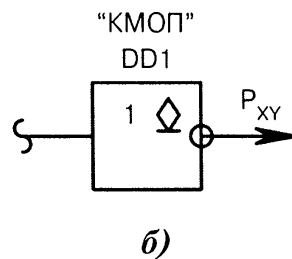


б)

**Рис. 2.32.** Двухтактный цифровой выход «push-pull»: а) внутреннее устройство; б) эквивалентный логический элемент.

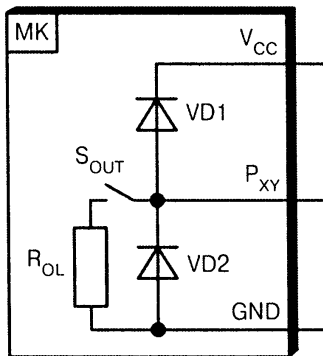


а)

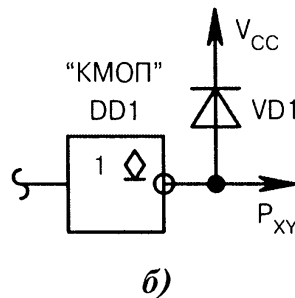


б)

**Рис. 2.33.** Выход с открытым стоком «open drain»: а) внутреннее устройство; б) эквивалентный логический элемент.

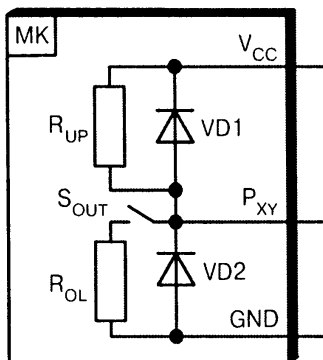


а)

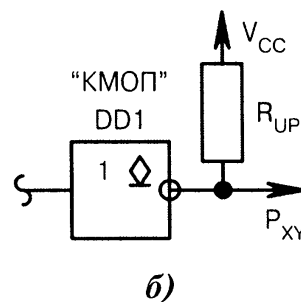


б)

**Рис. 2.34.** Выход с квазиоткрытым стоком: а) внутреннее устройство; б) эквивалентный логический элемент.



а)



б)

**Рис. 2.35.** «Квазидвухнаправленный» выход: а) внутреннее устройство; б) эквивалентный логический элемент.

Управляются переключатели  $S_{OUT}$  записью «нуля» или «единицы» в один из битов регистра из области SFR. Например, в линейках микросхем Atmel AVR и Microchip PIC регистры называются PORTx, где «x» — порядковая буква латинского алфавита номера порта МК.

Диоды  $VD1, VD2$  — это антистатические диоды, аналогичные тем, которые рассматривались ранее в схемах организации цифровых входов на **Рис. 2.25**, **Рис. 2.26, а...г**. Они являются частью конструкции микросхемы и никуда не исчезают при смене направления с входа на выход. Это своеобразная «плата» за двунаправленность цифровых портов.

Резистор  $R_{UP}$  для «квазидвунаправленного» выхода имеет в статическом состоянии такое же большое сопротивление, как и его «тёзка», применяемый на **Рис. 2.26, а**. Основное отличие заключается в том, что на этапе перехода с НИЗКОГО уровня в ВЫСОКИЙ сопротивление данного резистора на короткое время становится очень малым, формируя тем самым крутой нарастающий фронт сигнала. Эта особенность является фирменной меткой всех МК, совместимых с ядром MCS-51 [2-9].

Низкоомные резисторы  $R_{IH}$  и  $R_{OL}$  представляют собой сопротивления открытых каналов соответственно  $p$ -МОП и  $n$ -МОП транзисторов выходного каскада. В числовом выражении это единицы-десятки ом в зависимости от технологии изготовления и нагрузочной способности по току (**Табл. 2.6**).

**Таблица 2.6. Классификация выходных КМОП-каскадов в МК**

Тип выхода	Обозначение	$I_H$ [мА]	Подключаемая нагрузка
Слабый	«Weak»	1...8	Маломощные транзисторные ключи, светодиоды без ограничительных резисторов, КМОП-логика
Стандартный	«Standard»	20...25	Любые транзисторные ключи, светодиоды с ограничительными резисторами, логические элементы
Мощный	«Power»	100...200	Реле, небольшие двигатели, лампы, нагреватели

В двухтактных схемах («push-pull») токовая нагрузка при НИЗКОМ и ВЫСОКОМ уровнях может быть разной. «Заковыка» заключается в мощностях рассеяния транзисторов, входящих в комплементарную пару выходного каскада. Например, в семействе Atmel AT90S верхний по схеме транзистор «слабый», ток нагрузки  $I_{IH} = 1.5...3$  мА, а нижний — «стандартный», ток нагрузки  $I_{OL} = 10...20$  мА.

Бывает, что во всех портах оба выходных транзистора «слабые» (Philips LPC2104) или оба «стандартные» (Atmel AVR, Microchip PIC). А вот всех линий с «мощными» каскадами в одной микросхеме не бывает. Они применяются, как правило, в 16- и 32-битных МК, но в единичном количестве, и служат полезным дополнением к уже имеющимся выходам.

Наиболее толерантным к типам выходных каскадов оказалось семейство Atmel AT91S, в котором мирно уживаются все три градации, перечисленные в **Табл. 2.6**.

Самые востребованные и ходовые — это симметричные выходные каскады «Standard» с примерно одинаковой нагрузочной способностью при НИЗКОМ и ВЫСОКОМ уровне. Для разработчика такая ситуация очень удобна, поскольку не надо мучительно долго вспоминать, на какую шину (к питанию или к «массе») допускается присоединять нагрузку. Именно этот вариант и предлагается выбрать в качестве основного для цифровых выходов идеализированного МК.



На Рис. 2.36, а, б показаны усреднённые вольт-амперные характеристики (ВАХ) выходного транзисторного каскада «Standard».

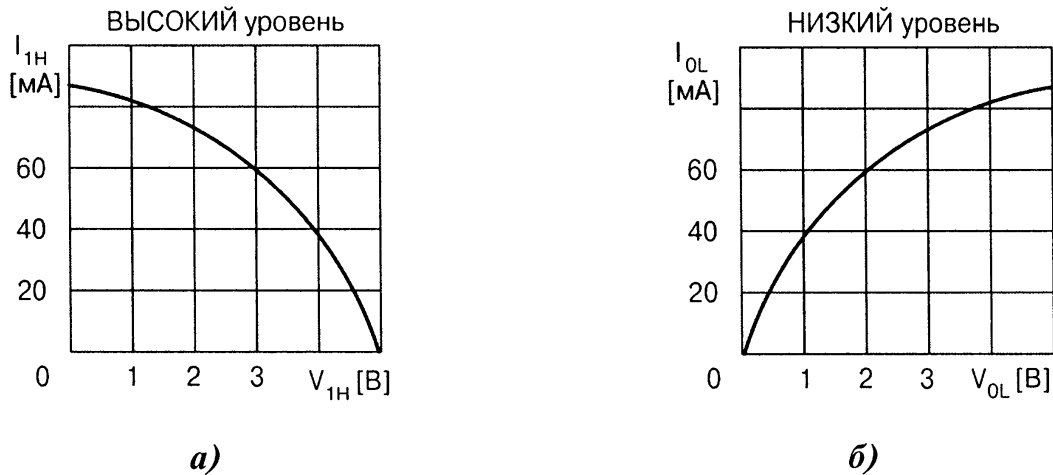


Рис. 2.36. Усреднённые ВАХ цифровых выходов идеализированного МК: а) вытекающий ток  $I_{1H}$  при ВЫСОКОМ уровне; б) втекающий ток  $I_{0L}$  при НИЗКОМ уровне.

Чтобы сравнивать между собой графики, приведенные в даташитах для конкретных типов МК, следует чётко ориентироваться в терминологии:

- $I_{1H} = 20...25$  мА,  $I_{0L} = 20...25$  мА — это максимальные токи нагрузки через резисторы  $R_{1H}$ ,  $R_{0L}$ , при которых ещё гарантируются выходные логические КМОП-уровни от 0 до  $(0.1...0.2)V_{CC}$  и от  $(0.6...0.8)V_{CC}$  до  $V_{CC}$ ;
- $I_{MAX} = 35...45$  мА — это предельный ток нагрузки на одну линию порта, длительное превышение которого может привести (хотя и не обязательно) к отказу МК;
- $I_{K3} = 100...150$  мА — это ток короткого замыкания линии порта на общий провод или на шину питания. Если не снять замыкание в течение первых 10...15 с, то температурный перегрев транзисторов выходного каскада с большой долей вероятности приведёт к фатальным последствиям.

## Аналоговые выходы

Считается, что «истинно» аналоговые выходы имеются только в канале ЦАП (англ. DAC — Digital-to-Analog Converter), поскольку широтно-импульсный модулятор, с помощью которого тоже получают аналоговые сигналы, теоретически относится к классу цифровых устройств.

Линии ЦАП при малейшей возможности стараются физически удалять от цифровых портов для уменьшения перекрёстных помех. Их выполняют в виде автономных узлов с обособленной группой выводов. И только при нехватке линий портов производят совмещение функций, как, например, в Atmel ATXmega.

На Рис. 2.37 показана структурная схема 12-битного ЦАП, применяе-

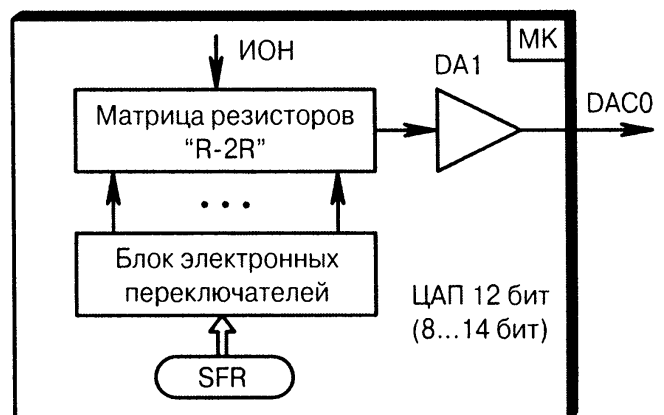


Рис. 2.37. Структурная схема канала ЦАП.

мого в микроконверторах семейства ADuC812 фирмы Analog Devices. Выходной сигнал DAC0 имеет характерные ступеньки напряжений и формируется по классической схеме на коммутируемой матрице резисторов «R-2R». Резисторы здесь настоящие, прозваниваемые, причём достаточно высокой точности.

Цифровой код, соответствующий выходному напряжению, записывается в регистры из области SFR. Для адресации 12 бит требуются два 8-разрядных регистра. Блок переключателей содержит электронные ключи, которые электрически соединяют выводы резисторов «2R» с общим проводом или с ИОН. В качестве последнего может на выбор использоваться или внутренний источник, или внешний эталон.

Усилитель DA1 служит буфером, снижающим выходное сопротивление и уменьшающим влияние нагрузки на точность уровней ЦАП. Иногда ставят усилитель с программируемым коэффициентом передачи, что позволяет оперативно масштабировать выходное напряжение. Задача сглаживания формы выходного сигнала решается внешними RC-фильтрами или активными ФНЧ. Чем выше разрядность ЦАП (обычно 8...14 бит), тем проще устройство выходного фильтра.

Для изготовления микроконтроллерного ЦАП требуется гибридная технология, позволяющая объединить на одной кремниевой пластине цифровые и аналоговые узлы, в частности, логические элементы и прецизионные резисторы. Если наличие ЦАП чрезмерно повышает стоимость микросхемы, то в качестве альтернативы можно использовать обычный МК с каналом ШИМ и внешним фильтром. Этот метод хорошо отработан как на аппаратном, так и на программном уровне.

Слабым подобием узла ЦАП также можно считать внутренний программно управляемый ИОН, имеющийся, например, в Microchip PIC16F628A. Если настроить линию  $V_{REF}$  в режим выхода и программно изменять опорное напряжение согласно его градациям, то результирующий сигнал будет иметь чёткие ступеньки, как в ЦАП. Недостаток такого решения заключается в малом количестве самих ступенек и низкой точности абсолютных значений напряжения.

В идеализированном МК отдельный модуль ЦАП пока «не смотрится», поскольку на нынешнем этапе развития он, скорее, заморская диковинка, чем реальная вещь.

## Двунаправленные порты ввода/вывода

МК, как и любое другое уважающее себя электронное устройство, не может в одночасье работать и на ввод, и на вывод. Только последовательно во времени, сначала ввод, затем вывод, или наоборот. Однако оперативно переключать режимы «Вход/Выход» МК может, чем широко пользуются программисты.

Электрическая схема совмещённого порта ввода/вывода показана на Рис. 2.38. Она получается как суперпозиция схем, изображённых на Рис. 2.25 и Рис. 2.32, а

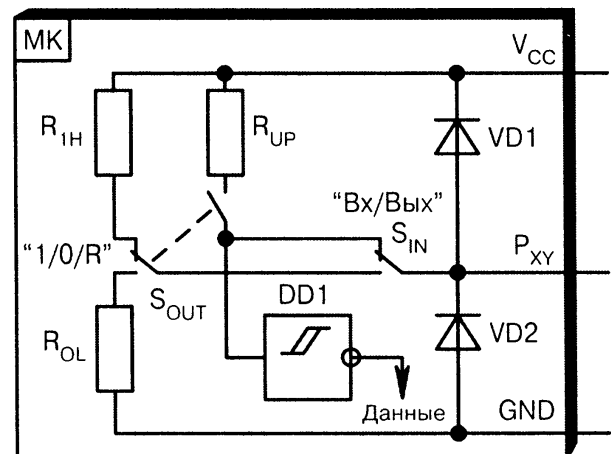


Рис. 2.38. Структурная схема совмещённого порта ввода/вывода.

Переключатель  $S_{OUT}$  имеет две взаимосвязанные группы контактов. Он отвечает за коммутацию НИЗКОГО и ВЫСОКОГО уровней, а также за подключение и отключение резистора  $R_{UP}$ . Переключатель  $S_{IN}$  выбирает режим ввода (верхнее по схеме положение) или режим вывода данных (нижнее по схеме положение).

Переключатель  $S_{IN}$  действует независимо от  $S_{OUT}$ . Оба переключателя управляются двумя программно-доступными регистрами из области SFR. В разных семействах МК они имеют разные названия (Табл. 2.7). Здесь регистр PORTx эквивалентен переключателю  $S_{OUT}$ , а регистры DDRx, TRISx — переключателю  $S_{IN}$ . Изменение битов в регистрах вызывает соответствующее замыкание контактов.

Таблица 2.7. Управление режимами в AVR- и PIC-контроллерах

Функция, выполняемая двунаправленным портом МК	Ядро Atmel AVR		Ядро Microchip PIC16/18	
	PORTx ( $S_{OUT}$ )	DDRx ( $S_{IN}$ )	PORTx ( $S_{OUT}$ )	TRISx ( $S_{IN}$ )
Выход с ВЫСОКИМ уровнем	1	1	1	0
Выход с НИЗКИМ уровнем	0	1	0	0
Вход без «pull-up» резистора $R_{UP}$	0	0	0	1
Вход с «pull-up» резистором $R_{UP}$	1	0	1	1

Если сравнивать AVR- и PIC-контроллеры, то заметна большая разница в сочетаниях битов, переключающих направление «Вход/Выход» и уровни «ВЫСОКИЙ/НИЗКИЙ». Стандартизация, к сожалению, отсутствует, что следует учитывать при переходе от одного семейства МК к другому.

Наличие совмещённых портов ввода/вывода является большим достоинством МК, т.к. позволяет конструировать гибкие по функциональным возможностям изделия. Изредка встречаются МК, у которых часть выводов жёстко настроена только на приём или только на передачу информации, например, Zilog Z86L33, но их меньшинство.

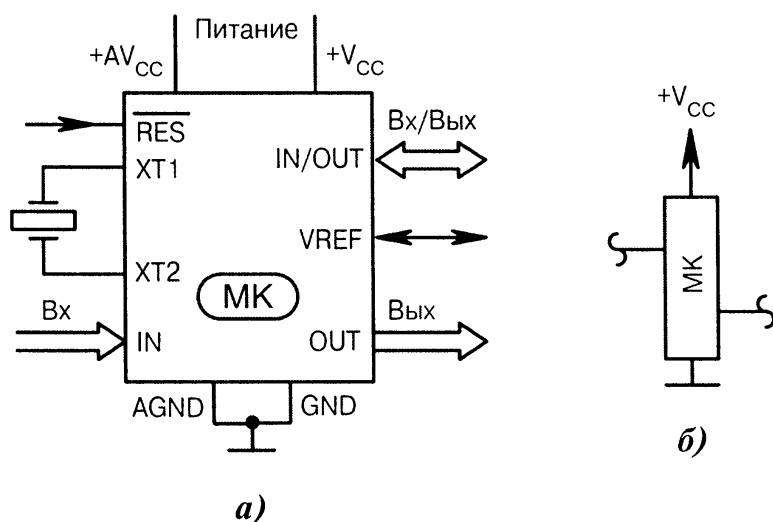
Идеализированный МК должен иметь усреднённые характеристики, поэтому базовой для него предлагается схема, приведенная на Рис. 2.38. Программой настройкой управляющих регистров контроллер может перестроиться в режимы, аналогичные Рис. 2.32, а, Рис. 2.34, а, Рис. 2.35, а. В последнем случае НИЗКИЙ уровень формируется «нулевым» напряжением на выходе, а ВЫСОКИЙ — переводом МК в режим входа с «pull-up» резистором.

*Важное замечание.* При начальном включении питания или подаче сигнала сброса все линии портов обычного МК независимо от желания программиста переходят в «оборванное» высокоимпедансное Z-состояние, что эквивалентно режиму входа без «pull-up» резистора (Рис. 2.34, а). Исключение из правила составляют МК, совместимые с MCS-51, у которых при сбросе резистор не отключается (Рис. 2.35, а).

Данный момент надо учитывать при разработке реальных схем. В частности, если нагрузкой выходной линии МК служит транзисторный ключ, то, чтобы его база или затвор при сбросе не «висели в воздухе», в AVR- и PIC-контроллерах ставят дополнительные внешние резисторы сопротивлением 10...100 кОм на общий провод или на цепь питания. Для МК с ядром MCS-51 этого делать не надо из-за постоянного присутствия на выходе внутреннего резистора  $R_{UP}$ .

## 2.3. Ограничения и условные обозначения

Прежде, чем приступить к рассмотрению коллекции микроконтроллерных схем, надо договориться об условных обозначениях. На **Рис. 2.39, а, б** показаны сигналы, окружающие идеализированный МК. Их расшифровка приведена в **Табл. 2.8**. Этот «джентльменский набор» характерен для широкораспространенных 8-битных МК общего назначения согласно сведениям из их даташитов.



**Рис. 2.39.** Условное графическое обозначение идеализированного МК: а) полная схема; б) упрощённая схема.

**Таблица 2.8.** Расшифровка сигналов идеализированного МК

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

Чтобы не загромождать электрические схемы лишней информацией, в каждом конкретном случае будут приводиться только наиболее важные цепи подключения. Остальное считается имеющимся по умолчанию.

Условные графические обозначения МК, как радиоэлемента, будут разделяться по следующим функциональным признакам:

- входные сигналы (**Рис. 2.40, а...д**);
- выходные сигналы (**Рис. 2.41, а...л**);
- совмещённые входы/выходы (**Рис. 2.42, а...л**);
- цепи управления, синхронизации и сброса (**Рис. 2.43, а...д**).

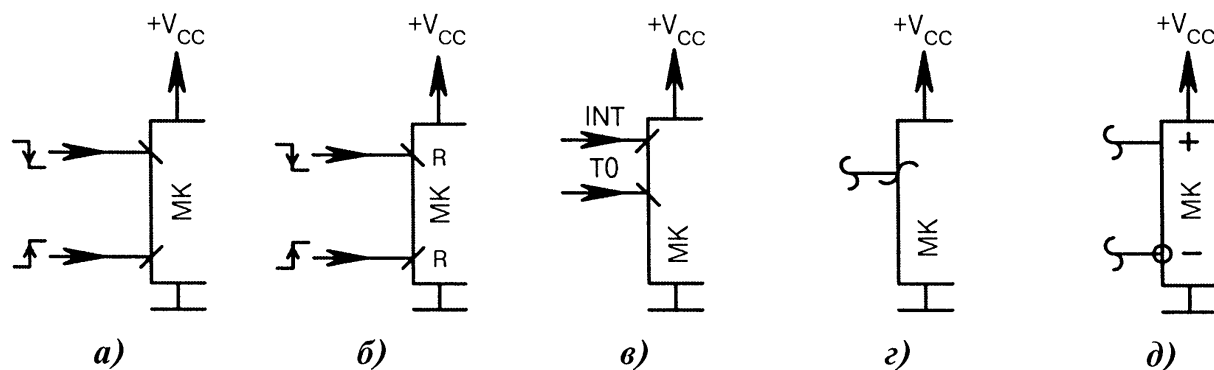


Рис. 2.40. Условные обозначения входных сигналов МК:

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

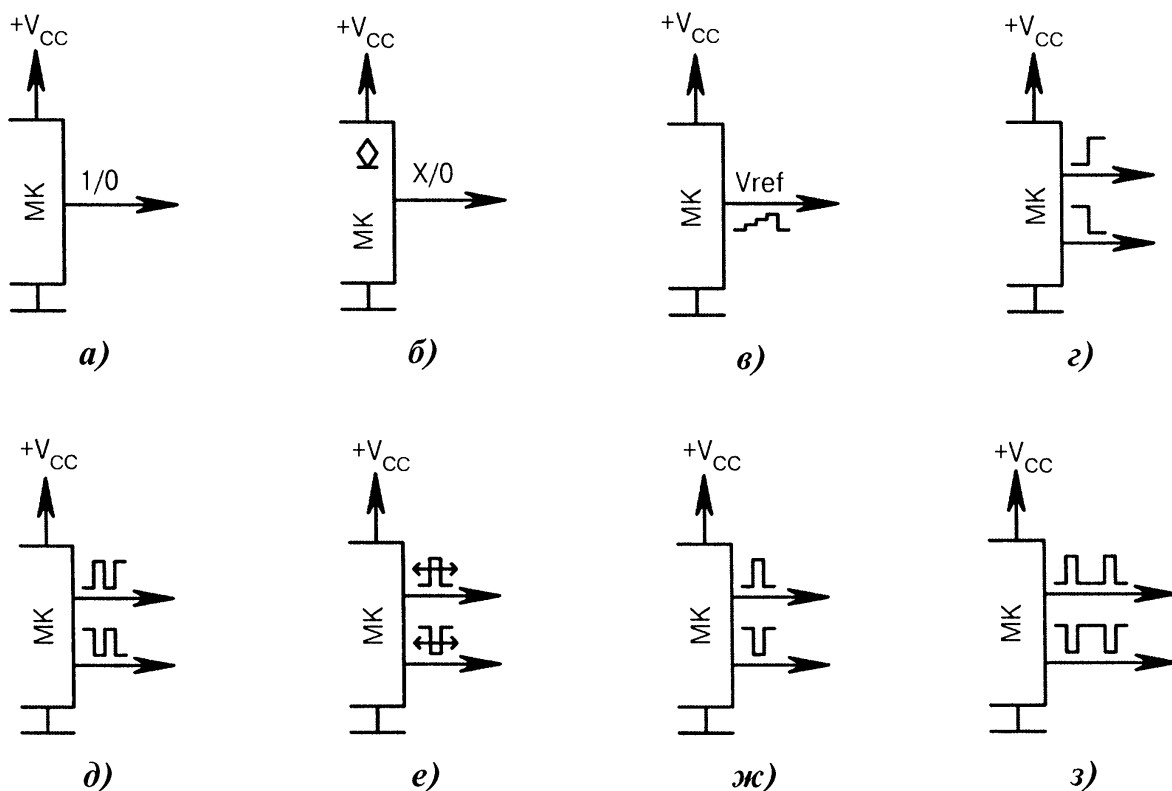
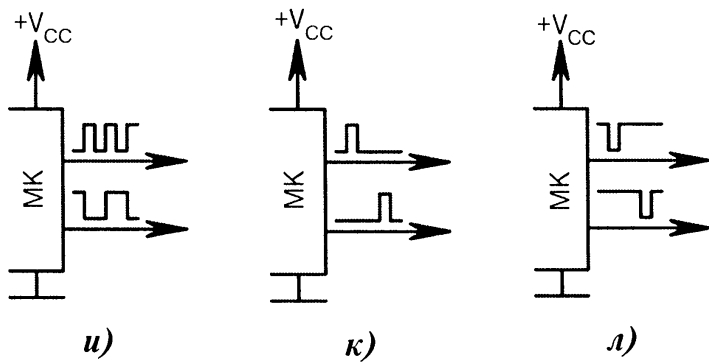
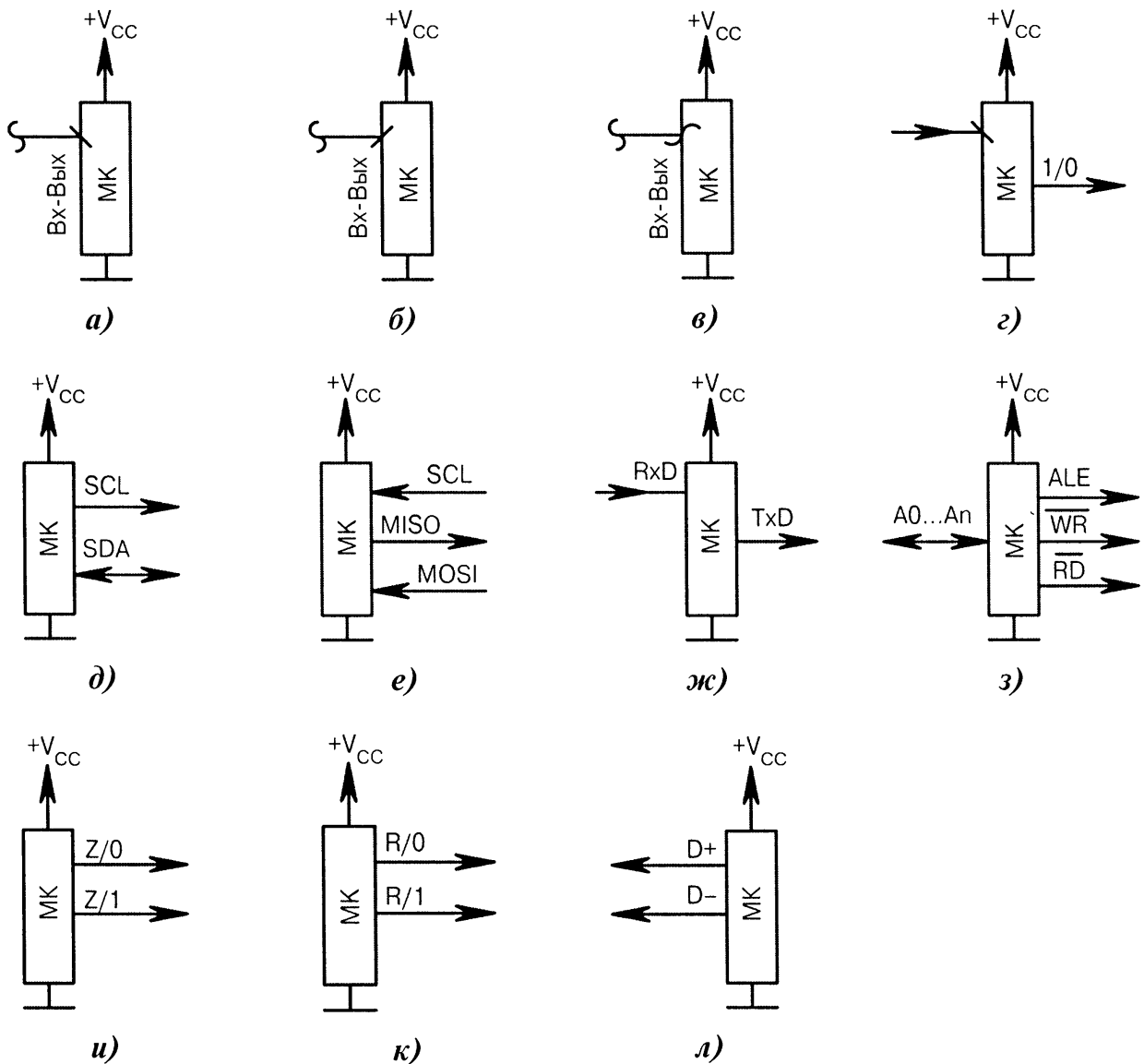


Рис. 2.41. Условные обозначения выходных сигналов МК (начало):

- а) цифровой КМОП-выход с произвольно изменяющейся информацией («1» — ВЫСОКИЙ уровень, «0» — НИЗКИЙ уровень);  
 б) цифровой выход с открытым стоком и произвольно изменяющейся информацией («X» — состояние обрыва, «0» — НИЗКИЙ уровень);  
 в) аналоговый выход простейшего ЦАП на основе программируемого ИОН;  
 г) цифровые выходы с перепадами «НИЗКИЙ-ВЫСОКИЙ» и «ВЫСОКИЙ-НИЗКИЙ»;  
 д) цифровые выходы с постоянной генерацией импульсов, близких к меандру;  
 е) цифровые выходы с сигналами ШИМ преимущественно НИЗКОГО уровня и преимущественно ВЫСОКОГО уровня;  
 ж) цифровые выходы с одиночными импульсами ВЫСОКОГО и НИЗКОГО уровня;  
 з) цифровые выходы с генерацией импульсных последовательностей большой скважности преимущественно ВЫСОКОГО уровня и преимущественно НИЗКОГО уровня; Ⓞ

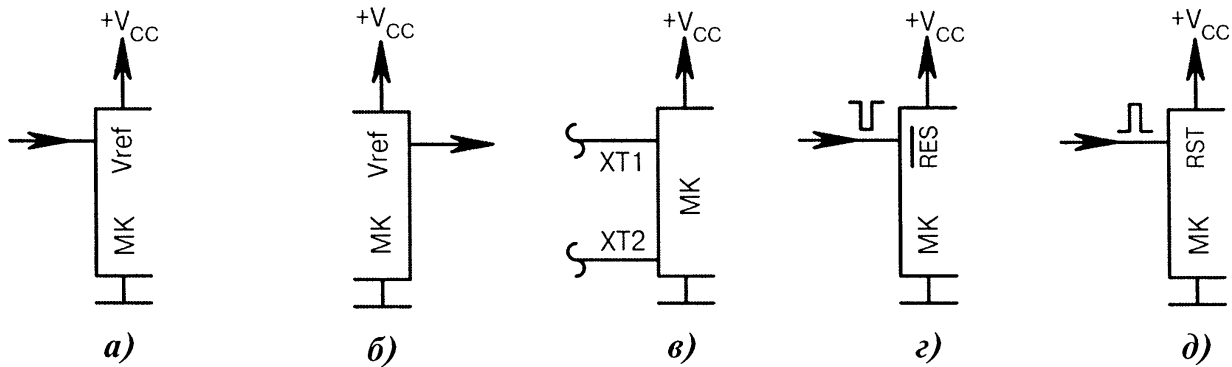


⊙ **Рис. 2.41.** Условные обозначения выходных сигналов МК (окончание):  
 и) цифровые выходы с генерацией сигналов разной частоты;  
 к) «бегущая единица» на двух и более выходах;  
 л) «бегущий нуль» на двух и более выходах.



**Рис. 2.42.** Условные обозначения входных/выходных сигналов МК:

- а) совмещённый цифровой вход/выход с активным спадающим фронтом по входу;
- б) совмещённый цифровой вход/выход с активным нарастающим фронтом по входу;
- в) цифровой выход, совмещённый с аналоговым входом АЦП;
- г) две цифровые линии, одна из которых настроена на вход, другая — на выход;
- д) интерфейс I<sup>2</sup>C; е) трёхпроводной интерфейс SPI; ж) интерфейс UART (USART);
- з) цифровой параллельный интерфейс; и) квазиоткрытый сток: «0» — выход с НИЗКИМ уровнем, «1» — выход с ВЫСОКИМ уровнем, «Z» — высокоимпедансный вход без резистора;
- к) «квазидвунаправленный»: «0» — выход с НИЗКИМ уровнем, «1» — выход с ВЫСОКИМ уровнем, «R» — вход с «pull-up» резистором R; л) двунаправленные выводы USB.



**Рис. 2.43.** Условные обозначения сигналов управления, синхронизации, сброса:

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

Отличить «что есть что», помогают стенки вертикальных линий в условном графическом обозначении МК. Входные сигналы, как издавна принято на электрических схемах, подводятся слева, значит вертикальная линия одна, причём находится она тоже слева (например, **Рис. 2.40, а**). Выходные сигналы по традиции рисуются с правой стороны, значит вертикальная линия размещается тоже справа (например, **Рис. 2.41, а**). Если в МК используются двунаправленные линии или имеются входные и выходные сигналы одновременно, то вертикальных линий будет две и условное обозначение МК превращается в классический прямоугольник (например, **Рис. 2.42, а**).

На всех схемах общий провод МК рисуется внизу, питание вверху, входы слева, выходы справа. При этом считается, что аналоговая «земля», аналоговое питание, сигналы подсистем синхронизации, сброса и программирования подключены правильно, но для экономии места не показаны.

### Несколько замечаний по применяемой элементной базе

- Разработчики микроконтроллерных схем используют самые разные типы электрорадиоизделий (ЭРИ). Руководствуются простыми житейскими правилами: «купить то, что имеется на ближайшем радиорынке», «заказать через Интернет», «применить радиодетали, хорошо зарекомендовавшие себя ранее», «руководствоваться отраслевыми ограничительными перечнями», в конце концов, «у кого что оказалось под рукой или нашлось в неликвидах». В целях унификации предлагается сузить номенклатуру упоминаемых в книге ЭРИ. В частности, не будет большой погрешности, если все маломощные транзисторы указывать как КТ315, КТ361, КТ3102, КТ3107 или обобщённо ( $n-p-n$ ), ( $p-n-p$ ). Транзисторы средней мощности — КТ816, КТ817; транзисторы большой мощности КТ818, КТ819, КТ825; низковольтные диоды — КД522, 1N4148; высоковольтные диоды — 1N4004...1N4007; диоды Шоттки — 1N5817...1N5819, ВАТ85; операционные усилители (ОУ) — LM358, LM324. В тех случаях, когда тип ЭРИ критичен или не хочется рисковать с подбором замены, будут оставлены оригинальные названия.
- Для стабилитронов, реле, светодиодов, разрядников обозначения будут обобщёнными. Например, VD1 (5V6) — это стабилитрон с напряжением ста-

билизации 5.6 В; K1 (5V) — это реле с номинальным рабочим напряжением 5 В; HL3 (1.6V) — это светодиод красного цвета, у которого прямая ветвь ВАХ начинается примерно с 1.6 В; HL1 (1.8V) — светодиод зелёного цвета с началом ВАХ примерно 1.8 В; HL1 (кр-зел) — двухцветный светодиод «красно-зелёный»; FV1 (90V) — разрядник с пороговым напряжением 90 В.

- Конкретные типы трансформаторов и катушек индуктивности на схемах могут не приводиться. Они выбираются в зависимости от частотных свойств, напряжения и тока. Предполагается, что радиолюбитель в состоянии сделать расчёты самостоятельно. Коэффициент передачи трансформаторов указывается в скобках через дробь, например, T1 (22/1). Это означает, что при подаче на первичную обмотку трансформатора переменного напряжения 220 В на вторичной обмотке будет напряжение 10 В.
- Если в подрисуночных надписях приводятся данные для изготовления точных изделий, то надо правильно понимать, что в целях унификации везде указывается провод ПЭВ разного диаметра, хотя реально он может быть другим. Например, в импульсных трансформаторах маломощных источников питания хорошие результаты получаются с проводом в шелковой оплётке типа «литцендрат», который обычно применяется в радиоприемниках.
- Интегральные стабилизаторы напряжения для единообразия указываются как 78Lxx, хотя их можно заменить любыми другими с аналогичным напряжением и требуемым током нагрузки.
- Некоторые авторы считают плюсом то, что они используют в схемах залежавшиеся ЭРИ из «дедушкиного сундука». С точки зрения рачительности это хорошо, но только физику обмануть нельзя. Надёжность транзисторов и диодов, выпущенных более четверти века назад, очень низкая из-за естественной деградации свойств полупроводников. Реальный случай, когда абсолютно не паяный транзистор МП42Б, изготовленный в 1972 г., через 30 лет имел коэффициент передачи по постоянному току  $h_{21Э} = 2$ . Старые электролитические конденсаторы К50-3, К50-6 обладают непомерными габаритами и большими токами утечки. Их проще заменить современными недорогими импортными конденсаторами, что повысит надёжность. Единственная «радость» — это практически вечные советские резисторы МЛТ, следует только очистить скальпелем их выводы от окисла и проверить на устойчивость к сгибу. Перечень возможных замен ЭРИ приведен в Табл. 2.9.

**Таблица 2.9. Перечень возможных замен морально устаревших ЭРИ**

Устаревшие радиоэлементы	Рекомендуемая замена
Резисторы МЛТ, ОМЛТ	Резисторы С2-23, С2-33, чип-резисторы
Конденсаторы К50-3...К50-16	Малогобаритные импортные конденсаторы с аналогичными параметрами, например, из серии ECR фирмы Hitano
Диоды германиевые Д2, Д9	Высокочастотные диоды Шоттки, например, ВАТ17, кремниевые диоды КД522Б, 1N4148 (если не критично по ВАХ)
Транзисторы германиевые МП37...МП42	Транзисторы кремниевые, например, КТ315А...Г, КТ361А...Г (если не критично по напряжению «база — эмиттер»)
Микросхемы серии К176	Микросхемы серии К561, КР1561, 74НС (при низком питании)
Микросхемы серии К155	Микросхемы серии К555, КР1533, 74НСТ, 74АСТ



- Оптопары, ввиду их разнообразия, нет смысла детализировать. Для понимания физики процессов достаточно нарисовать их условное обозначение с надписью «VU» и порядковым номером. Однако, если на схеме указывается конкретный тип оптопары, то обязательно с нумерацией выводов.
- Нагрузка будет обозначаться в виде резистора  $R_H$  без указания мощности, номинала и наличия реактивной составляющей. Эти величины надо уточнять в частном порядке при разработке конкретного устройства.
- В схемах радиолюбительских конструкций, опубликованных 20...30 лет назад, применяются конденсаторы с не существующими ныне номиналами. Все они будут приводиться к современной элементной базе. Например, вместо конденсатора ёмкостью 50 мкФ с рабочим напряжением 200 В на схеме указывается 47 мкФ х 220 В. То же касается низковольтных полярных конденсаторов ёмкостью 1...2 мкФ, которые будут заменяться керамическими аналогами, имеющими лучшие частотные и фильтрующие свойства. Это отголосок прошлого, когда технологически ещё нельзя было сделать малогабаритные элементы с хорошими параметрами.
- В схемах с напряжением питания до 5 В вводятся упрощённые надписи для параметров электролитических конденсаторов. В целях сокращения места номинальное напряжение у них указываться не будет, только ёмкость. Дело в том, что минимальное рабочее напряжение современных конденсаторов начинается с 6.3 В, т.е. в устройстве можно ставить любой тип, подходящий по конструкции.

### Условная маркировка резисторов и конденсаторов

Сколько существует книг и журналов, столько существует и стилей оформления электрических схем и вариантов надписей на них номиналов ЭРИ. В данной книге принята следующая условная маркировка.

Конденсаторы ёмкостью до 9.9 пФ будут обозначаться в пикофарадах с разделительной десятичной точкой, например, «2.2 пФ» = 2.2 пФ; «6.8 пФ» = 6.8 пФ; «9.1 пФ» = 9.1 пФ.

Конденсаторы ёмкостью от 10 до 9999 пФ будут обозначаться в пикофарадах без десятичной точки и надписи «пФ», например, «36» = 36 пФ; «1000» = 1000 пФ; «9100» = 9100 пФ.

Конденсаторы ёмкостью от 0.01 мкФ до 9999 мкФ будут обозначаться в микрофарадах с десятичной точкой без надписи «мкФ», например, «1000.0» = 1000 мкФ; «0.01» = 0.01 мкФ; «0.1» = 0.1 мкФ; «10.0» = 10 мкФ; «6.8» = 6.8 мкФ.

Конденсаторы ёмкостью от 0.01 Ф и более будут обозначаться в фарадах с десятичной точкой, например, «0.22Ф» = 0.22 Ф; «0.01Ф» = 0.01 Ф.

Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением до 999 Ом будут обозначаться в омах без надписи «Ом», например, «2.2» = 2.2 Ом; «910» = 910 Ом.

Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением от 1 до 999 кОм будут обозначаться в килоомах с добавлением буквы «к», например, «10к» = 10 кОм; «1к» = 1 кОм; «910к» = 910 кОм.

Резисторы обычной точности  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  сопротивлением от 1 МОм и более будут обозначаться в мегаомах с добавлением заглавной буквы «М», например, «1М» = 1 МОм; «4.7М» = 4.7 МОм.

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

### **И последнее...**

Ссылки на первоисточники схем даются не во всех случаях. Почему?

1. Не всегда можно однозначно указать самую раннюю публикацию, поскольку схемные идеи «кочуют» в Интернете по разным сайтам, обрастают подробностями и «перебегают» из одного журнала в другой.

2. После прошествия определённого времени, наиболее удачные технические решения переходят в разряд очевидных и широко применяемых.

3. Некоторые схемы были синтезированы из двух-трёх разных источников (количество переходит в качество).

4. Есть схемы, которые взяты из коллективных разработок на радиолюбительских форумах [2-10], [2-11], [2-12], [2-13], где имена участников обезличены псевдонимами.

5. Многие схемы заимствованы из даташитов на применяемые ЭРИ. Это открытая информация, бесплатно распространяемая через Интернет. В целях экономии места, даташиты вынесены в отдельный сборник файлов на прилагаемом компакт-диске.

Ссылки на первоисточник схемы указываются в нижней части рисунка возле буквы порядковой нумерации. Это визуально улучшает подачу материала. Однако, наличие ссылки не означает, что схема перерисована «один к одному». Для обобщённой модели идеализированного МК требуется определённая адаптация. Например, могут изменяться номиналы некоторых ЭРИ, снижаться питающие напряжения, добавляться новые связи, функции, устраняться явные опечатки и т.д. От первоисточников главным образом заимствуются оригинальные и свежие идеи, каркас схемы. Остальные вопросы (повышение надёжности, устойчивость работы в широком диапазоне температур и напряжений) решаются в отдельном порядке.

И ещё один важный момент. Публикации, из которых брались схемы, могут содержать невыявленные редакционные опечатки, неточности вёрстки, а также изначальные авторские ошибки и заблуждения, вызванные отсутствием макетирования схем на практике. В простых и очевидных случаях схемы исправлены, но... Иногда бывает очень сложно отличить ошибку от глубокого смысла, который автор схемы вложил в техническое решение, но почему-то не рассказал о нём подробно. В таких случаях надо подходить к проблеме по-философски и не ругать сгоряча всех подряд. Человеческий фактор будет ещё долгое время вносить непредсказуемость во все сферы нашей жизни. Снисходительность обычно приходит к тем людям, которые хоть раз попробовали сами что-либо опубликовать в печатном издании.

## Список использованных источников и литературы к главе 2

- 2-1. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры PIC. Действие 1 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2006. — № 2. — С. 46–50.
- 2-2. Рюмик, С. С Интернета «по нитке» / Сергей Рюмик // Радиомир. — 2007. — № 7. — С. 38–39.
- 2-3. Хоровиц, П. Искусство схемотехники: Пер. с англ. / Пауль Хоровиц, Уинфилд Хилл. — М. : Мир, 2003. — 704 с. — ISBN 5-03-003395-5.
- 2-4. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры AVR. Ступень 3 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2005. — № 3. — С. 35–39.
- 2-5. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры PIC. Действие 4 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2006. — № 5. — С. 38–43.
- 2-6. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры USB. Задача 4 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2007. — № 5. — С. 34–39.
- 2-7. JEDEC. The Standards Resource for the World Semiconductor Industry [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.jedec.org/>. — 05.07.2009.
- 2-8. Рюмик, С. Микроконтроллерное управление звуком-3 / Сергей Рюмик // Радиолюбитель. — 2007. — № 6. — С. 43–46.
- 2-9. Шелкунов, Н. Н. Микропроцессорные средства и системы / Николай Шелкунов, Александр Дианов. — М. : Радио и связь, 1989. — 288 с. — ISBN 5-256-00256-2.
- 2-10. Форум разработчиков электроники ELECTRONIX.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.electronic.ru>. — 05.07.2009.
- 2-11. Конференция iXBT.com. Электронные устройства и компоненты [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://forum.ixbt.com/?id=48>. — 05.07.2009.
- 2-12. Форум по электронике KAZUS.RU [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://kazus.ru/forum/>. — 05.07.2009.
- 2-13. Форум сайта ПАЯЛЬНИК [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://forum.schem.net/>. — 05.07.2009.

## ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УЗЛОВ ВВОДА МК

*Электроника — это искусство, которое включает в себя большое число практических правил и приёмов  
(П. Хоровиц, У. Хилл)*

### 3.1. Датчики напряжения

#### 3.1.1. Сеть 220 В

Сеть 220 В в большинстве случаев является основным источником питания для устройств, содержащих МК. Кроме того, она может служить информационным и управляющим каналом. Актуальными являются следующие задачи:

- измерение сетевой частоты и сетевого напряжения;
- проверка наличия сетевого питания при переходе на резервный источник;
- передача по сетевым проводам информационных сигналов;
- тактирование работы устройства от сетевой частоты;
- определение момента перехода переменного напряжения через нуль, чтобы коммутировать различные нагрузки с минимальным уровнем помех.

Стандартами стран СНГ допускается разброс сетевого напряжения в диапазоне 187...242 В и изменение частоты в пределах 49...51 Гц. Однако эти параметры варьируются в зависимости от страны и континента (Табл. 3.1), что надо учитывать при разработке продукции на экспорт.

**Таблица 3.1.** Стандарты электрических сетей в разных странах

Напряжение [В]	Частота [Гц]	Страны мира
220	50	Страны СНГ, Аргентина, Германия, Греция, Египет, Китай и другие
230	50	Бангладеш, Индия, Маврикий, Новая Зеландия, Танзания и другие
240	50	Австралия, Великобритания, Кипр, ОАЭ, Судан, Уганда и другие
110	60	Багамские острова, Гаити, Гондурас, Южная Корея и другие
120	60	Венесуэла, Канада, Колумбия, Коста-Рика, Куба, Либерия, США и другие
127	60	Мексика
100	50/60	Япония

Для адаптации напряжения сети 220 В к низковольтным входам МК используют резистивные делители (Рис. 3.1, а...з), оптическую (Рис. 3.2, а...ж) и трансформаторную (Рис. 3.3, а...з) развязку. В двух последних случаях гарантируется гальваническая изоляция первичных и вторичных цепей, что повышает безопасность.

**ВНИМАНИЕ!** Здесь и далее при настройке и эксплуатации устройств, которые не имеют гальванической развязки от промышленной сети переменного тока, следует соблюдать повышенную осторожность и правила электробезопасности.

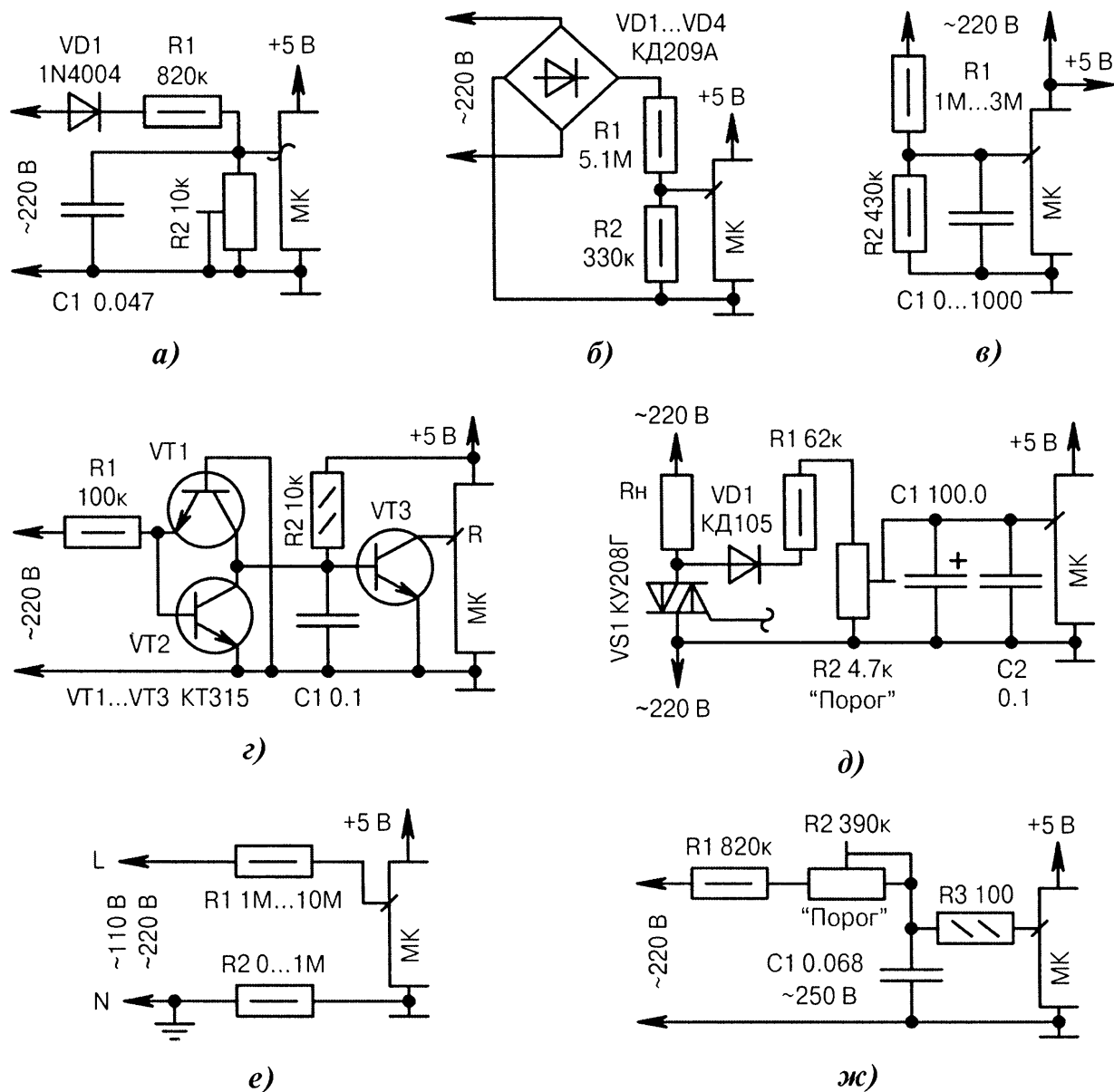
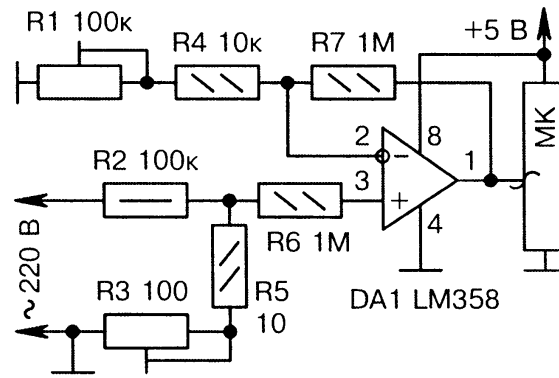


Рис. 3.1. Схемы неизолрированных датчиков сетевого напряжения 220 В (начало):

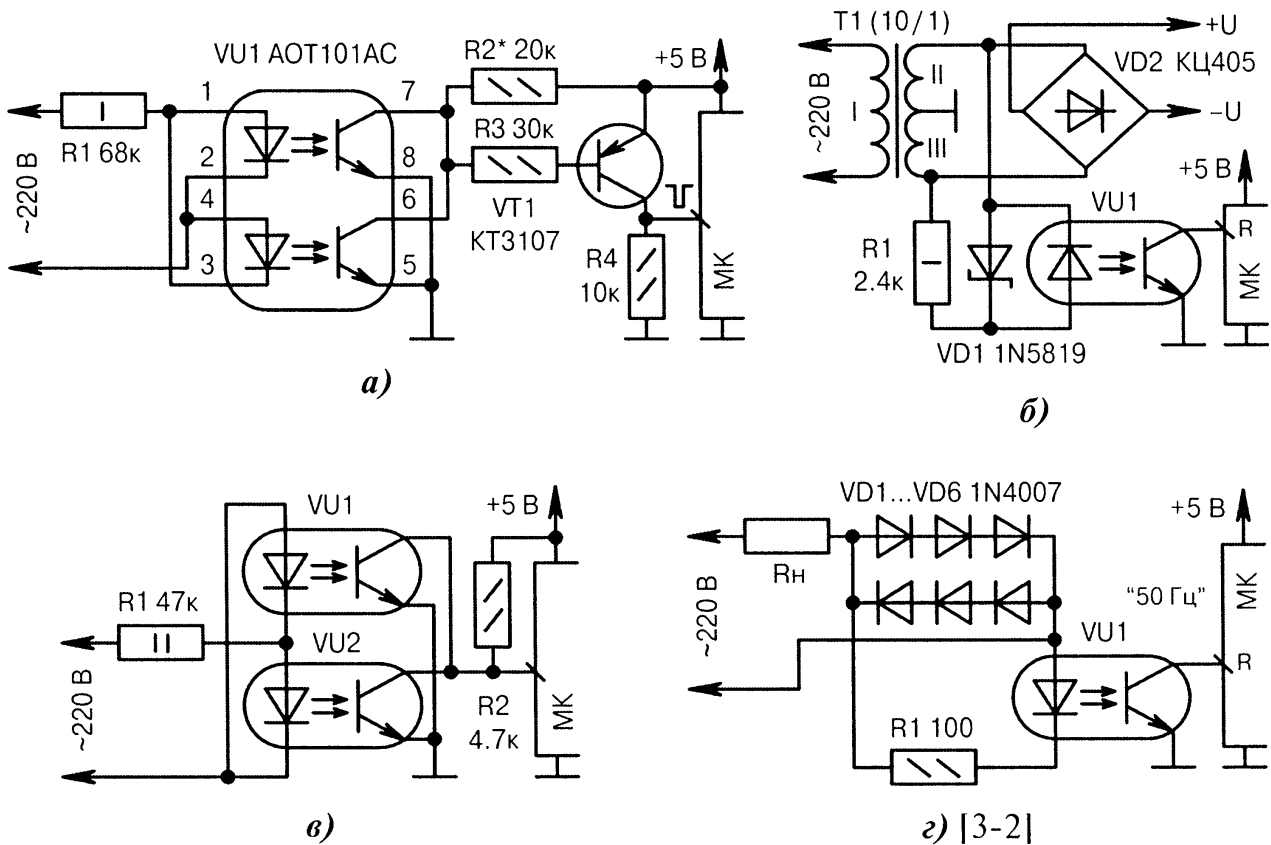
- а) диод  $VD1$  отсекает отрицательную полуволну напряжения, резистором  $R2$  регулируется амплитуда сигнала на входе МК (частота 50 Гц), конденсатор  $C1$  устраняет помехи;
- б) на вход МК поступает сигнал удвоенной частоты 100 Гц от мостового выпрямителя;
- в) провод питания МК +5 В гальванически связан с сетью 220 В. Резистор  $R1$  ограничивает ток через внутренние защитные диоды МК (0.1...0.3 мА). Частота сигнала 50 Гц;
- г) транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  образуют двухсторонний ограничитель напряжения с нагрузкой в виде резистора  $R2$ . Транзистор  $VT3$  — усилитель-инвертор. Конденсатор  $C1$  защищает МК от коммутационных помех, которые могут возникать в сети 220 В при работе тиристоров;
- д) МК проверяет исправность симистора  $VS1$  и отсутствие обрыва в нагрузке  $R_{II}$ . Конденсатор  $C1$  имеет большую ёмкость, поэтому на входе МК напряжение усредняется. Резистором  $R2$  устанавливается порог напряжения, ниже которого считается, что произошла авария;
- е) для устройств, которые критичны к полярности включения вилки в сетевую розетку, «ноль» (N) и «фазу» (L) определяют стандартным прибором электрика «светящаяся отвёртка»;
- ж) двухстороннее ограничение сетевого напряжения внутренними диодами МК. Конденсатор  $C1$  высоковольтный (250 В переменного напряжения) на случай обрыва резистора  $R3$ ; ⚡



з) [3-1]

⊙ Рис. 3.1. Схемы неизолированных датчиков сетевого напряжения 220 В (окончание):

з) измеритель превышения сетевого напряжения 230...270 В. Резисторами  $R1$ ,  $R3$  устанавливается диапазон изменения напряжения на входе АЦП МК или обычного цифрового порта.



а)

б)

в)

г) [3-2]

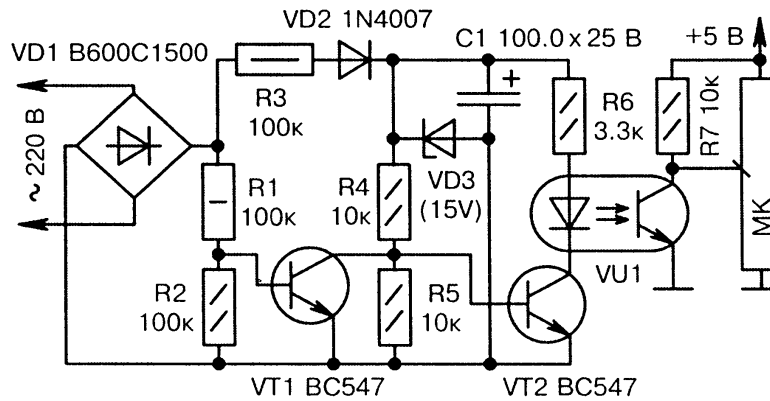
Рис. 3.2. Схемы датчиков сетевого напряжения 220 В с оптической изоляцией (начало):

а) фототранзисторы оптопары  $VU1$  закрываются на 0.1...0.2 мс в момент перехода сетевого напряжения через нуль. Точная длительность подбирается резистором  $R2$ , частота 100 Гц;

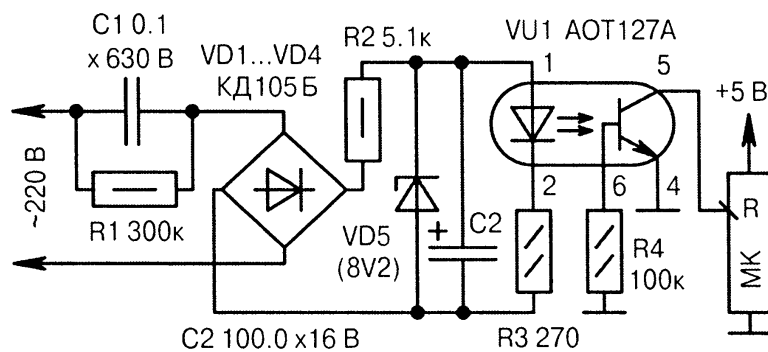
б) формирователь импульсов с частотой 50 Гц. Двойная гальваническая развязка: на оптопаре  $VU1$  и на трансформаторе  $T1$ . Коллекторной нагрузкой оптопары служит внутренний резистор МК. Диод Шоттки  $VD1$  защищает излучатель оптопары  $VU1$  от обратного напряжения;

в) аналогично Рис. 3.2, а, но на двух отдельных оптопарах и без транзисторного ключа;

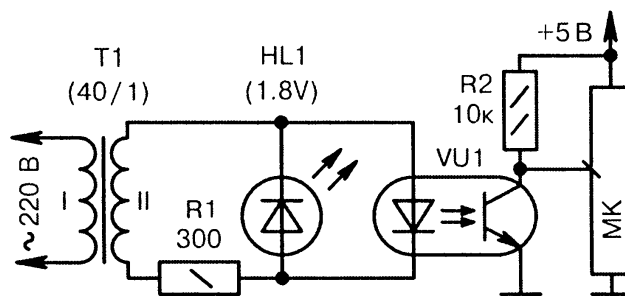
г) МК проверяет отсутствие обрыва в нагрузке  $R_{II}$  по наличию импульсных сигналов с частотой 50 Гц. Диоды  $VD1...VD6$  запараллелены (встречно) для максимальной симметрии схемы; ⊙



д) [3-3]



е) [3-4]



ж)

Рис. 3.2. Схемы датчиков сетевого напряжения 220 В с оптической изоляцией (окончание):

д) двухкаскадный формирователь сетевых импульсов на транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$ . Частота сигнала на входе МК 100 Гц. Питание первичной стороны формирователя осуществляется от параметрического стабилизатора, собранного на элементах  $R3$ ,  $VD2$ ,  $VD3$ ,  $C1$ . Диодный мост  $VD1$  должен быть рассчитан на обратное напряжение не менее 400 В;

е) индикатор наличия сетевого напряжения с гальванической развязкой на оптопаре  $VU1$ . Элементы  $C1$ ,  $R2$  служат соответственно реактивным и активным балластом для стабилитрона  $VD5$ . При отключении сети 220 В конденсатор  $C1$  быстро разряжается через резистор  $R1$  (доли секунды). Это повышает безопасность, иначе конденсатор может разрядиться через тело человека, если случайно прикоснуться к обесточенной сетевой вилке руками;

ж) светодиод  $HL1$  индицирует наличие сетевого питания и защищает излучатель оптопары  $VU1$  от обратного напряжения. Резистор  $R1$  при положительной полуволне задаёт ток через оптопару, а при отрицательной — через светодиод  $HL1$ . Частота импульсов на входе МК 50 Гц.

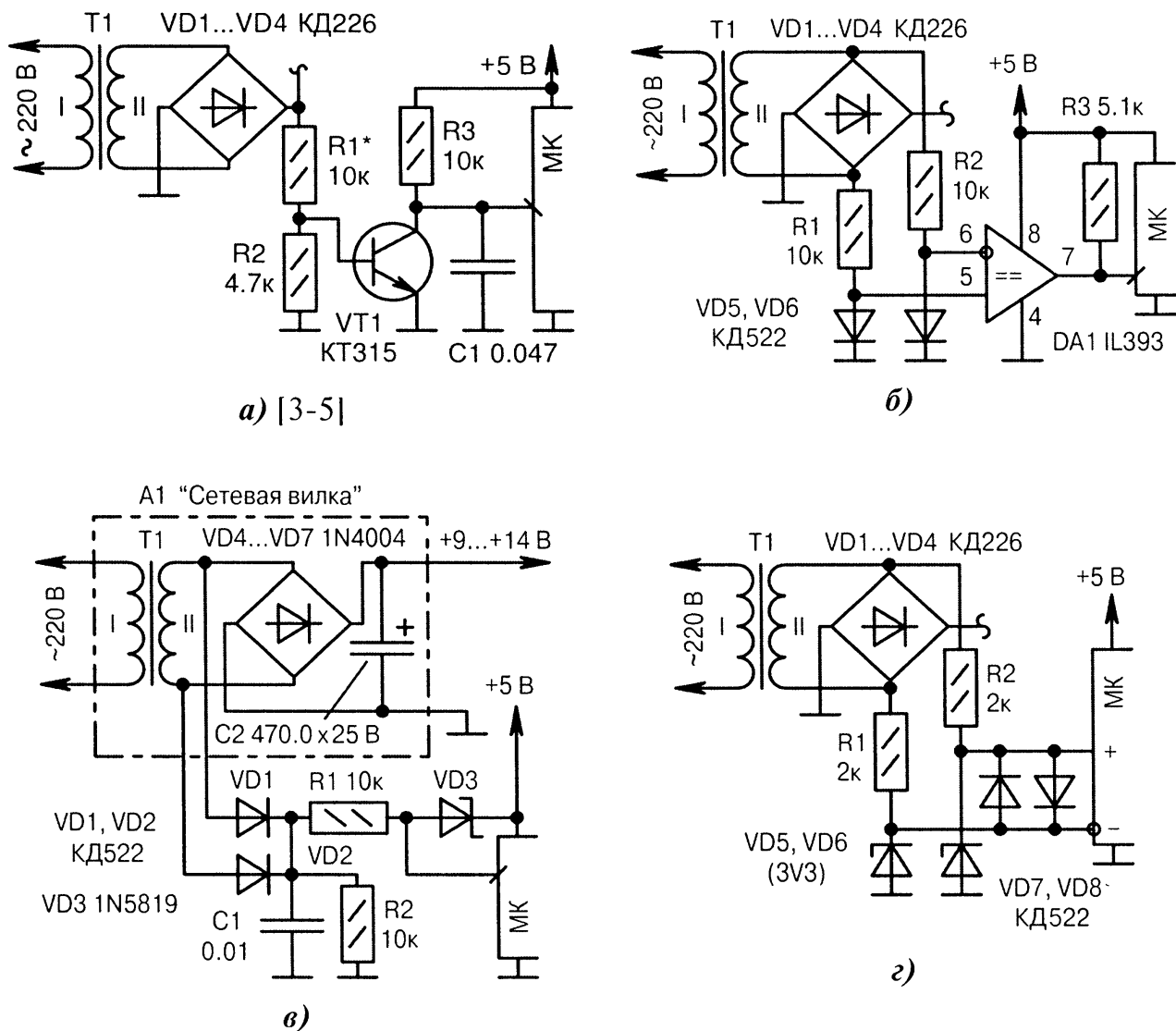


Рис. 3.3. Схемы датчиков сетевого напряжения 220 В с трансформаторной развязкой (начало):

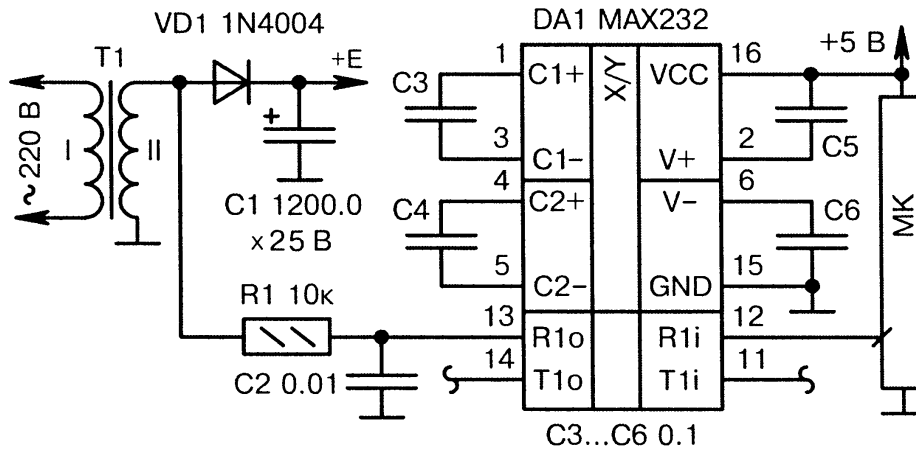
а) транзисторный формирователь импульсов с частотой 100 Гц. Конденсатор  $C2$  подавляет импульсные помехи. Резистор  $R1$  подбирается так, чтобы транзистор  $VT1$  был гарантированно открыт при самом низком сетевом напряжении. Оно, в свою очередь, определяется коэффициентом передачи трансформатора  $T1$ . Напряжение с диодного моста  $VD1...VD4$  поступает также в систему основного питания, которая формирует напряжение +5 В для МК;

б) детектор перехода сетевого напряжения через нуль. Компаратор  $DA1$  увеличивает крутизну фронтов сигнала и повышает помехоустойчивость. Выход компаратора (открытый коллектор) нагружен на «pull-up» резистор  $R3$ . Диоды  $VD5, VD6$  ограничивают напряжение на входах компаратора на уровне 0.6...0.7 В при положительной полуволне сетевого напряжения, а диоды, входящие в мост  $VD1...VD4$ , — при отрицательной полуволне;

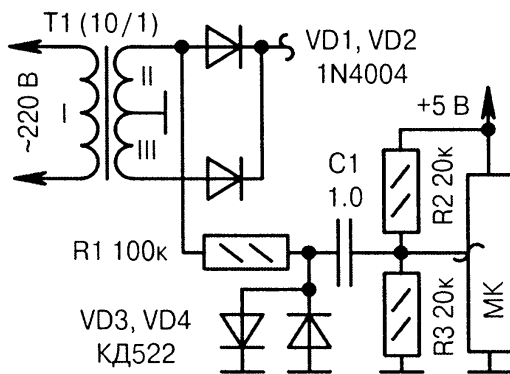
в) на резисторе  $R2$  выделяется пульсирующее напряжение частотой 100 Гц. Конденсатор  $C1$  подавляет ВЧ-помехи. Элементы  $VD3, R1$  защищают МК от всплесков сетевого напряжения. Диоды  $VD1, VD2$  должны соединяться с адаптером  $A1$  отдельными проводами;

г) с диодного моста  $VD1...VD4$  пульсирующее напряжения частотой 100 Гц поступает на входы аналогового компаратора МК. Стабилитроны  $VD5, VD6$  должны иметь пороговое напряжение ниже, чем напряжение питания МК (в данном случае это +5 В). Диоды  $VD7, VD8$  защищают МК от большого разбаланса напряжений на входах компаратора; Ⓞ

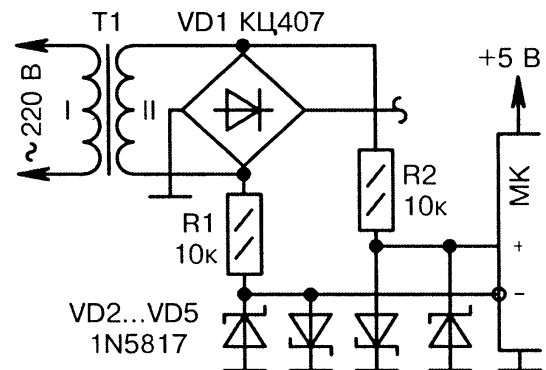




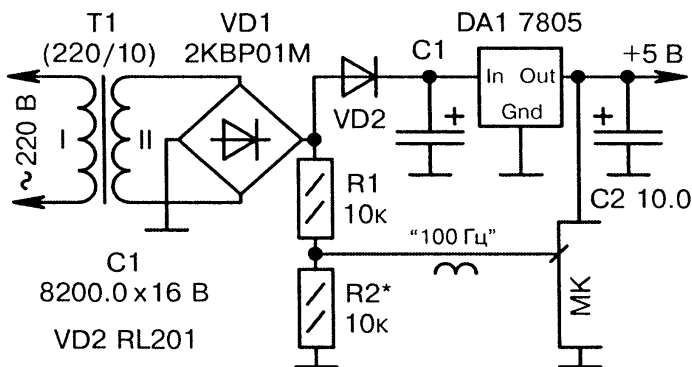
д) [3-6]



е)



ж)



з) [3-7]

● Рис. 3.3. Схемы датчиков сетевого напряжения 220 В с трансформаторной развязкой (окончание):

д) формирователь прямоугольных импульсов ТТЛ-уровня из переменного сетевого напряжения 9...12 В. Задействуется свободный канал микросхемы *DA1* (драйвер интерфейса RS-232), имеющий на входе триггер Шмитта. Цепочка *R1, C2* служит фильтром ВЧ-помех;

е) резисторы *R2, R3* образуют делитель с уровнем +2.5 В, чтобы АЦП МК работал в линейном режиме. Частота импульсов, снимаемых с диодного ограничителя *VD3, VD4*, — 50 Гц;

ж) аналогично Рис.3.3, г, но с двумя парами ограничительных диодов Шоттки *VD2...VD5*. Это, очевидно, перестраховка на случай выхода из строя диодов, находящихся в мосту *VD1*;

з) амплитуда входного напряжения МК с частотой пульсаций 100 Гц регулируется резистором *R2*. Конденсатор большой ёмкости *C1* при отключении сети поддерживает некоторое время напряжение питания +5 В, чтобы МК успел корректно закончить программные процедуры.

### 3.1.2. Сеть 380 В

Промышленная сеть с напряжением 380 В имеет три фазных провода, обозначаемых латинскими буквами «А», «В», «С», и один нулевой провод «N» (Null). Напряжения «А-N», «В-N», «С-N» составляют 220 В со сдвигом фазы на  $120^\circ$ .

Для сопряжения МК с сетью 380 В обычно используют делители напряжения. Входящие в них резисторы должны выдерживать постоянное напряжение не менее 350 В. Если нет возможности достать специальные высоковольтные резисторы типа КВМ, С1-6, то можно применить обычные ОМЛТ, С2-23, С2-33, но только большой мощности 0.5...2.0 Вт (Табл. 3.2). Для надёжности применяют последовательное соединение нескольких резисторов, что позволяет, кроме всего прочего, избежать дугового разряда.

Таблица 3.2. Параметры резисторов С2-23

Тип резистора	$U_{\text{НОСТ МАХ}}$ [В]	$U_{\text{ИМП МАХ}}$ [В]	$P_{\text{МАХ}}$ [Вт]	Габариты [мм]
С2-23-0.062	100	150	0.062	1.6 x 4.6
С2-23-0.125	200	350	0.125	2.0 x 6.0
С2-23-0.25	250	450	0.25	3.0 x 7.0
С2-23-0.5	350	750	0.5	4.2 x 10.8
С2-23-1.0	500	1000	1.0	6.6 x 13.0
С2-23-2.0	750	1200	2.0	8.6 x 18.5

Если сопряжение с МК производится без гальванической развязки, то при монтаже и регулировании необходимо соблюдать повышенную (по сравнению с сетью 220 В) осторожность. На Рис. 3.4, а...г показаны схемы контроля напряжения в трёхфазной сети 380 В.

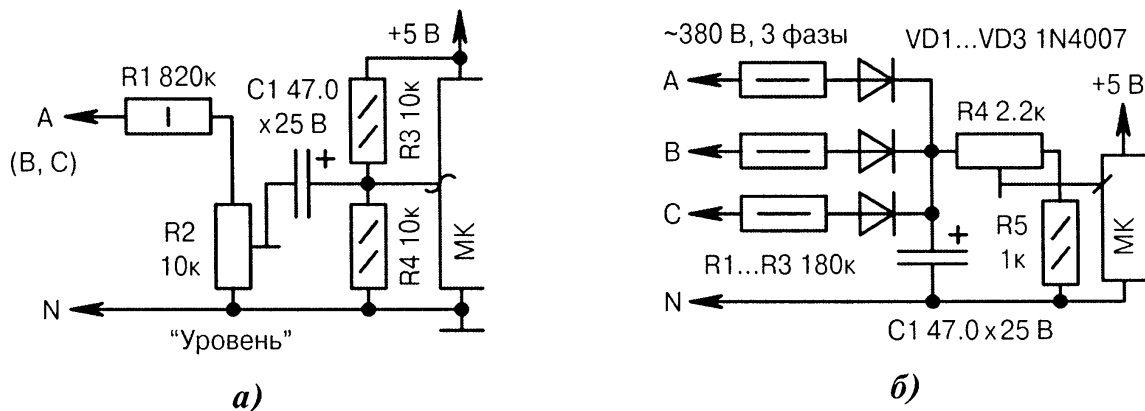


Рис. 3.4. Схемы датчиков трёхфазного напряжения 380 В (начало):

а) при работе с одной фазой А, В или С можно использовать те же самые схемы, что и для сети 220 В. Резисторы  $R_3$ ,  $R_4$  образуют делитель для привязки напряжения к среднему уровню +2.5 В, при этом АЦП МК будет работать в центре своей входной характеристики;

б) элементы  $R_1...R_3$ ,  $VD_1...VD_3$ ,  $C_1$  образуют трёхфазный выпрямитель. Напряжение на конденсаторе  $C_1$  будет максимальным в том случае, когда присутствуют все три фазных напряжения. Резистор  $R_4$  настраивают так, чтобы МК фиксировал уменьшение напряжения при обрыве хотя бы одной из трёх фаз (любой). Вместо цифрового входа можно использовать АЦП; ☉

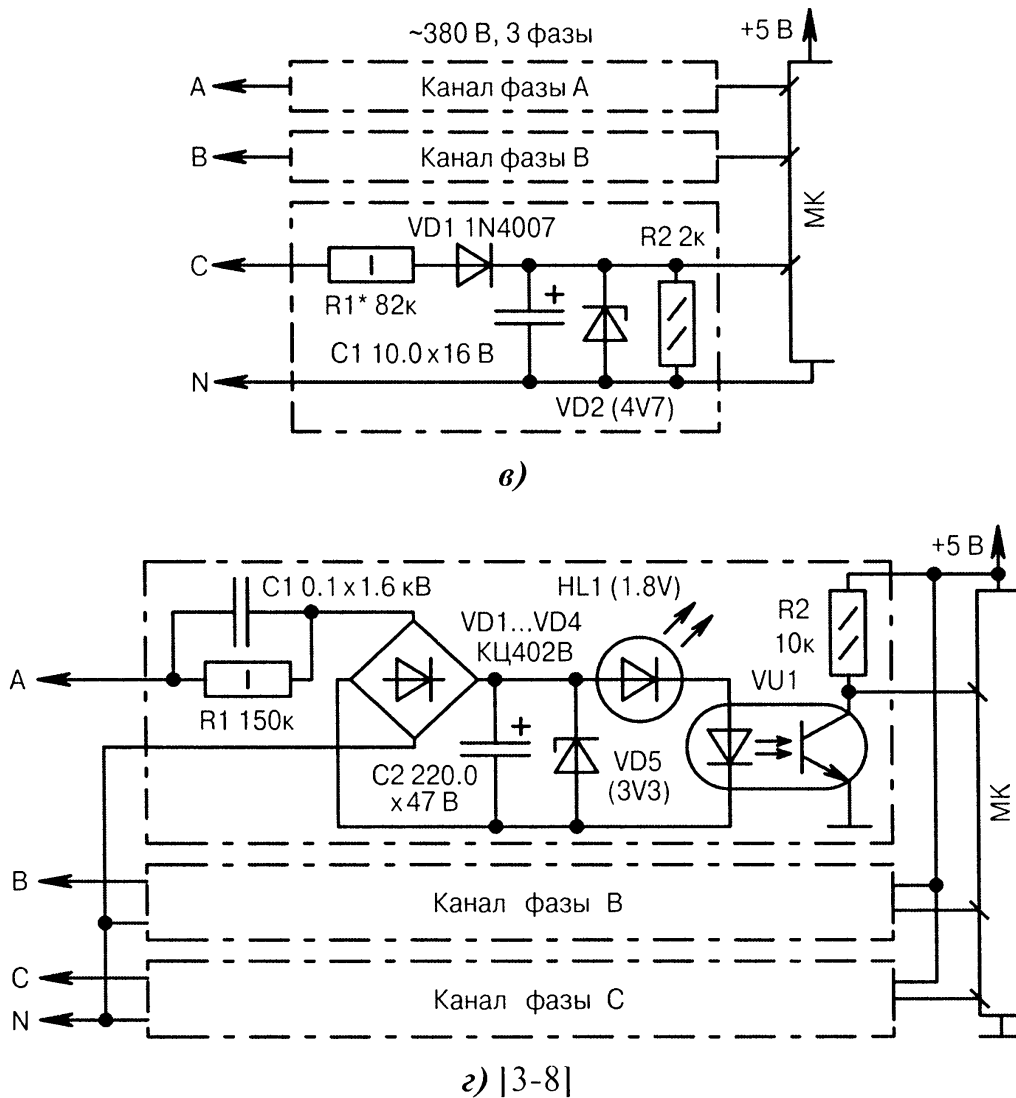


Рис. 3.4. Схемы датчиков трёхфазного напряжения 380 В (окончание):

в) трёхканальный детектор наличия фазных напряжений в сети 380 В. Делитель образуют резисторы  $R1$ ,  $R2$ . Стабилитрон  $VD2$  гасит излишек напряжения;

г) оптоизолированный съём информации о наличии фазных напряжений в сети 380 В. Светодиод  $HL1$  (в каждом из трёх каналов А, В, С) обеспечивает визуальную индикацию. Конденсатор  $C1$  является балластным сопротивлением для стабилитрона  $VD5$  в сетевом выпрямителе.

### 3.1.3. Входные цепи для внутреннего АЦП

Модуль внутреннего АЦП (англ. ADC — Analog-to-Digital Converter) имеют далеко не все 8-битные МК общего назначения. Тем «счастливчикам», которым повезло, следует рассчитывать на довольно скромные технические параметры:

- реальная частота измеряемого сигнала не более 30...40 кГц;
- диапазон входного напряжения от 0 до  $V_{REF}$ , но не более  $V_{CC}$ ;
- оптимальное сопротивление источника сигнала 5...10 кОм;
- максимальная точность 10 бит, гарантированная точность 8 бит;
- наличие режимов одиночного и непрерывного преобразования;
- количество мультиплексированных каналов АЦП 8...10.

На Рис. 3.5, а...к показаны схемы подачи сигналов на внутренний АЦП МК

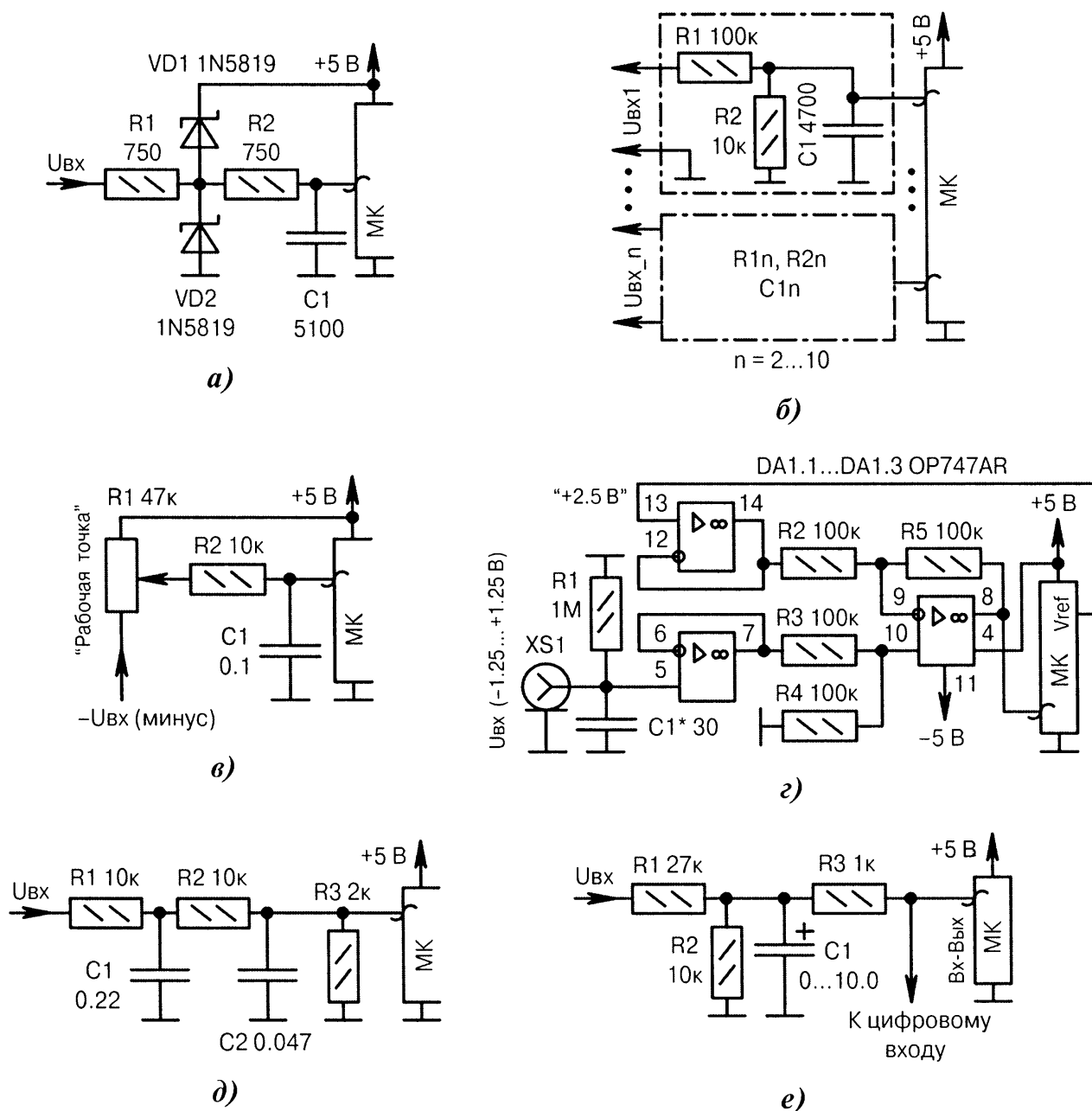


Рис. 3.5. Схемы подачи сигналов на внутренний АЦП МК (начало):

а) элементы  $R1$ ,  $VD1$ ,  $VD2$  защищают МК от скачков входного напряжения. Фильтр  $R2$ ,  $C1$  устраняет высокочастотные помехи на входе внутреннего АЦП МК;

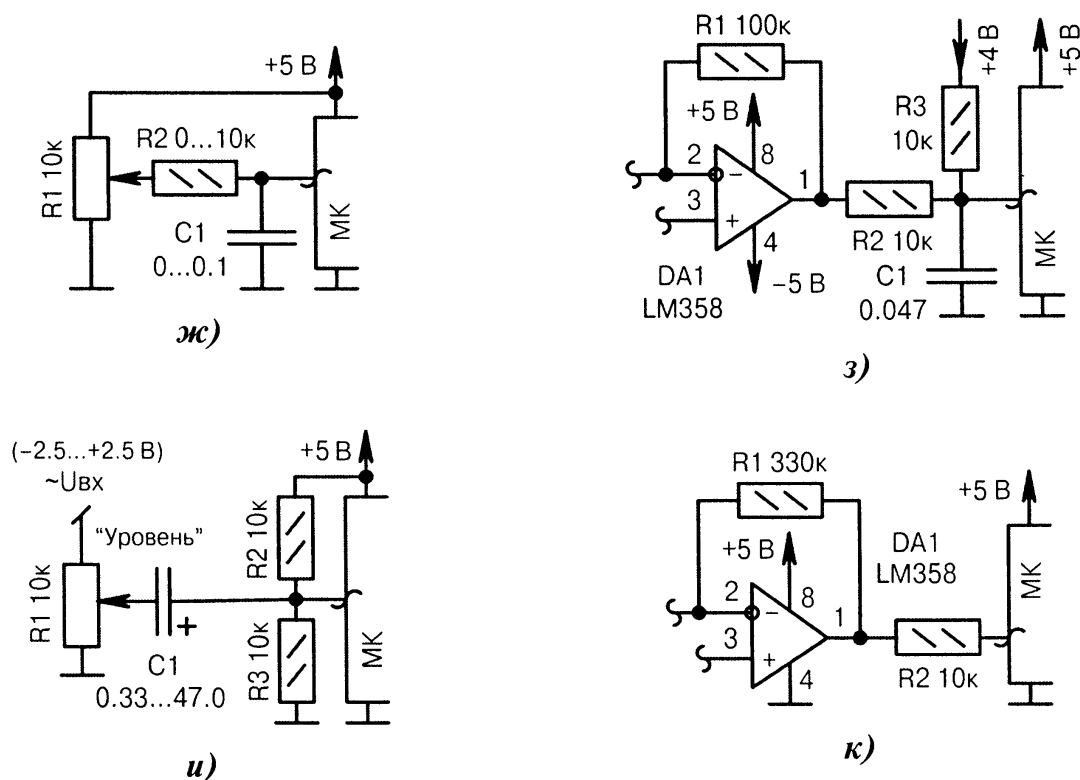
б) многоканальный АЦП с делителем напряжения на резисторах  $R1$ ,  $R2$ . В каждый момент времени работает только один из каналов АЦП. Взаимовлияние между ними отсутствует;

в) измерение отрицательных напряжений. Резистором  $R1$  выбирается такая рабочая точка, чтобы при максимальном отрицательном напряжении сигнал на входе АЦП был больше 0 В;

г) схема сдвига уровня двухполярного сигнала на ОУ  $DA1$ . На входе АЦП сигнал имеет преобразованный уровень  $+1.25 \dots +3.75$  В. Опорное напряжение  $+2.5$  В выдает МК ( $V_{REF}$ );

д) двухзвенный фильтр  $R1$ ,  $C1$ ,  $R2$ ,  $C2$  ограничивает полосу входного сигнала. Номиналы  $RC$  выбираются так, чтобы частота среза фильтра была ниже допустимой частоты для АЦП;

е) линия АЦП одновременно может служить цифровым выходом обычного порта, например, для управления индикатором ЖКИ. Переключение между режимами входа и выхода производится программно. Резистор  $R3$  развязывает каналы. Входное сопротивление подключаемой цифровой цепи должно быть высоким, чтобы не ухудшить точность измерения АЦП; ☉



⊖ Рис. 3.5. Схемы подачи сигналов на внутренний АЦП МК (окончание):

ж) переменный резистор  $R1$  используется как «бесшумная электронная ручка громкости». Возникающие при механическом вращении его движка «шорохи» и помехи устраняются программным путём. Необязательные элементы  $R2$ ,  $C1$  служат дополнительным ФНЧ;

з) схема сдвига уровня для измерения отрицательных напряжений. Применение внешнего стабильного напряжения +4 В (вместо  $V_{CC}$ ) повышает точность;

и) резисторы  $R2$ ,  $R3$  устанавливают рабочую точку АЦП на уровне половины питания. Это позволяет исследовать переменные напряжения с амплитудой  $\pm 2.5$  В (регулируется переменным резистором  $R1$ );

к) резистор  $R2$  с левой стороны соединяется с общим проводом через низкое выходное сопротивление усилителя  $DA1$ , что создаёт оптимальную нагрузку по входу для АЦП (10 кОм). Кроме того, резистор  $R2$  снижает ёмкость по выходу  $DA1$ , чтобы избежать самовозбуждения.

### 3.1.4. Входные цепи для внешнего АЦП

Внешний АЦП применяют в следующих случаях:

- при отсутствии в МК своего внутреннего АЦП;
- при необходимости повышенной точности и скорости измерений;
- если требуется «настоящий» многоканальный съём данных без мультиплексирования и переключения во времени.

По способу сопряжения с МК внешние АЦП разделяются на параллельные и последовательные. Первые из них содержат многоканальный тракт и синхронную шину, с которой периодически снимаются данные (Рис. 3.6, а...г). Вторые — используют стандартные микросхемы АЦП разрядностью 8...16 бит. Сопрягаются они с МК при помощи двух-, трёх- или четырёхпроводных интерфейсов связи, подобных I<sup>2</sup>C, SPI (Рис. 3.7, а...г).

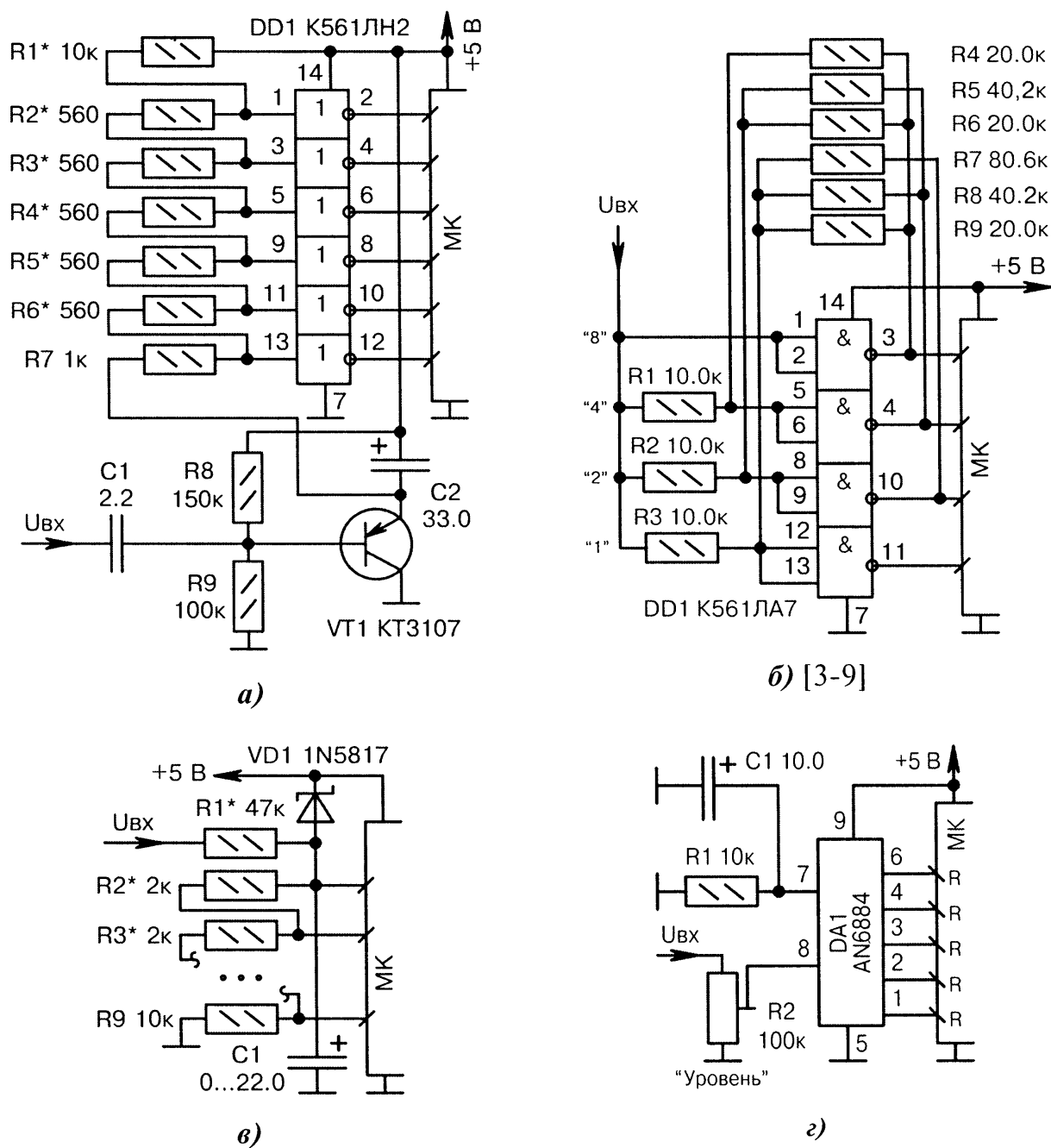


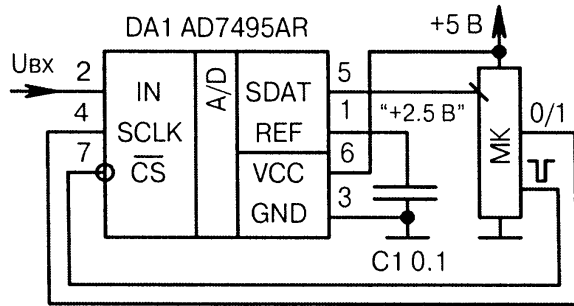
Рис. 3.6. Схемы подключения внешних параллельных АЦП к МК:

а) шестибитный АЦП с буферными инверторами. На конденсаторе  $C2$  выделяется среднее напряжение входного сигнала. С резисторов  $R1...R7$  напряжение подаётся на пороговые элементы  $DD1$ . Изменяя сопротивления резисторов  $R2...R6$ , можно сформировать нелинейный АЦП;

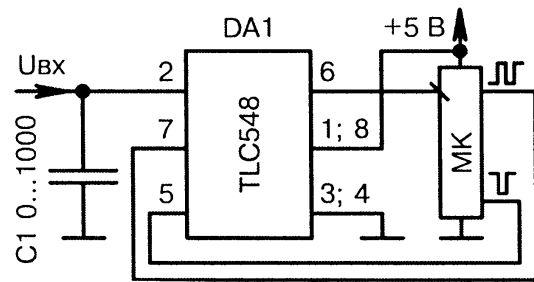
б) четырёхбитный АЦП на логической микросхеме  $DD1$ , элементы которой охвачены обратной связью через резисторы  $R4...R9$ . Частота выборок определяется частотой опроса линий порта. Входное сопротивление АЦП — десятки килоом, входная частота не более 3 МГц;

в) простейший восьмибитный АЦП. Если на входах МК находятся триггеры Шмитта, то надо учитывать гистерезис. Резистор  $R1$  подбирается так, чтобы максимальное напряжение на входе верхней линии МК не превышало 5 В. Конденсатор  $C1$  фильтрует сигнал;

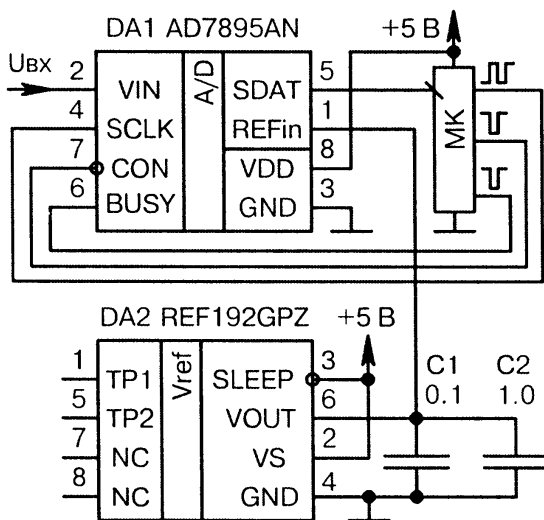
г) нестандартное применение светодиодного драйвера  $DA1$  (фирма Panasonic) в качестве АЦП. Сигналы на пяти выходах микросхемы  $DA1$  монотонно переходят из ВЫСОКОГО в НИЗКИЙ уровень по мере повышения амплитуды входного сигнала (логарифмическая шкала).



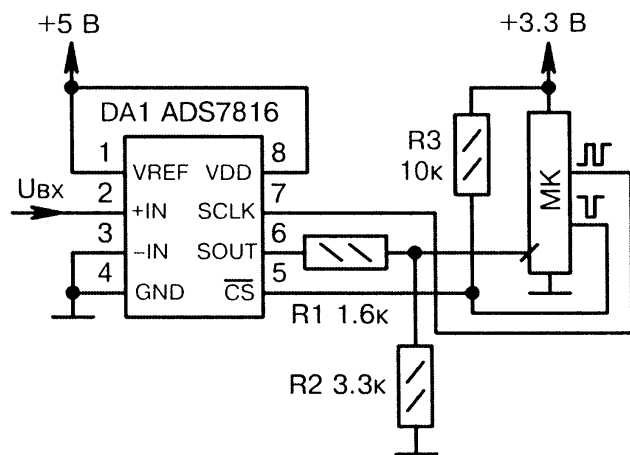
а)



б) [3-10]



в) [3-11]



г) [3-12]

Рис. 3.7. Схемы подключения внешних последовательных АЦП к МК:

а) микросхема *DA1* (фирма Analog Devices) — это 12-битный АЦП, управляемый по последовательному протоколу, похожему на SPI, QSPI, Microwire. С вывода REF микросхемы *DA1* можно снимать стабильное напряжение +2.5 В (ИОН) для функционирования других узлов устройства с током нагрузки до 2 мА;

б) подключение к МК восьмибитного АЦП *DA1* фирмы Texas Instruments. В качестве ИОН для АЦП используется напряжение питания +5 В (вывод 1 *DA1*);

в) совместная работа двух микросхем фирмы Analog Devices: 12-битного последовательного АЦП *DA1* и источника опорного напряжения *DA2*;

г) последовательный 12-битный АЦП *DA1* (фирма Burr-Brown) и МК питаются от разных напряжений. Согласование уровней обеспечивают резисторы *R1*, *R2*. Резистор *R3* поддерживает ВЫСОКИЙ уровень на выводе  $\overline{CS}$  (Chip Select) при сбросе МК. Для повышения точности преобразования рекомендуется поставить в цепь питания +5 В микросхемы *DA1* стандартный LC-фильтр, состоящий из катушки индуктивности (10 мкГн, последовательно с VDD и VREF) и керамического конденсатора (0.1 мкФ, параллельно к общему проводу GND).

### 3.1.5. Амплитудные детекторы

МК не имеет аппаратных средств для работы с сигналами отрицательной полярности. Их приходится предварительно инвертировать (по-другому, выпрямлять) или вообще подавлять как нежелательные. В измерительных и радиоприём-

ных системах узел для преобразования двухполярных сигналов в однополярные обычно называют детектором, а в силовых устройствах (источниках питания, схемах управления двигателями) — выпрямителем, хотя, по сути, это одно и то же.

Основой детекторов, как правило, служат диоды, реже транзисторы или стабилитроны. Если требуется усреднение амплитуды сигнала, то после детектора ставят накопительный конденсатор.

На Рис. 3.8, а...м показаны схемы детектирования сигналов с выходом на МК.

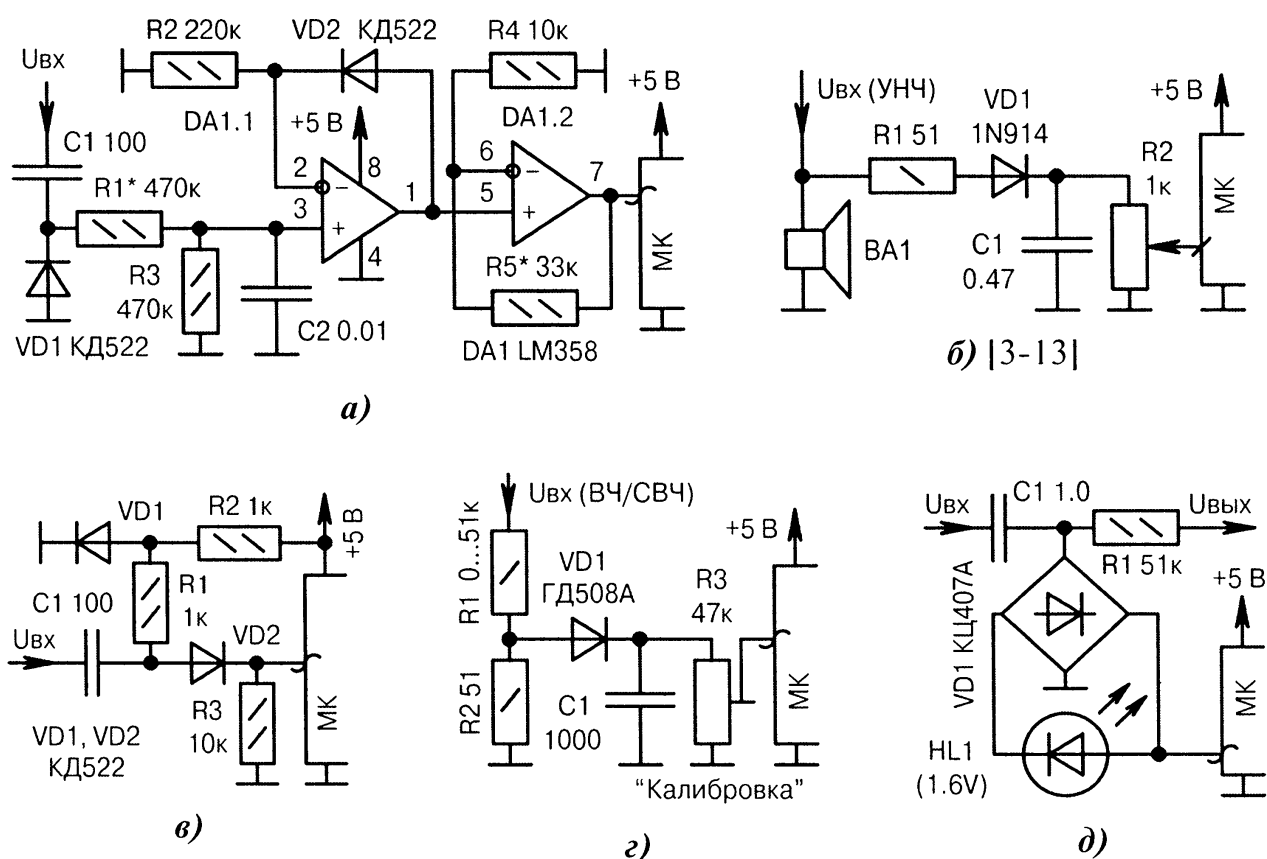


Рис. 3.8. Схемы подключения амплитудных детекторов к МК (начало):

а) активный амплитудный детектор на усилителе  $DA1.1$  и диоде  $VD2$ . Схема обеспечивает низкую инструментальную погрешность преобразования в режиме малых сигналов. Резистор  $R5$  определяет коэффициент усиления  $DA1.2$ , а резистор  $R1$  — чувствительность;

б) пороговый индикатор пиковой мощности внешнего УНЧ. Сигнал снимается с громкоговорителя  $BA1$  (4...8 Ом). Резистором  $R2$  регулируют порог амплитуды, выше которой считается, что громкость звука выходит за установленную норму. Если вместо линии цифрового порта применить АЦП МК, то переменный резистор можно заменить постоянным;

в) диод  $VD1$  создаёт смещение 0.6...0.7 В для повышения чувствительности амплитудного детектора, выполненного на диоде  $VD2$ . Диоды выбирают одного типа, с близкими ВАХ, чтобы компенсировались изменения параметров в широком диапазоне температур;

г) измеритель ВЧ/СВЧ-мощности. Входной сигнал детектируется элементами  $VD1$ ,  $C1$  и через калибровочный резистор  $R3$  подаётся на АЦП МК. При слабом сигнале резистор  $R1$  можно заменить перемычкой, при этом резистор  $R2$  надо выбрать 50 или 75 Ом в зависимости от волнового сопротивления ВЧ/СВЧ-тракта;

д) светодиод  $HL1$ , совместно с диодами моста  $VD1$ , ограничивает амплитуду сигнала на входе МК и одновременно осуществляет визуальную индикацию; ◐



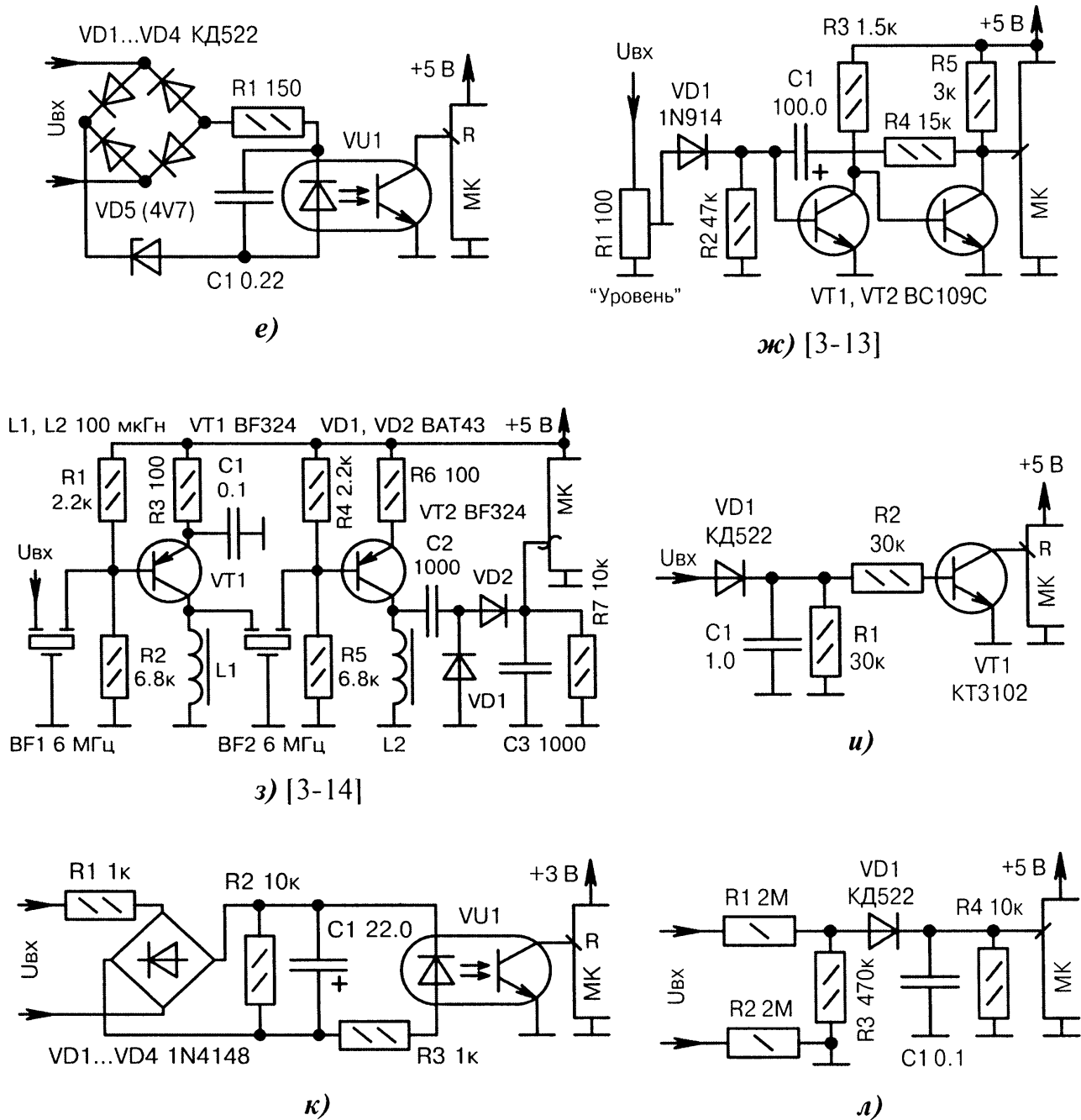
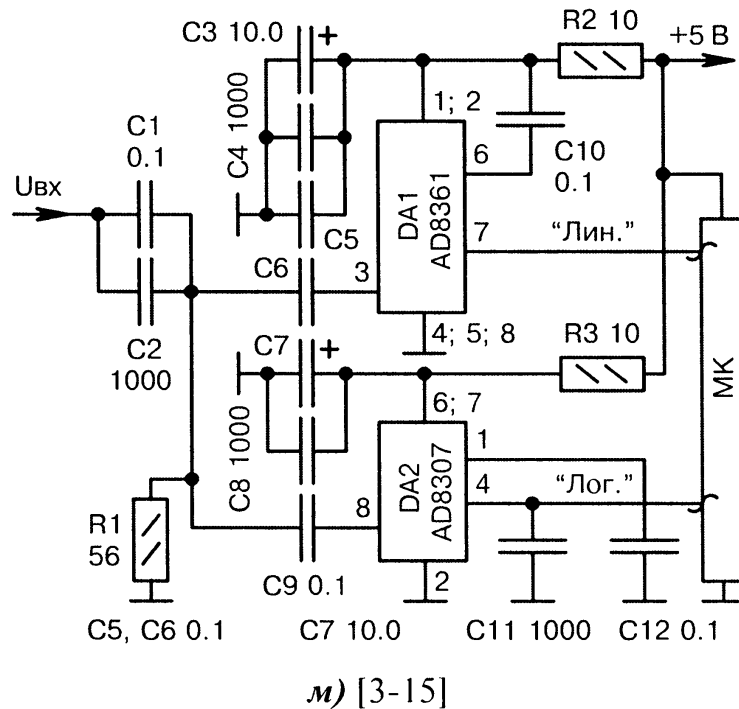


Рис. 3.8. Схемы подключения амплитудных детекторов к МК (продолжение):

- е) двухполупериодный детектор с гальванической опторазвязкой. Конденсатор  $C1$  подавляет импульсные помехи. На стабилитроне  $VD5$  гасится лишнее напряжение;
- ж) регистратор слабых сигналов и коротких импульсов с пороговым каскадом;
- з) узкополосная фильтрация ( $BF1$ ,  $BF2$ ), усиление ( $VT1$ ,  $VT2$ ) и детектирование ( $VD1$ ,  $VD2$ ) входного сигнала, имеющего основную гармонику в районе 6 МГц;
- и) транзистор  $VT1$  служит усилителем, защищает вход МК от скачков напряжения, а также отсекает слабые сигналы (менее 0.7 В), что повышает помехоустойчивость;
- к) детектор переменного и импульсного напряжения с опторазвязкой. Вместо внутреннего «pull-up» резистора МК может применяться внешний (1...10 кОм);
- л) развязка входных цепей исследуемого сигнала  $U_{вх}$  при помощи высокоомных резисторов  $R1$ ,  $R2$ . Резистор  $R3$  определяет чувствительность устройства. Нагрузкой амплитудного детектора  $VD1$  служат элементы  $C1$ ,  $R4$ ;



⊙ Рис. 3.8. Схемы подключения амплитудных детекторов к МК (окончание):

м) двоянный детектор напряжения на прецизионных микросхемах фирмы Analog Devices: *DA1* (линейная зависимость), *DA2* (логарифмическая зависимость).

### 3.1.6. Контроль сигналов низкого напряжения

Входные линии портов МК реагируют на изменение напряжения относительно общего провода. Следовательно, в этом смысле МК можно отнести к классу пороговых устройств и использовать стандартные схемы из импульсной техники.

Если амплитуда входящих сигналов гарантированно не превышает напряжения питания  $V_{CC}$  и не имеет отрицательной составляющей, то входные линии МК можно вообще не защищать (Рис. 3.9, а...к).

Если существует вероятность появления на входе МК импульсных помех, выходящих за диапазон от  $-0.5$  В до  $V_{CC}+0.5$  В, значит требуется дополнительная защита в виде пассивных ограничителей (Рис. 3.10, а...н) или активных буферных каскадов (Рис. 3.11, а...о).

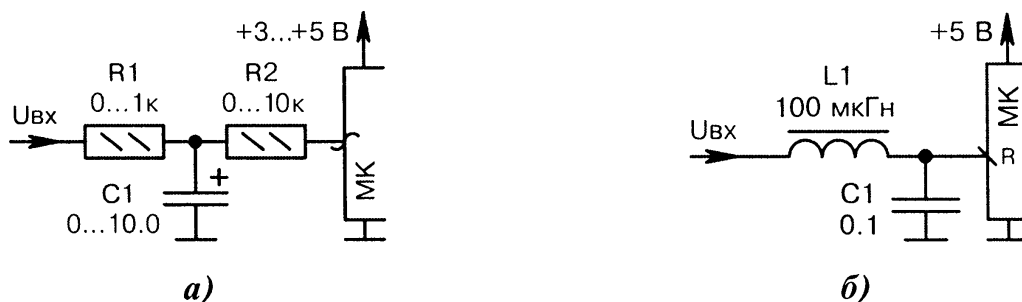


Рис. 3.9. Схемы подачи низковольтных сигналов на линии портов МК (начало):

а) элементы  $R1$ ,  $C1$  фильтруют входной сигнал. Резистор  $R2$  нужен при большой ёмкости конденсатора  $C1$  для снижения тока через входной диод МК при снятии питания;

б) однозвенный фильтр  $L1$ ,  $C1$  имеет достаточно крутой спад частотной характеристики; ⊙

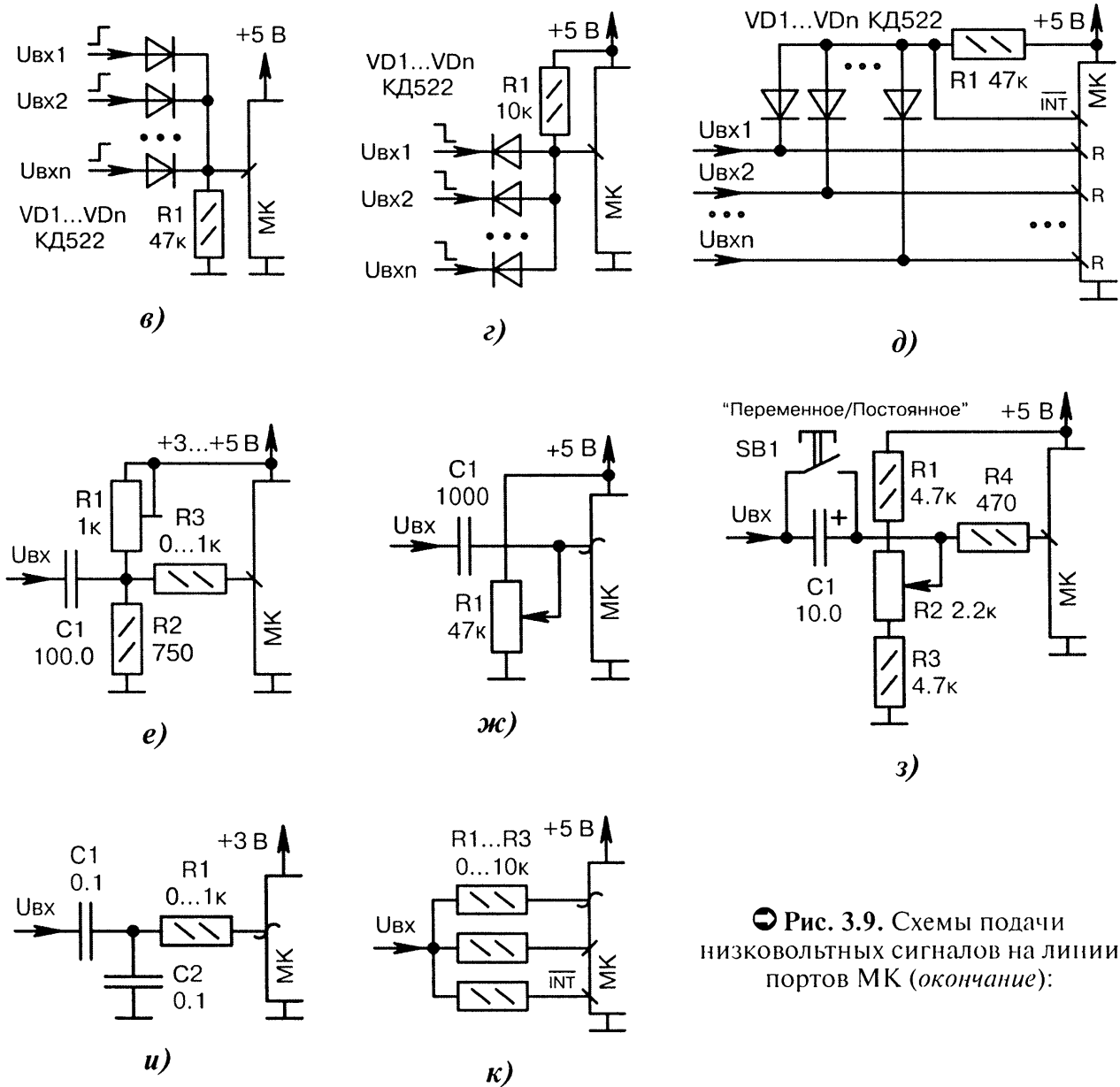


Рис. 3.9. Схемы подачи низковольтных сигналов на линии портов МК (окончание):

в) диоды  $VD1...VDn$  и резистор  $R1$  выполняют логическую функцию «ИЛИ»;

г) диоды  $VD1...VDn$  и резистор  $R1$  выполняют логическую функцию «И»;

д) НИЗКИЙ уровень  $U_{ВХ1}...U_{ВХN}$  в любом из каналов приводит к изменению напряжения на входе обработки прерывания  $\overline{INT}$  за счет диодов  $VD1...VDn$ . Это стандартный способ экономичного «прослушивания» состояния датчиков, когда МК находится в «спящем» режиме;

е) резистором  $R1$  выставляется оптимальный уровень срабатывания цифрового входа МК (может применяться и внутренний АЦП). Конденсатор  $C1$  неполярный большой ёмкости, чтобы можно было на вход подавать сверхнизкочастотные сигналы;

ж) обработка сигналов произвольной формы. Резистором  $R1$  устанавливается начальное напряжение в канале АЦП при отсутствии сигнала. Вместо АЦП может быть цифровая линия;

з) замыкание контактов кнопки  $SB1$  позволяет исследовать сигналы с постоянной составляющей. Резисторы  $R1, R3$  создают достаточно большую нагрузку для входного сигнала при крайних положениях симметрирующего резистора  $R2$ ;

и) ёмкостный делитель входного переменного сигнала на конденсаторах  $C1, C2$ ;

к) приём одного сигнала по трём линиям МК. Используются: АЦП, обычный цифровой порт и вход прерывания  $\overline{INT}$ . Переключение между тремя каналами программное.

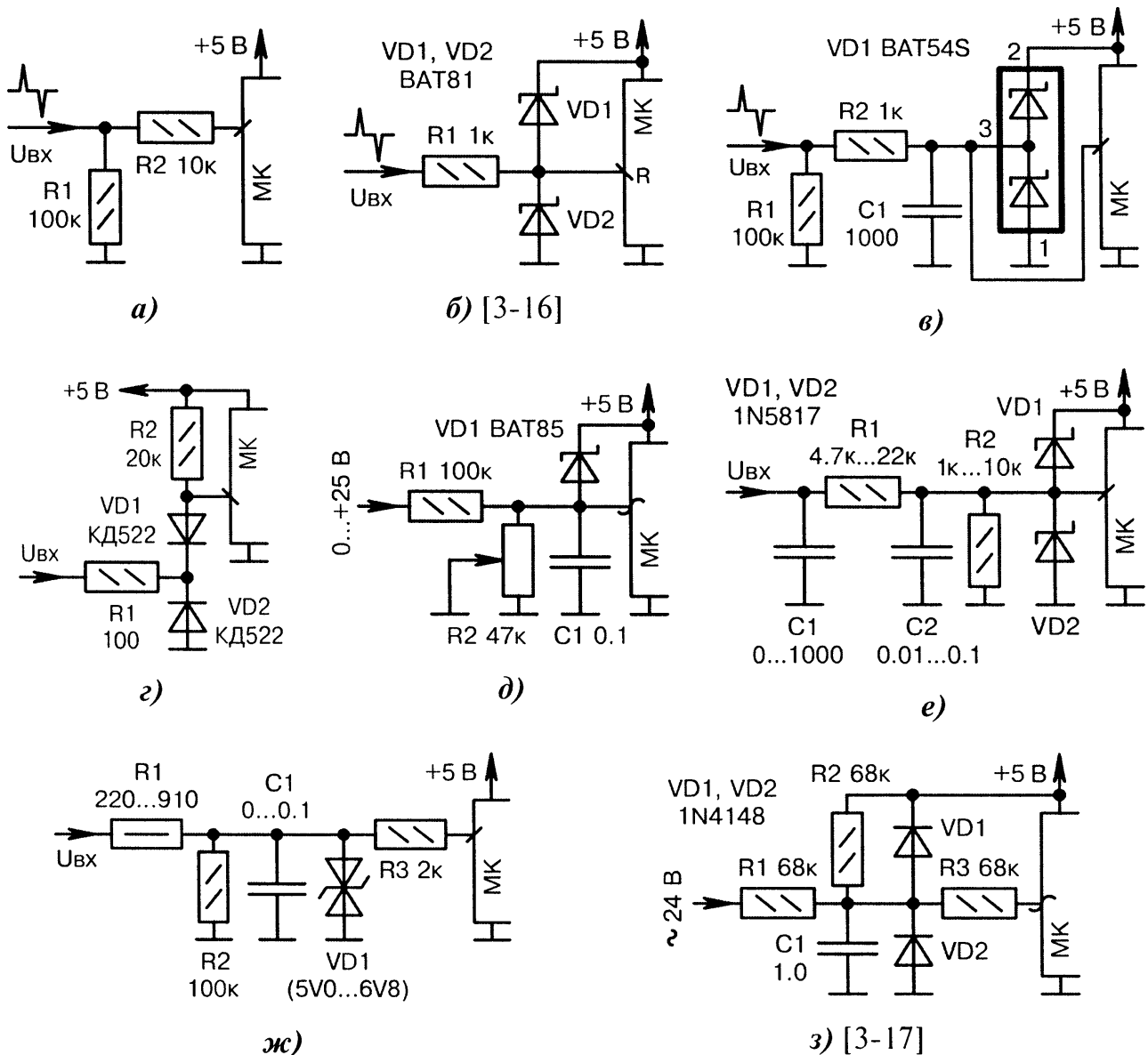


Рис. 3.10. Схемы защиты линий МК пассивными ограничителями (начало):

- а) защита входа МК внутренними диодами, ток через которые ограничивается резистором  $R_2$  на уровне 1...2 мА при всплесках напряжения входного сигнала от  $-20$  до  $+25$  В;
- б) если помеха имеет большую амплитуду и мощность, то надо защищать внутренние диоды МК внешними диодами Шоттки  $VD_1, VD_2$ . Источник питания  $+5$  В должен быть мощным и иметь обратную связь по напряжению, чтобы при помехах поддерживался стабильный уровень;
- в) конденсатор  $C_1$  подавляет импульсные помехи. Сборка диодов Шоттки  $VD_1$  имеет малые габариты. Резистор  $R_1$  не даёт линии МК «висеть в воздухе» при отсутствии сигнала;
- г) при  $U_{ВХ} < 0$  диоды  $VD_1, VD_2$  открываются и на входе МК формируется «истинный нуль». При  $U_{ВХ} > 5$  В оба диода закрываются, что защищает линию МК от перенапряжений;
- д) амплитуда входного сигнала регулируется резистором  $R_2$ . Защитная цепь состоит только из одного диода  $VD_1$ , поскольку входной сигнал всегда положительный;
- е) резистор  $R_2$  входит в состав делителя напряжения ( $R_1$ ) и одновременно «привязывает» к общему проводу линию МК, чтобы она не «висела в воздухе» при отсутствии сигнала;
- ж) TVS-диод  $VD_1$  ограничивает мощные импульсные помехи. Ещё защита —  $R_3$ , диоды МК;
- з) диоды  $VD_1, VD_2$  обычные (не Шоттки), поэтому наличие ограничительного резистора  $R_3$  обязательно. Его сопротивление можно уменьшить на порядок; ☹

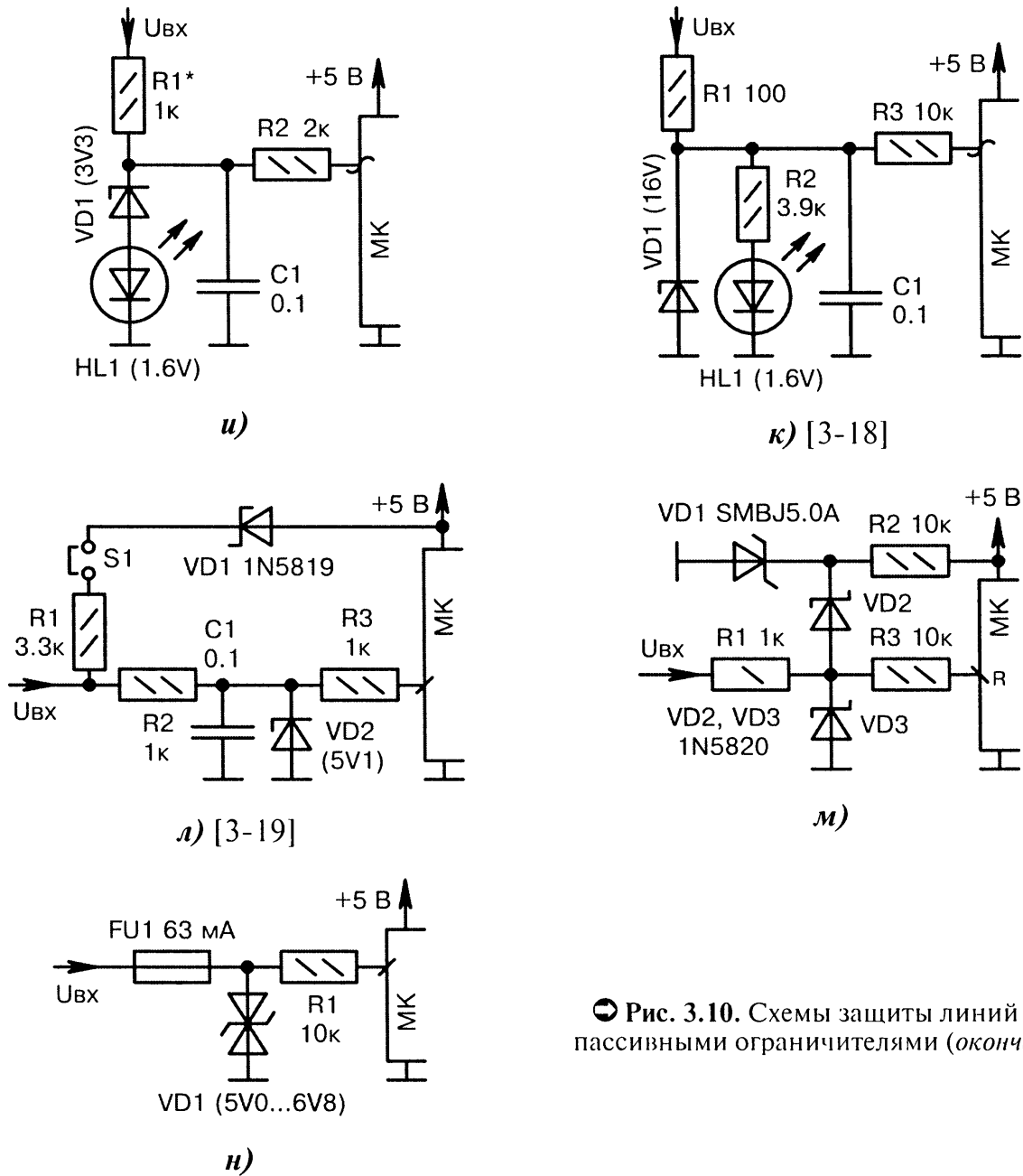


Рис. 3.10. Схемы защиты линий МК пассивными ограничителями (окончание):

и) на элементах  $VD1$ ,  $HL1$  собран аналог стабилитрона с пороговым напряжением 4.9...5.1 В. Резистор  $R1$  подбирается так, чтобы при максимуме входного сигнала обеспечивался ток в диапазоне 3...20 мА через индикатор  $HL1$ , чтобы он светился и указывал на наличие сигнала;

к) светодиод  $HL1$  служит индикатором большой амплитуды (порог задается стабилитроном  $VD1$ ). Конденсатор  $C1$  фильтрует помехи, резистор  $R3$  ограничивает ток через диоды МК;

л) резистор  $R2$  ограничивает ток через стабилитрон  $VD2$ , а резистор  $R3$  — через внутренние диоды МК. Если установить переключку  $S1$ , то во входной датчик будет подаваться постоянный ток не более 1.5 мА. Диод Шоттки  $VD1$  предотвращает попадание высокого напряжения извне в цепь питания +5 В при перегрузках;

м) TVS-диод  $VD1$  (называют также «сапрессор» или «супрессор», от англ. «supressor») может кратковременно рассеивать очень большую мощность. Резистор  $R2$  обеспечивает начальное за- пираие диодов  $VD2$ ,  $VD3$ . Резистор  $R3$  снижает ток через внутренние диоды МК.

н) предохранитель  $FU1$  может быть обычным или самовосстанавливающимся. Двухсторон- ний TVS-диод  $VD1$  может применяться, например, SMBJ5.0CA (5.0 В), P6KE6.8CA (6.8 В).

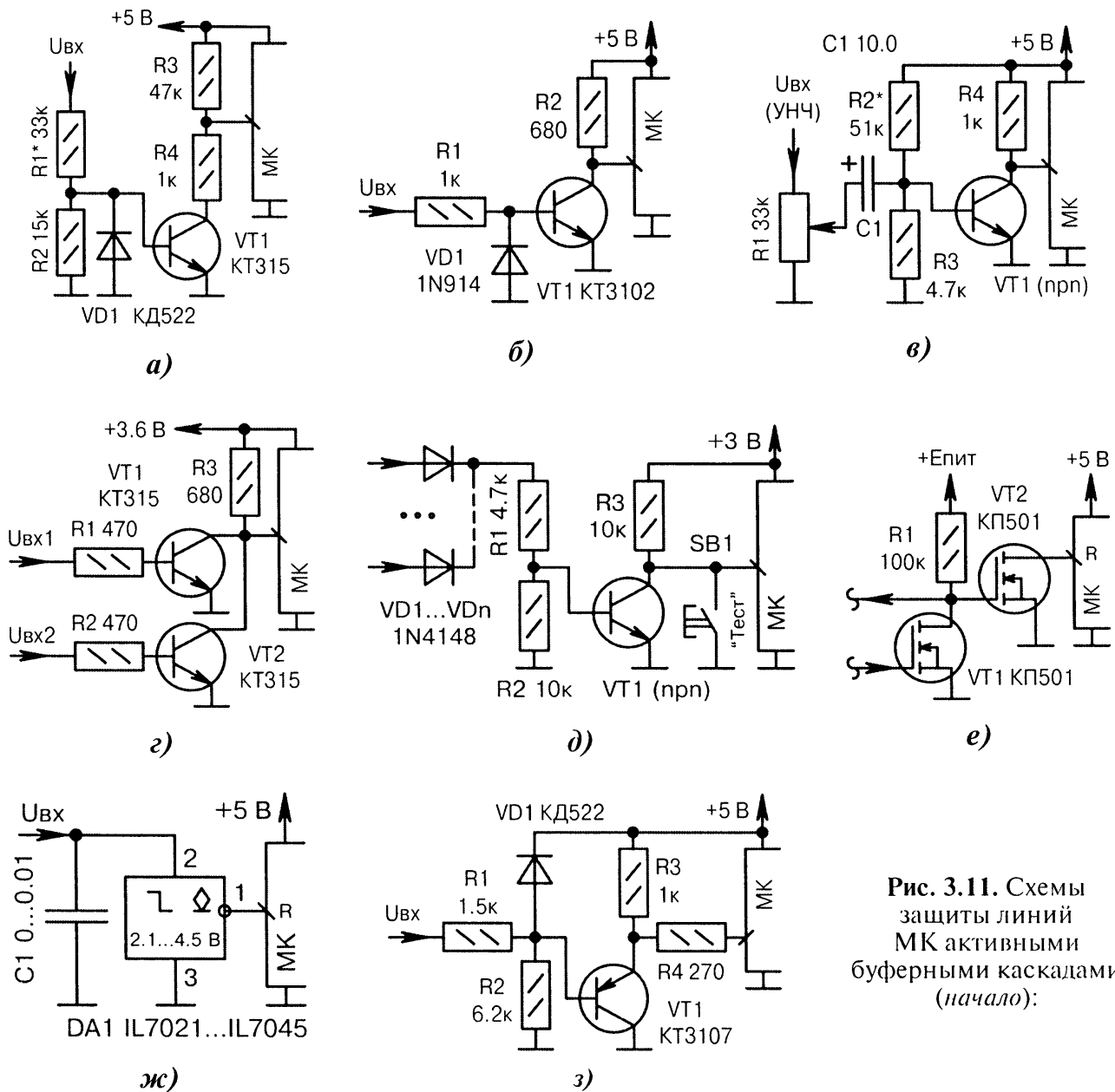


Рис. 3.11. Схемы защиты линий МК активными буферными каскадами (начало):

а) усилитель-формирователь на транзисторе *VT1* (усилитель для слабых сигналов, формирователь прямоугольных импульсов для сигналов большой амплитуды). Резистор *R4* защищает линию МК от короткого замыкания на GND, если она по ошибке программиста станет выходом;

б) обработка ВЧ-сигналов с частотой до 1 МГц. Диод *VD1* защищает переход «база — эмиттер» транзистора *VT1* от больших отрицательных напряжений;

в) буферный усилитель переменного напряжения звуковой частоты. Резистор *R1* можно градуировать в децибелах или вольтах. Резистором *R2* подбирают порог срабатывания;

г) транзисторный эквивалент логического элемента «2-ИЛИ-НЕ» (аналог РТЛ-логики);

д) логическое «ИЛИ-НЕ» на диодах *VD1...VDn* с инвертором на транзисторе *VT1*. Замыкание контактов кнопки *SB1* позволяет симитировать открытый транзистор *VT1* в тестовых целях;

е) транзистор *VT2* вводится в уже существующее изделие для съёма информации со стока транзистора *VT1*. Благодаря высокому входному сопротивлению *VT2* работа не нарушается;

ж) микросхема детектора «просадок» питания *DA1* служит защитным буфером для МК, а также входным элементом в порогом срабатывания 2.1...4.5 В в зависимости от модификации *DA1*;

з) транзистор *VT1* служит защитным буферным повторителем напряжения; Ⓞ

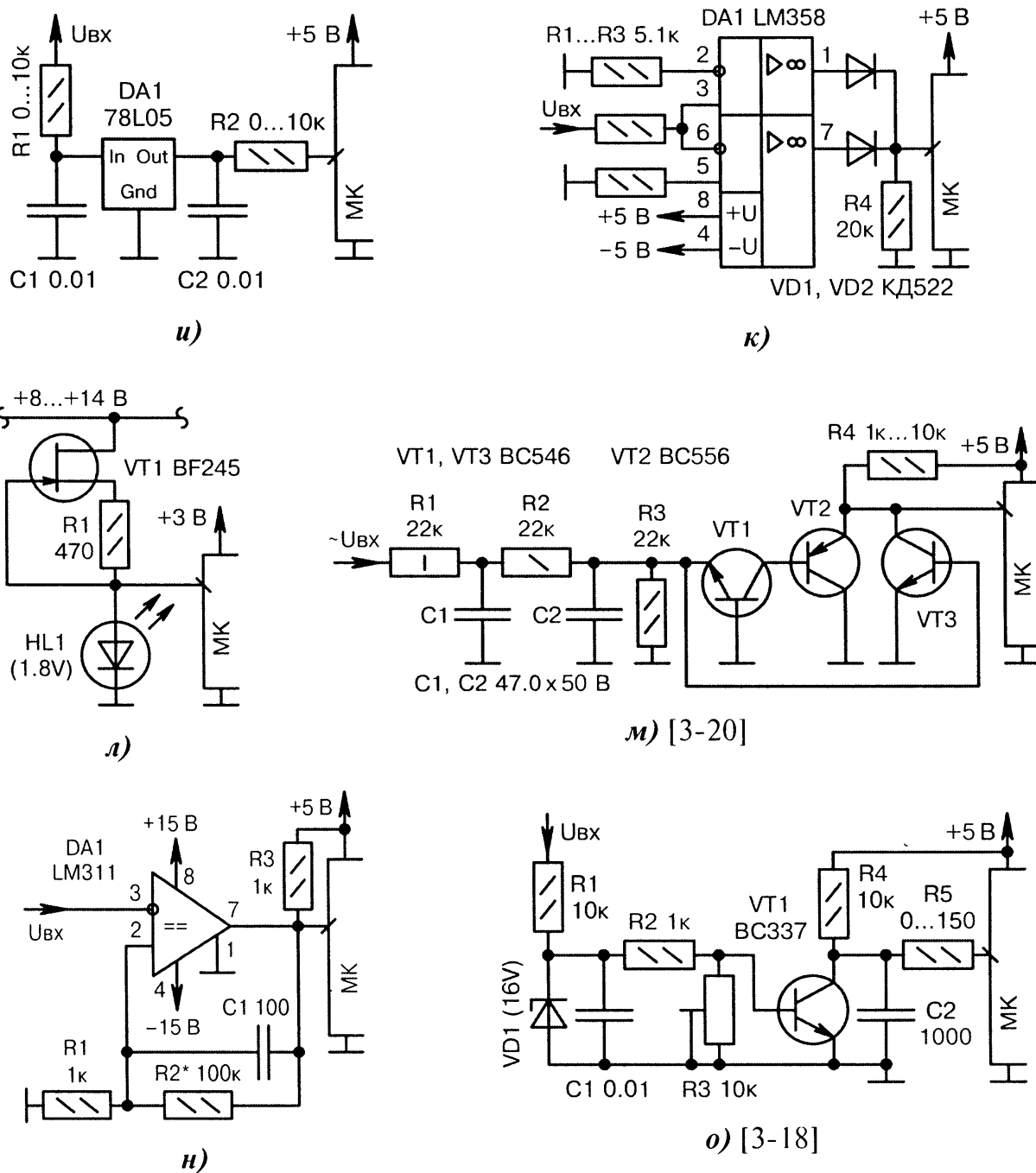


Рис. 3.11. Схемы защиты линий МК активными буферными каскадами (окончание):

и) стабилизатор *DA1* защищает МК от всплесков напряжения амплитудой до +30 В. Если питание МК осуществляется от источника +3 В, то *DA1* лучше заменить микросхемой 78L03;

к) усилитель *DA1* служит буферным элементом и выполняет функцию детектора перехода двухполярного сигнала  $U_{вх}$  через нуль;

л) «визуальный» датчик наличия напряжения +8...+14 В на светодиоде *HL1*. Транзистор *VT1* и резистор *R1* образуют генератор стабильного тока 3 мА;

м) определитель знака входного постоянного напряжения (плюс или минус), не реагирующий на переменные звуковые сигналы. Может применяться в устройстве защиты УНЧ от пробоя выходных транзисторов. Конденсаторы *C1*, *C2* должны быть неполярными большой ёмкости;

н) резистором *R2* устанавливается гистерезис компаратора *DA1* в пределах 50...70 мВ;

о) первая ступень защиты — стабилитрон *VD1*, вторая — транзистор *VT1*, третья — внутренние диоды МК и ограничительный резистор *R5*. Резистором *R3* регулируется чувствительность.

### 3.1.7. Контроль сигналов высокого напряжения

Что считать высоким напряжением для схем на основе МК? Если формально, то всё, что выше напряжения питания. Если с практической точки зрения, то всё, что больше 25...30 В. Диапазон выбран условно, он ни к чему не привязан. Ситуация напоминает известное разделение электроустановок по безопасности на две категории: до и свыше 1000 В (число «1000» не поддается строгому математическому расчёту и выбрано как легко запоминающееся).

Высокие напряжения могут быть постоянными, импульсными или медленно изменяющимися во времени. Для их снижения обычно используют резисторные делители с конденсаторными фильтрами. При напряжениях более 200 В резисторы надо применять высоковольтные (визуально они узкие и длинные) или обычные, но больших геометрических размеров, например, мощностью 0.5...2.0 Вт.

Особое внимание в высоковольтной технике уделяется защите от всплесков напряжений и искровых помех. Ограничительные диоды, разрядники, варисторы, стабилитроны и конденсаторы здесь лишними не бывают.

При наладке высоковольтных устройств требуется внимательность и предельная осторожность. Необходимо выполнять простые правила житейской безопасности, а именно, касаться токоведущих частей только одной рукой (другую держать за спиной), находиться подальше от заземлённых предметов (водопроводные краны, батареи центрального отопления), использовать исправный инструмент и надёжные измерительные приборы. Интересно, что на некоторых предприятиях операции по работе с высоким напряжением относят к особо ответственным и выполняют их только в первую (а не во вторую и не в третью) смену.

На Рис. 3.12, а...л показаны схемы подачи высоких рабочих напряжений на линии портов МК.

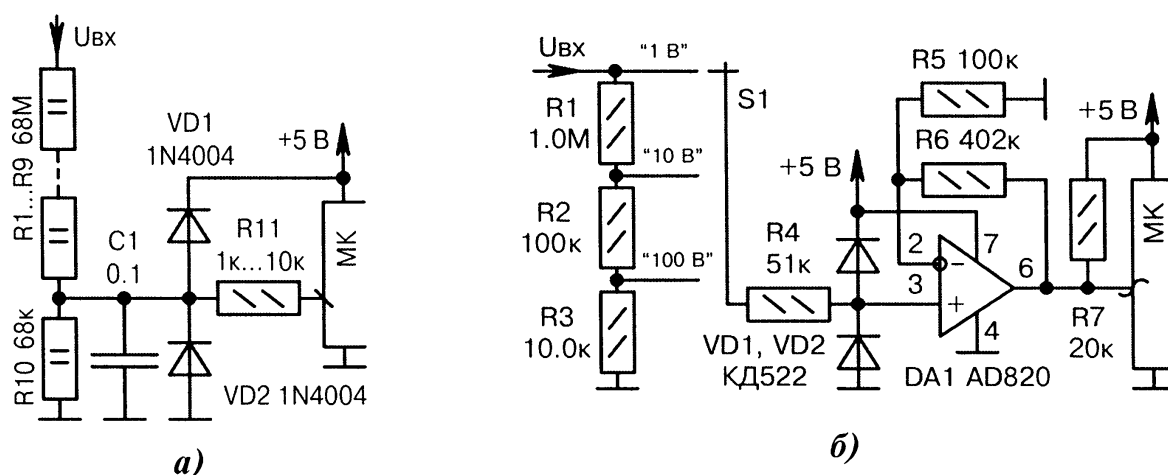
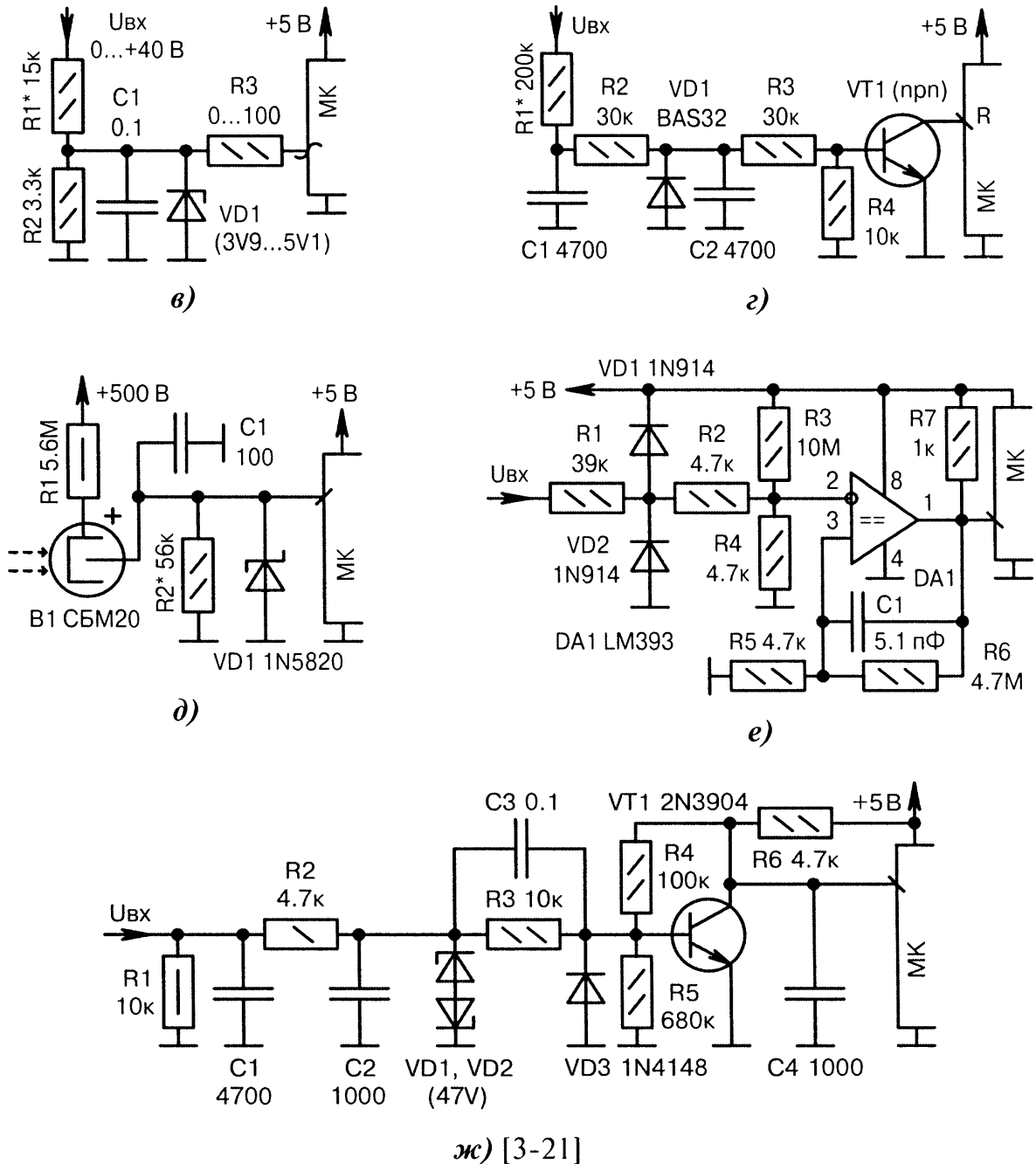


Рис. 3.12. Схемы подачи высоких напряжений на линии портов МК (начало):

а) входное напряжение  $U_{вх}$  может достигать 20 кВ. Резисторы  $R1...R9$  специальные высоковольтные. В целях безопасности их помещают в пластиковый корпус. Конденсатор  $C1$  снижает так называемые «искровые помехи»;

б) выбор поддиапазонов измерения 1, 10 или 100 В осуществляется переключателем  $S1$ . Отношение резисторов  $R5$ ,  $R6$  определяет коэффициент передачи инструментального усилителя  $DA1$  фирмы Analog Devices. Для повышения точности замеров резисторы  $R1...R3$ ,  $R5$ ,  $R6$  должны иметь допуск не более  $\pm 1\%$ ; ➔





ж) [3-21]

● **Рис. 3.12.** Схемы подачи высоких напряжений на линии портов МК (продолжение):

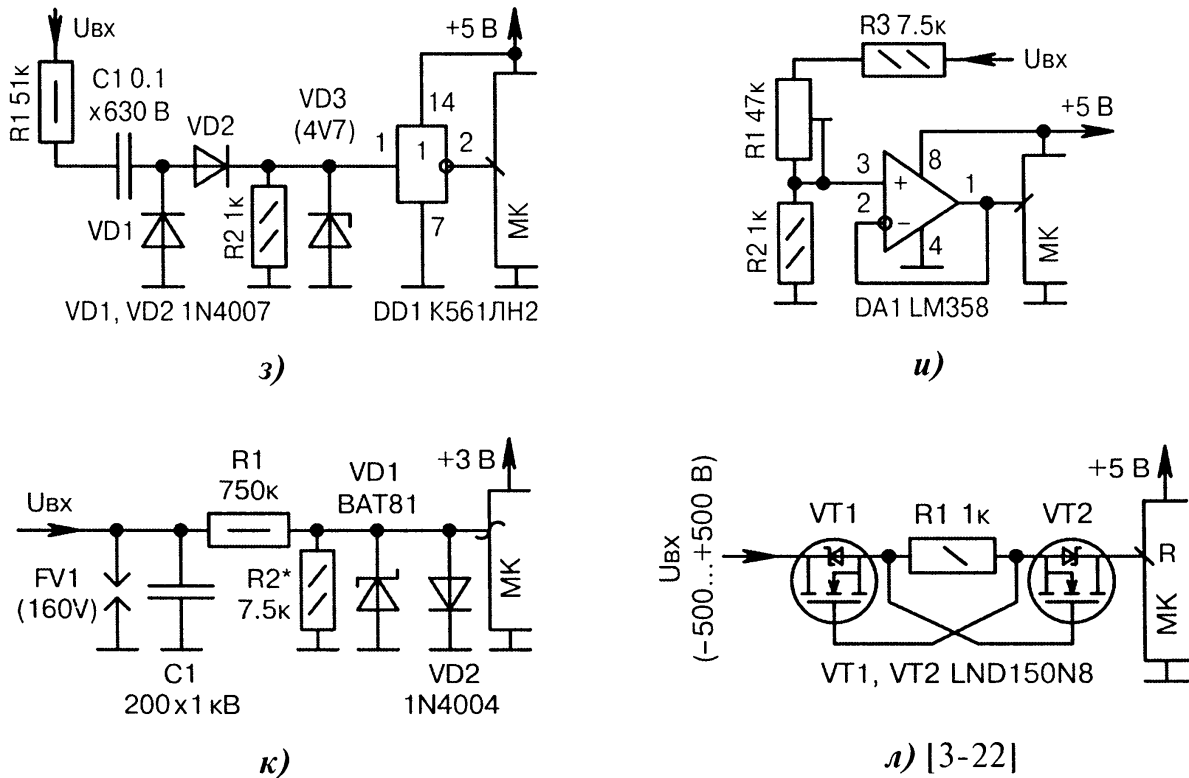
в) защита входа МК элементами  $R1$ ,  $VD1$ ,  $C1$ . Резистор  $R3$  обязателен при большом пороговом напряжении стабилитрона  $VD1$ . Сопротивление резистора  $R3$  нужно увеличить до 1...3 кОм, если вместо  $VD1$  будет поставлен мощный TVS-диод, например, P4SMA6.8A (6.8 В);

г) транзистор  $VT1$  увеличивает крутизну фронтов сигнала и буферно защищает МК;

д) подключение датчика радиактивного излучения  $B1$  к МК. Для нормальной работы датчика на его обкладку подаётся высокое напряжение 500 В. При регистрации пролетающих частиц происходит локальный пробой и высокое напряжение через делитель  $R1$ ,  $R2$  поступает в МК;

е) приём сигналов с напряжением до  $\pm 100$  В. Компаратор  $DA1$  регистрирует моменты перехода напряжения через нуль, гистерезис 25 мВ. Конденсатор  $C1$  устраняет ВЧ-«звон» сигналов;

ж) приём дискретных (цифровых) сигналов, на которые наводятся высоковольтные помехи. Особенности схемы — защитные стабилитроны  $VD1$ ,  $VD2$ , ускоряющая цепочка  $R3$ ,  $C3$ , буферный усилитель-инвертор  $VT1$ , конденсатор фильтра  $C4$ ; ●



⊙ Рис. 3.12. Схемы подачи высоких напряжений на линии портов МК (окончание):

з) обработка импульсно-модулированных напряжений амплитудой до 100 В. Инвертор *DD1* увеличивает крутизну фронтов сигнала и обеспечивает буферную защиту МК;

и) ОУ *DA1* служит повторителем входного сигнала. Схема применяется при большой длине между ОУ и *DA1* или для защиты МК от перенапряжений. Резистором *R1* снижается амплитуда;

к) разрядник *FV1* защищает входные цепи от подачи напряжения более 160 В. Диоды *VD1*, *VD2* ограничивают сигнал с двух сторон. Наличие/отсутствие напряжения фиксирует АЦП МК. Для обычной цифровой линии порта следовало бы удалить диод *VD2*;

л) при входном напряжении 0...+5 В эквивалентное последовательное сопротивление двух транзисторов *VT1*, *VT2* составляет около 2 кОм. При увеличении входного напряжения в диапазоне от 5 до 500 В транзисторы автоматически ограничивают протекающий ток до 1 мА (определяется резистором *R1*).

### 3.1.8. Внутренний аналоговый компаратор

Модуль аналогового компаратора входит практически во все современные МК. Физически компаратор представляет собой быстродействующий ОУ с большим коэффициентом усиления, частотной коррекцией и выходом на цифровой логический элемент. Обратная связь через внешний резистор с выхода на вход не предусматривается. Выходной сигнал компаратора имеет НИЗКИЙ/ВЫСОКИЙ логический уровень, который запоминается в программно-доступном регистре.

Компаратор сравнивает между собой по амплитуде два напряжения, присутствующие на его положительном и отрицательном входах. Результат сравнения читается из внутреннего регистра МК и может служить источником прерывания.

В целом «микроконтроллерный» компаратор очень похож на обычный «микросхемный» компаратор, но только выходной сигнал ОУТ, как правило, спрятан

внутри. Ещё одно отличие — линии аналогового компаратора являются совмещёнными и могут настраиваться как цифровые выходы.

Применение аналогового компаратора оправдано в следующих случаях:

- при малой амплитуде входных сигналов 30...300 мВ;
- при необходимости сравнения уровней двух сигналов («больше/меньше»);
- при повышенных требованиях к быстродействию, когда внутренний АЦП уже не справляется со своими обязанностями.

На Рис. 3.13, а...с показаны схемы подачи сигналов на компаратор МК.

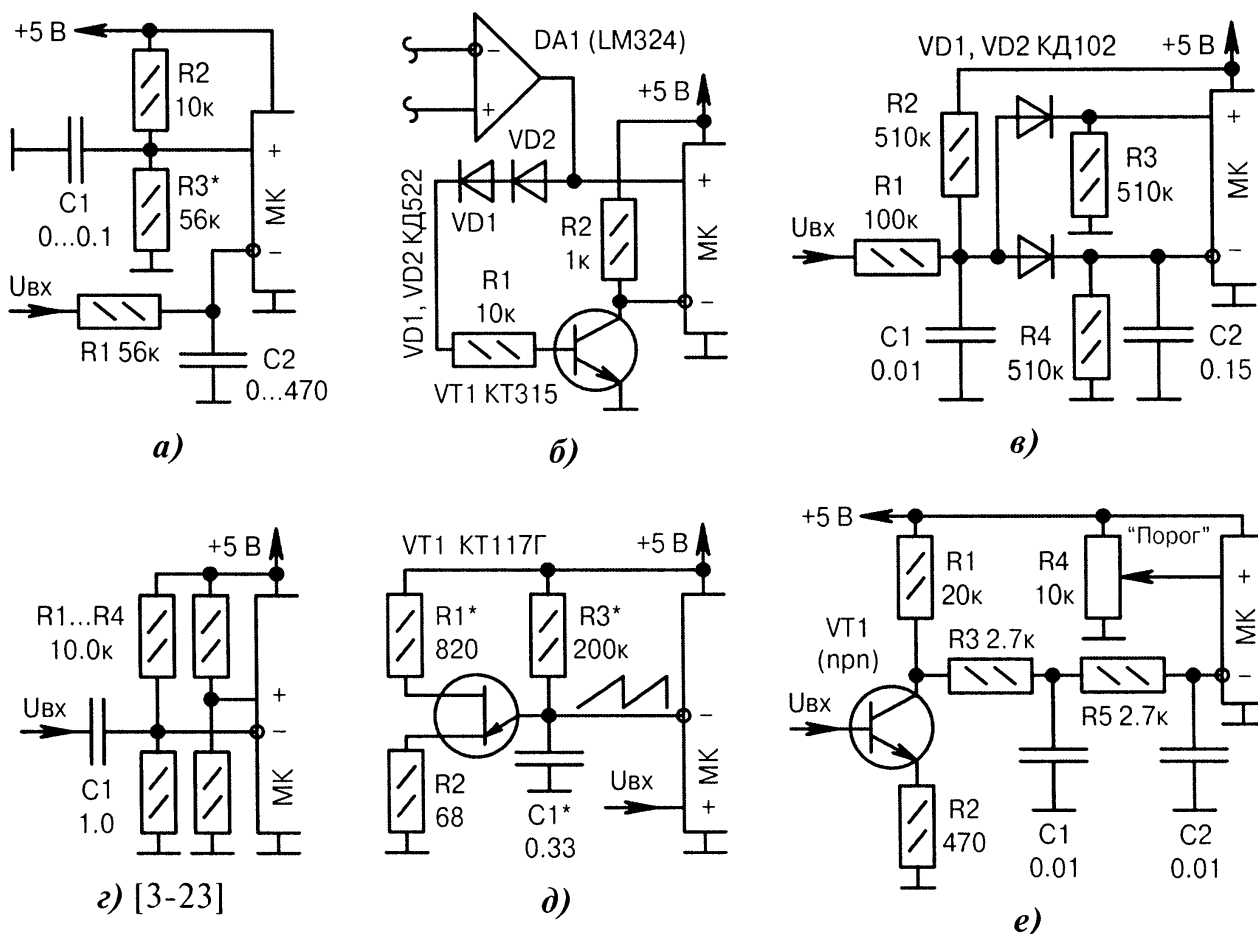


Рис. 3.13. Схемы подачи сигналов на аналоговый компаратор МК (начало):

а) делителем  $R_2$ ,  $R_3$  устанавливается порог срабатывания компаратора. Необходимость применения фильтрующих конденсаторов  $C_1$ ,  $C_2$  определяется экспериментально по отсутствию ложных переключений;

б) искусственное формирование противофазного сигнала на отрицательном выводе компаратора при помощи транзистора  $VT_1$ . Диоды  $VD_1$ ,  $VD_2$  создают «зону нечувствительности»;

в) выделитель переднего фронта входных импульсных сигналов. Конденсатор  $C_1$  снижает помехи, конденсатор  $C_2$  обеспечивает задержку времени («завал» фронтов импульса);

г) приём переменного напряжения малой амплитуды 50...100 мВ. Если форма входного сигнала «синусоида», то происходит её программное преобразование в «прямоугольник»;

д) пилообразное напряжение формируется однопереходным транзистором  $VT_1$ . Внутри МК программно подсчитывается время достижения равенства напряжений на обоих входах;

е) двухзвенный ФНЧ на элементах  $R_3$ ,  $C_1$ ,  $R_5$ ,  $C_2$  ограничивает спектр входного сигнала. Переменным резистором  $R_4$  устанавливается порог срабатывания компаратора; Ⓞ

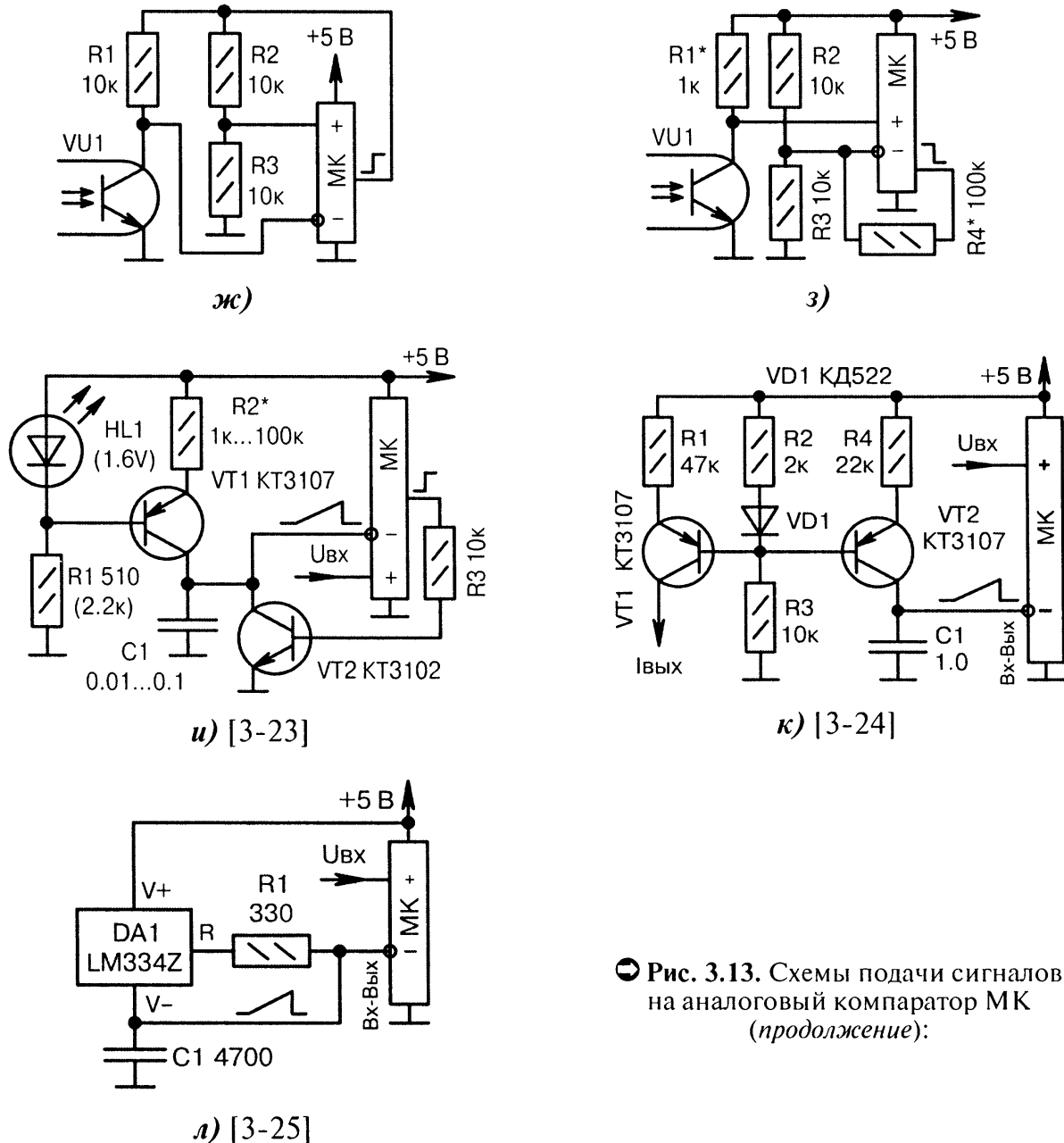


Рис. 3.13. Схемы подачи сигналов на аналоговый компаратор МК (продолжение):

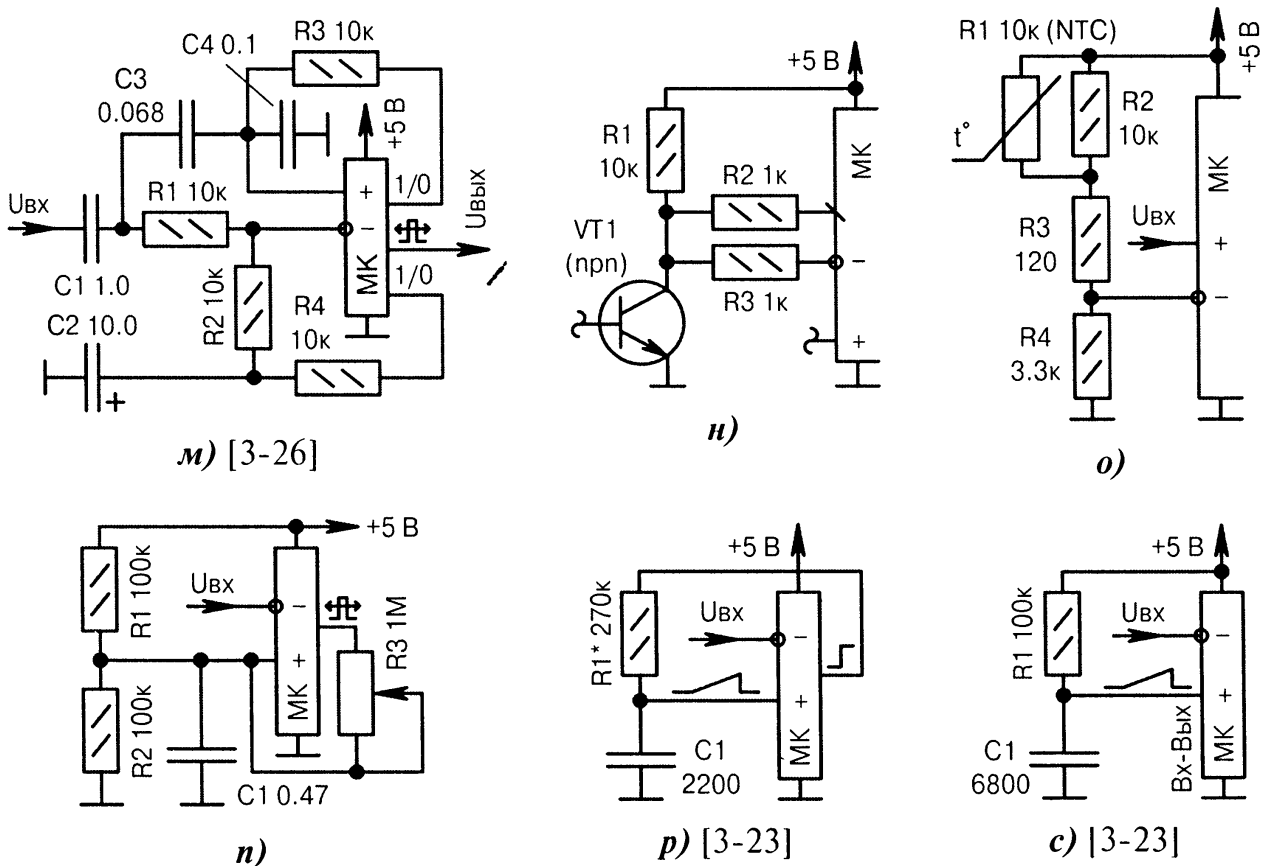
ж) компаратор принимает входной сигнал через оптопару *VU1*. В паузах работы МК выставляет на выходе НИЗКИЙ уровень, чтобы снизить ток потребления через резисторы *R1...R3*;

з) в исходном состоянии на выходе МК ВЫСОКИЙ уровень. Как только аналоговый компаратор «сработает», на выходе МК выставляется НИЗКИЙ уровень, чтобы отсечь флуктуации сигнала. Образуется гистерезис с напряжением  $U_{г}[В] = 5 \cdot R_2 \cdot R_3 / (R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_4)$ , где *R2...R4* выражены в килоомах, а число «5» соответствует напряжению питания МК в вольтах;

и) пилообразное напряжение формирует сам МК через ключ *VT2* (сброс) и генератор стабильного тока на элементах *VT1*, *R1*, *R2*, *HL1*. Светодиод также служит индикатором питания;

к) аналогично Рис. 3.13, и, но с диодом *VD1* вместо светодиода *HL1* и с обнулением конденсатора *C1* путем временного перевода линии МК в режим выхода с НИЗКИМ уровнем. «Зеркальный» транзистор *VT1* формирует стабильный ток  $I_{\text{вых}}$  для других узлов устройства;

л) аналогично Рис. 3.13, к, но с генератором стабильного тока на микросхеме *DA1*. Пилообразное напряжение может формироваться с определенным периодом (режим автоматического измерения) или однократно (режим одиночного измерения). В последнем случае для экономии энергии в паузах на отрицательном выводе компаратора должен быть ВЫСОКИЙ уровень ☺;



○ Рис. 3.13. Схемы подачи сигналов на аналоговый компаратор МК (окончание):

- м) «дельта-модулятор» на основе компаратора МК. Входной аналоговый сигнал программно преобразуется в выходной цифровой сигнал  $U_{\text{ВЫХ}}$ , модулированный методом ШИМ;
- н) входной сигнал может одновременно поступать на компаратор и на обычную линию порта МК, например, для перепроверки показаний или для организации сервисных функций;
- о) порог срабатывания аналогового компаратора МК зависит от температуры окружающей среды (терморезистор  $R1$ ). Резистор  $R2$  линеаризует температурную характеристику;
- п) шкала резистора  $R3$  градуируется в вольтах (децибелах) амплитуды сигнала  $U_{\text{ВХ}}$ . МК фиксирует момент срабатывания компаратора и включает внешнюю сигнализацию (на схеме не показана). Можно программно варьировать скважность ШИМ, не вращая движок резистора  $R3$ ;
- р) пилообразное (точнее, экспоненциальное) напряжение на конденсаторе  $C1$  формируется при помощи подачи ВЫСОКОГО/НИЗКОГО уровня на верхний по схеме вывод резистора  $R1$ ;
- с) аналогично Рис.3.13, р, но с использованием совмещённой линии порта, через которую периодически разряжается конденсатор  $C1$  НИЗКИМ уровнем.

### 3.1.9. Приём сигналов с телефонной линии

Эксперименты с подключением внешних устройств к телефонной линии входят в «обязательную программу» каждого уважающего себя радиолюбителя. Одна незадача — мало кто соблюдает известную юридическую норму, категорически запрещающую подключать к телефонной сети общего пользования (ТСОП) любые самодельные аппараты, не прошедшие сертификацию в установленном порядке. Основное опасение в «самоделках» вызывает возможность попадания сетевого напряжения 220 В на провода телефонной линии. И хотя связисты ставят на АТС всевозможные защиты, но это мало утешает монтажников на линии.

Второй момент связан с внесением дополнительной ёмкости в линию и появлением токов утечки, что может привести к ухудшению качества связи и сбоях в работе компьютерных модемов, особенно при спаренных телефонных аппаратах.

Все домашние эксперименты с ТСоП проводят на свой страх, риск и денежный штраф с учётом общих рекомендаций по безопасности и эксплуатации:

- применять батарейное питание МК вместо сетевого 220 В;
- вводить гальваническую развязку на оптронах или трансформаторах;
- делать нагрузку на линию ТСоП высокоомной и симметричной относительно двух входящих в квартиру проводов «а» и «б» (англ. «Tip» и «Ring»);
- при наличии сбоев пробовать изменять полярность включения проводов;
- знать тип своей АТС, поскольку схемы, рассчитанные на импульсный набор номера, не будут работать при частотном (DTMF) наборе и наоборот;
- ставить во входных цепях ЭРИ, выдерживающие напряжение 200 В, поскольку базовое питание стационарной батареи АТС составляет 60 или 48 В с допуском  $\pm 20\%$ , а импульсы дозвона имеют амплитуду в 2...3 раза больше.

На Рис. 3.14, а...м показаны схемы приёма сигналов с ТСоП без гальванической развязки, на Рис. 3.15, а...и — с наличием гальванической развязки.

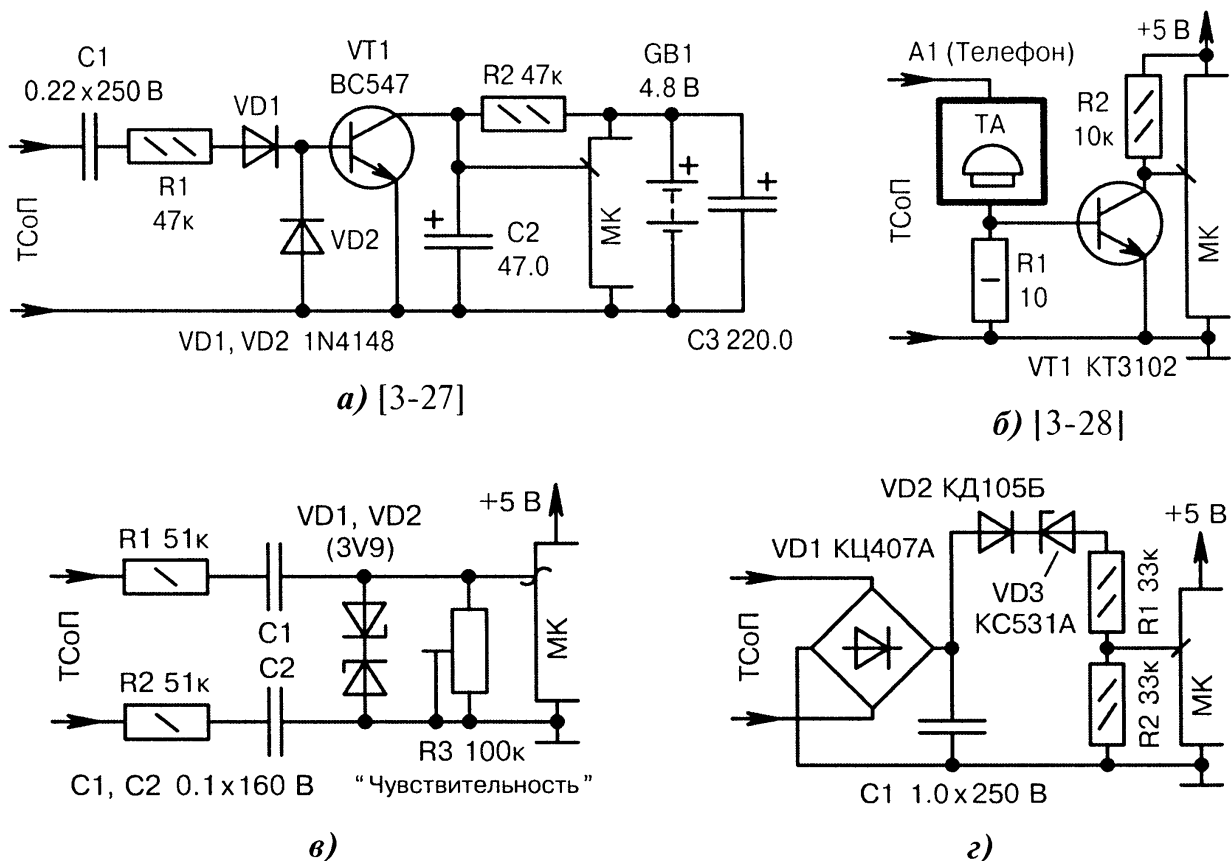
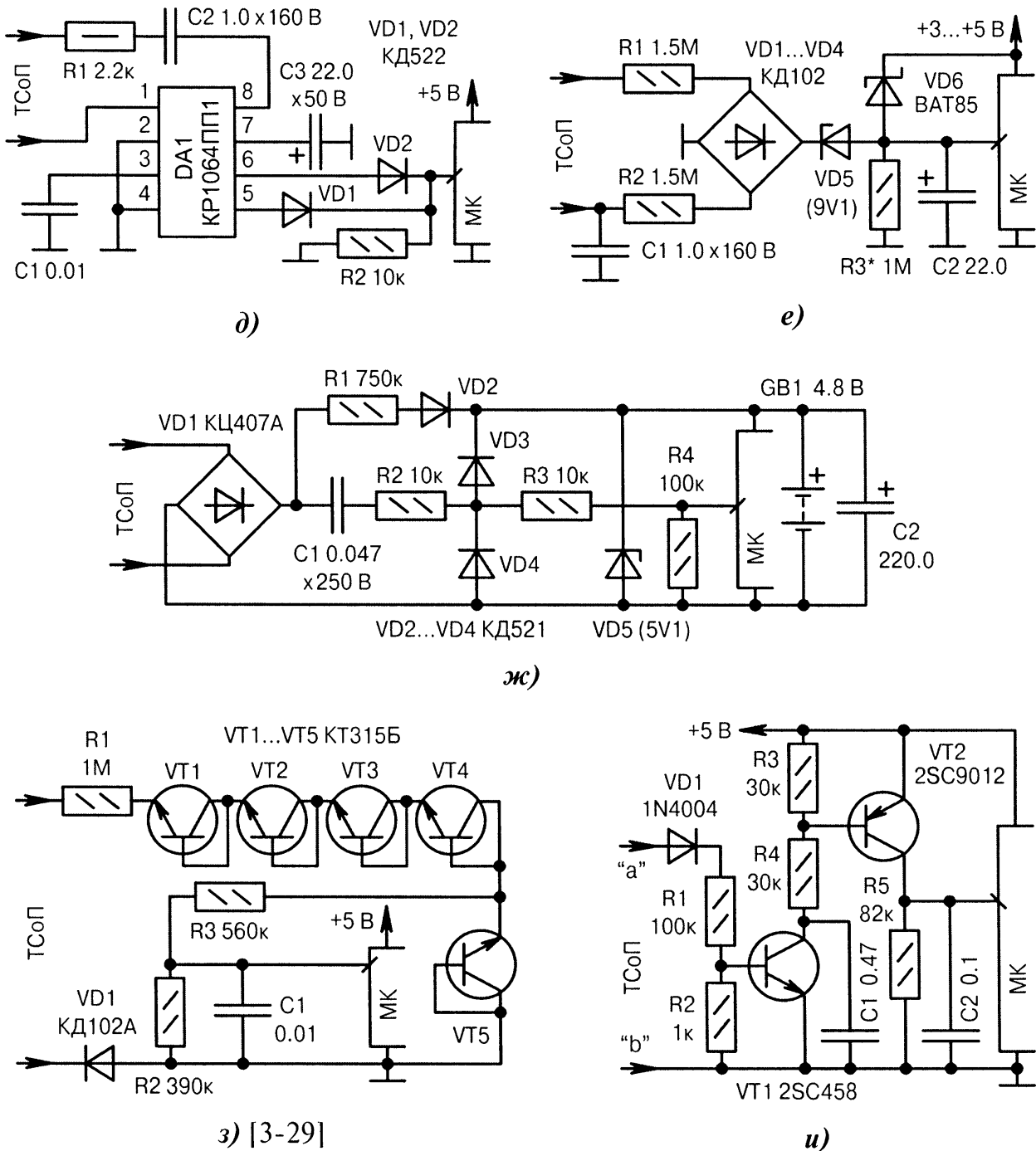


Рис. 3.14. Схемы приёма сигналов ТСоП без гальванической развязки (начало):

- а) сигнал вызова абонента («трель» телефонного звонка) открывает транзистор *VT1*;
- б) резистор *R1* служат датчиком тока, который протекает через телефонный аппарат *A1*;
- в) пример симметрирования входных цепей. Стабилитроны *VD1*, *VD2* ограничивают импульсные помехи. АЦП МК при слабых сигналах должен иметь внутренний усилитель;
- г) гашение избыточного напряжения стабилитроном *VD3* (31 В). Устройство не реагирует на смену полярности включения проводов «а», «б» ТСоП из-за диодного моста *VD1*; ⦿



⊙ **Рис. 3.14.** Схемы приёма сигналов TCoP без гальванической развязки (продолжение):

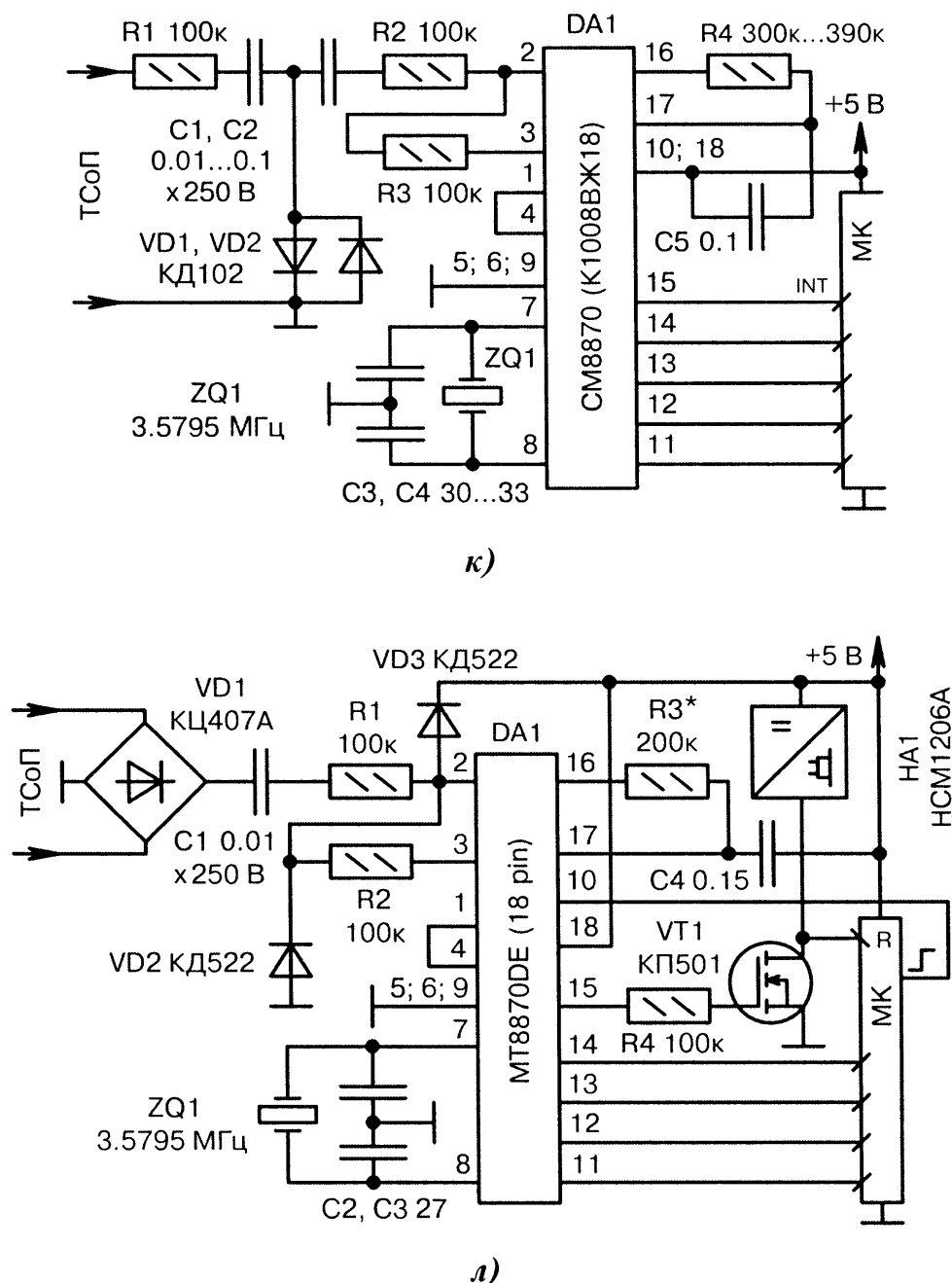
д) приём сигналов через стандартную «телефонную» микросхему DA1. Схемотехника аналогична входным цепям промышленных телефонных аппаратов;

е) резисторы  $R1$ ,  $R2$  обеспечивают большое входное сопротивление и низкий ток через защитные диоды МК. Резистором  $R3$  устанавливают чувствительность устройства. Стабилитрон  $VD1$  отпирается при большой амплитуде сигналов TCoP. Питание +5 В желательно батарейное;

ж) аккумулятор  $GB1$  обеспечивает питание для МК и одновременно подзаряжается от TCoP слабым током через элементы  $R1$ ,  $VD2$ ;

з) микромощный стабилизатор напряжения на транзисторах  $VT1...VT5$ , включённых инверсно (напряжение обратимого пробоя каждого из них около 7...10 В);

и) усилитель слабых звуковых сигналов, поступающих с телефонной линии. При неустойчивой работе следует подобрать полярность подключения проводов к TCoP; ⊙

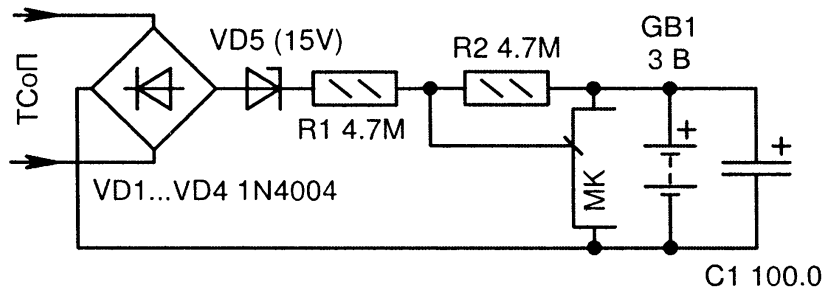


➤ **Рис. 3.14.** Схемы приёма сигналов ТСоП без гальванической развязки (*продолжение*):

к) приём двухтональных сигналов DTMF, передаваемых через ТСоП в следующих случаях: при частотном наборе номера, при прохождении информации АОН, при вводе сервисных команд путём донабора цифр на кнопках телефона. ВЫСОКИЙ уровень сигнала на выводе 15 микросхемы *DA1* (фирма California Micro Devices) означает факт обнаружения посылки DTMF. Какой именно символ передаётся «0»...«9», «\*», «#» — определяется по логическим уровням на выводах 11...14 микросхемы *DA1* в виде двоичного кода;

л) аналогично **Рис. 3.14, к**, но со звуковой индикацией факта приёма посылки DTMF (бuzzer *HA1*), с другим типом микросхемы *DA1* (фирма Mitel) и с возможностью блокировки её работы выставлением ВЫСОКОГО уровня на выходе МК. При неустойчивом приёме сигналов DTMF подбирают резистор *R3*. Следует учитывать, что микросхема *DA1* выпускается также в планарном SOP-корпусе с 20 выводами и с другой цоколёвкой выводов; ➤





м) [3-30]

⊖ Рис. 3.14. Схемы приёма сигналов ТСоП без гальванической развязки (окончание):

м) высокоомные резисторы  $R1$ ,  $R2$  обеспечивают экономичность устройства и хорошую развязку от ТСоП. Стабилитрон  $VD5$  служит пороговым элементом при переходе от режима ожидания к режиму входящего звонка. Конденсатор  $C1$  является стандартным накопителем энергии для батареи  $GB1$ .

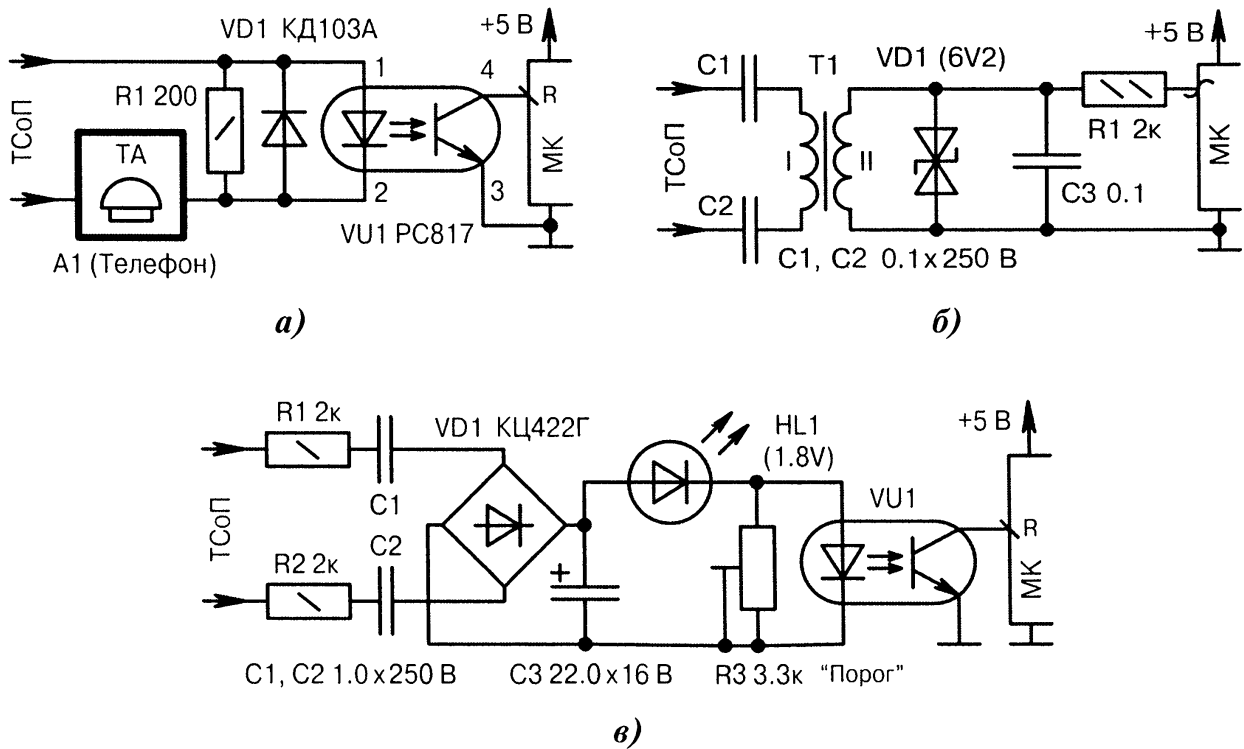


Рис. 3.15. Схемы приёма сигналов ТСоП с гальванической развязкой (начало):

а) элементы  $R1$ ,  $VD1$ ,  $VU1$  совместно с телефонным аппаратом  $A1$  включаются в разрыв провода «а» или «б» (возможно, что придется подобрать полярность присоединения). Гальваническую развязку обеспечивает оптопара  $VU1$ , её тип не критичен. Диод  $VD1$  защищает излучатель оптопары от подачи обратного напряжения;

б) трансформаторная развязка от ТСоП. Трансформатор  $T1$  — согласующий от радиотрансляционной точки. Его вторичная обмотка понижает напряжение, а двухсторонний стабилитрон  $VD1$  ограничивает пики сигнала;

в) симметричная входная часть с опторазвязкой. Подстроечным резистором  $R3$  устанавливают чувствительность устройства к вызывному сигналу ТСоП. Светодиод  $HL1$  визуализирует приход входящего звонка, а также моменты аварийных всплесков напряжения в линии; ⊖

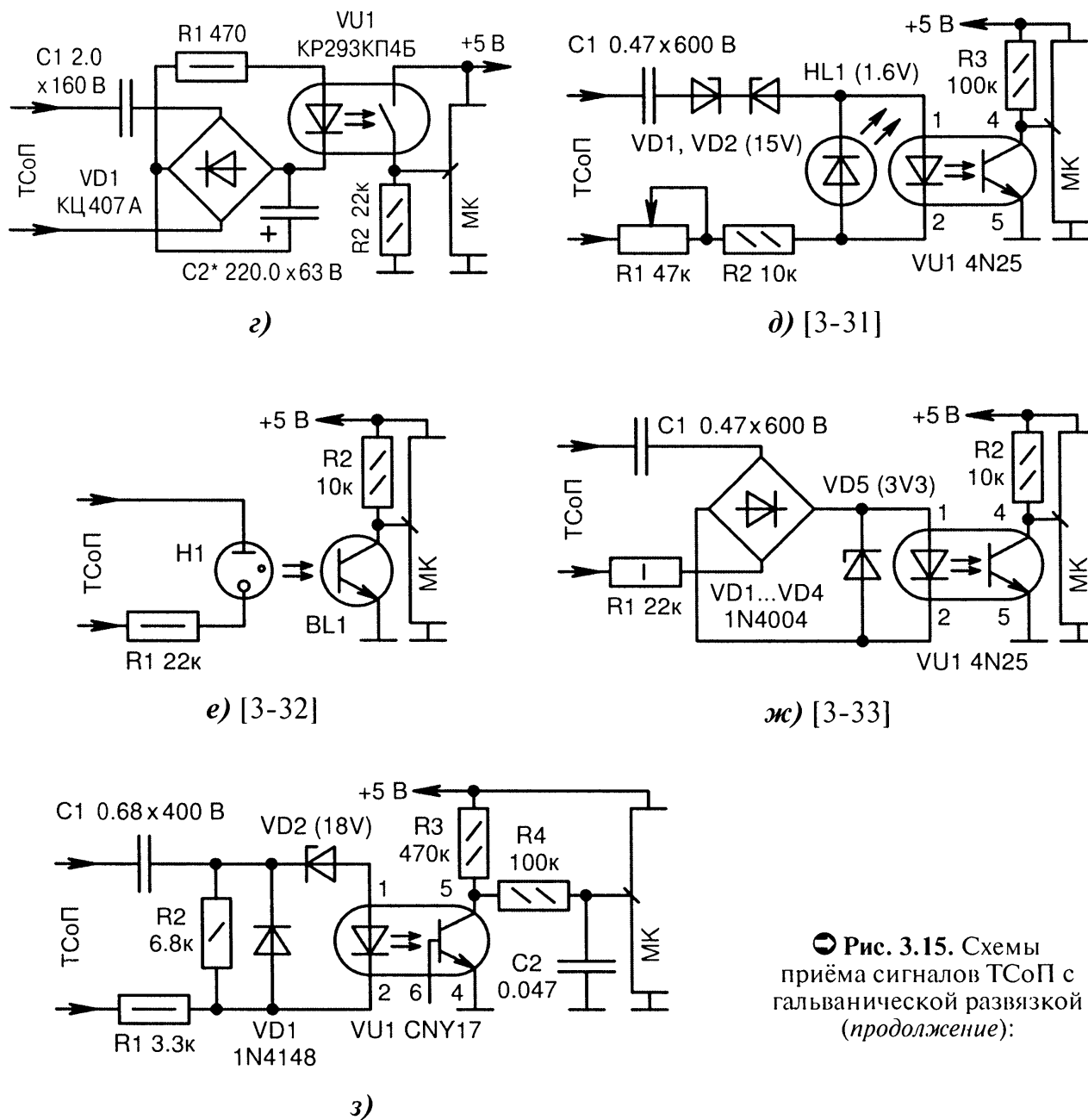


Рис. 3.15. Схемы приёма сигналов ТСоП с гальванической развязкой (продолжение):

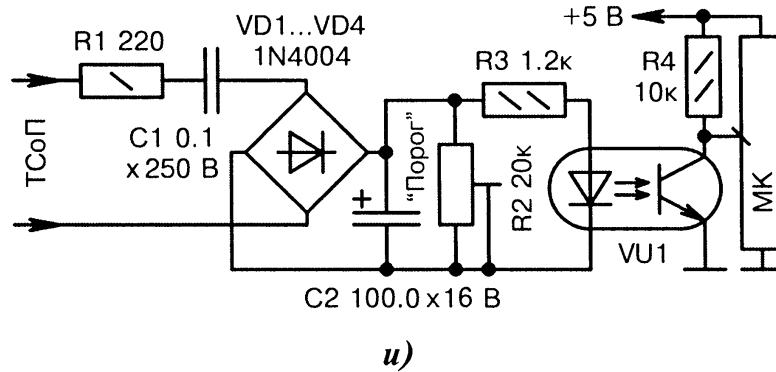
г) подсчёт числа длинных гудков в телефонной линии при входящем звонке. Гальваническая развязка на оптореле  $VU1$ . Программа работы МК не должна содержать ошибок, которые могут привести к перенастройке линии порта с режима входа в режим выхода с НИЗКИМ уровнем;

д) резистором  $R1$  устанавливается чувствительность устройства к высокому вызывному напряжению ТСоП. Светодиод  $HL1$  визуально индицирует приход сигналов вызова;

е) приём сигнала телефонного вызова с гальванической опторазвязкой на неоновой лампе  $H1$  (излучатель) и фототранзисторе  $BL1$  (приёмник). Элементы этой своеобразной оптопары должны находиться вблизи друг от друга, в пределах прямой видимости. Достоинство — очень высокое сопротивление изоляции, благодаря воздушному зазору между  $H1$  и  $BL1$ ;

ж) элементы  $C1$ ,  $R1$  служат балластным сопротивлением со стороны ТСоП при протекании импульсного тока через диод оптопары  $VU1$ . Стабилитрон  $VD5$  защищает излучатель оптопары от всплесков напряжения. Конденсатор  $C1$  может быть заменён аналогичным, сертифицированным на переменное напряжение 275 В;

з) низкочастотный фильтр  $R4$ ,  $C2$  и стабилитрон  $VD2$  снижают импульсные помехи; ➔



⊙ Рис. 3.15. Схемы приёма сигналов ТСоП с гальванической развязкой (окончание):

и) резистор  $R_2$  шунтирует ток, протекающий через диод оптопары  $VU1$ , и определяет пороговую чувствительность. Резистор  $R_1$  уменьшает начальный ток заряда конденсатора  $C_2$ .

### 3.1.10. Приём цифровых логических сигналов

Исторически, технологически и концептуально МК являются цифровыми приборами, следовательно, они должны уметь на равных общаться с себе подобными логическими микросхемами. На практике к МК чаще всего подключают цифровые микросхемы средней степени интеграции. Среди них можно условно выделить три поколения [3-34].

*Первое поколение* (Табл. 3.3) берёт начало от базовых ТТЛ-микросхем серии 74xx/54xx фирмы Texas Instruments. Дальнейшие модификации отличались от прародителя пониженным энергопотреблением, повышенным быстродействием, расширенной номенклатурой типовых элементов. По традиции в названиях новых микросхем были оставлены числа «74» (коммерческое применение) и «54» (военная техника), но с другими входящими буквами, например, 74LS, 74AS и т.д. Из КМОП-микросхем к первому поколению относятся серии 4000, 4000A.

Таблица 3.3. Параметры серий логических микросхем первого поколения

Серия микросхем	$U_{пит}$ [В]	$t_{вкл}$ [нс]	$I_{вых\ max}$ [мА]	$I_{потр}$ [мА]	Аналог (страны СНГ)
74xx/54xx	4.75...5.25	22	-0.4/+16	22	К155/133
74Sxx/54Sxx	4.75...5.25	5	-1/+20	36	К531/530
74LSxx/54LSxx	4.75...5.25	15	-0.4/+8	4.4	К555/533
74Fxx/54Fxx	4.5...5.5	6	-1/+20	2.8	КР1531
74ASxx/54ASxx	4.5...5.5	4.5	-2/+20	3.2	КР1530
74ALS	4.5...5.5	11	-0.4/+8	3	КР1533
4000	8.55...9.45	200	-0.2/+0.2	0.05	К176/164
4000A	3...15	160	-0.25/+0.5	0.04	К561/564

*Второе поколение* (Табл. 3.4) связывают с расцветом КМОП-технологии, когда удалось сделать первую серию микросхем 74НСхххх, совместимую с ТТЛ по функциональному назначению и цоколёвке выводов. Основное достоинство — сверхнизкое потребление тока в статике и высокое быстродействие в динамике. Дополнительными преимуществами являются широкий диапазон питающих напряжений и симметричность токов нагрузки.

Таблица 3.4. Параметры серий логических микросхем второго поколения

Серия микросхем	$U_{\text{пит}}$ [В]	$t_{\text{вкл}}$ [нс]	$I_{\text{вых макс}}$ [мА]	Аналог (страны СНГ)
74АСxxxx	1.5...5.5	6.6	-24/+24	КР1554
74АСТxxxx	4.5...5.5	9.5	-24/+24	КР1594
74НСxxxx	2...6	20	-4/+4	К1564
74НСТxxxx	4.5...5.5	25	-4/+4	—
74АВТ	4.5...5.5	4.1	-15/+20	—
4000В	3...18	90	-4/+4	КР1561

Третье поколение (Табл. 3.5) обязано своим появлением крупным технологическим достижениям последнего десятилетия. Новые производственные допуски изготовления транзисторов и пониженное напряжение питания от 1.2...1.4 до 2.7...3.6 В были заимствованы от современных СБИС, ПЛИС, МК.

Таблица 3.5. Параметры серий логических микросхем третьего поколения

Серия микросхем	$U_{\text{пит}}$ [В]	$t_{\text{вкл}}$ [нс]	$I_{\text{вых макс}}$ [мА]	Аналог (страны СНГ)
74LV/74VHC	2...5.5	13	-6/+6	1N74VHC
74LVC	1.65...3.6	4.3	-24/+24	—
74LVT	2.7...3.6	4	-32/+64	—
74LVX	2...3.6	11	-4/+4	1N74LV
74VCX	1.4...3.6	2.8	-24/+24	—

Что дальше? На очереди переход к *четвёртому поколению* логических микросхем, для которых нижний предел напряжения питания начинается с 0.9 В. Именно такие микросхемы идеально подходят для работы с гальваническими батареями, ведь они в начале эксплуатации имеют напряжение на зажимах 1.5...1.6 В, а в конце — 0.9 В. В микроконтроллерной технике первым «сверхнизковольтным» МК широкого применения стал С8051F930 фирмы Silicon Laboratories.

На сегодняшний день в секторе микросхем стандартной логики второго и третьего поколения активно позиционируются фирмы: Texas Instruments, Fairchild, STMicroelectronics, ON Semiconductor, «Интеграл». Интересно отметить, что морально устаревшие микросхемы первого поколения всё ещё не сняты с производства и выпускаются небольшими партиями для дооснащения и ремонта.

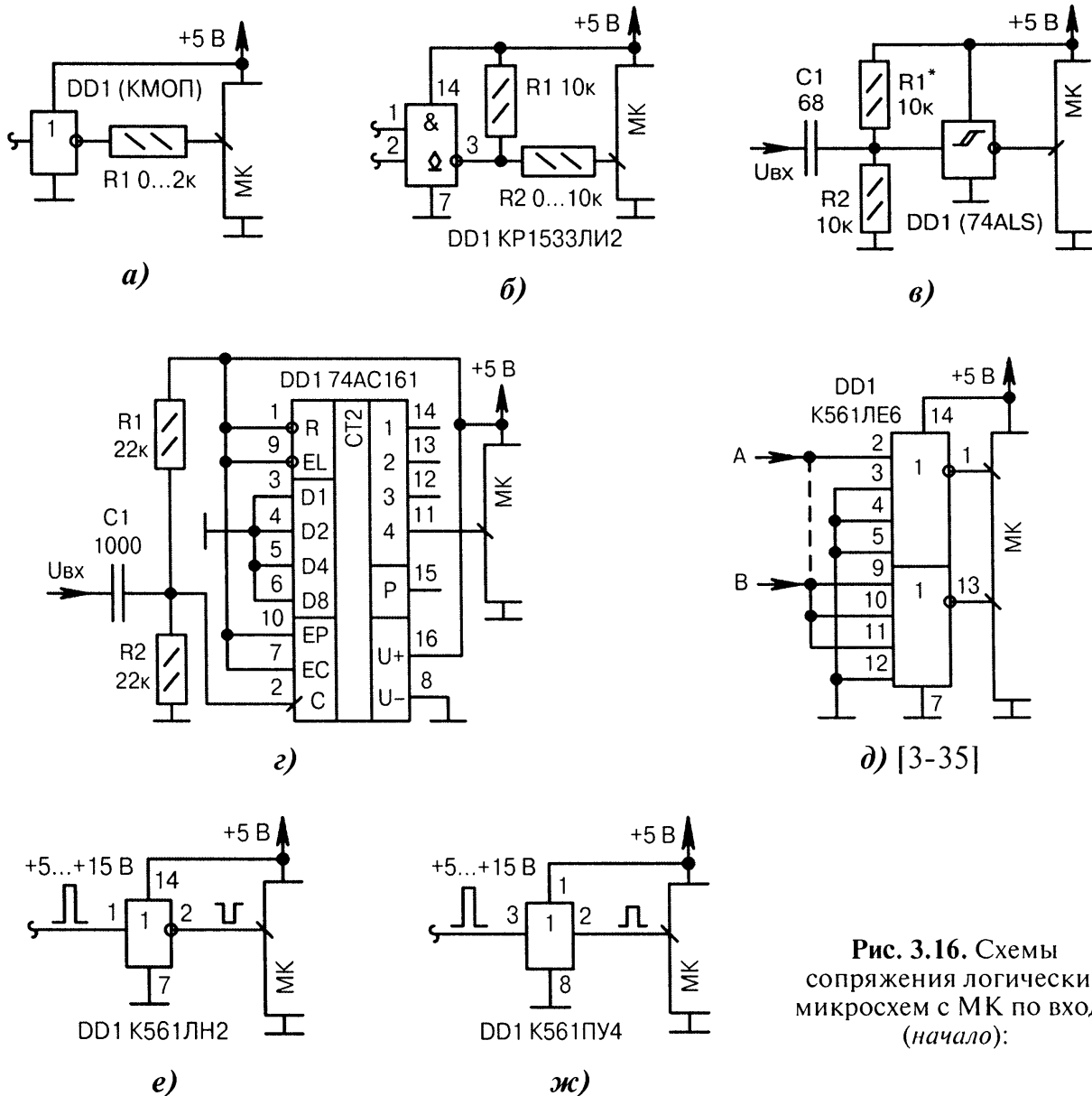
Основной проблемой, с которой сталкивается разработчик при подключении стандартных логических элементов к МК, является сопряжение уровней. Необходимо, чтобы НИЗКИЙ и ВЫСОКИЙ уровни соответствовали допустимым для конкретного типа МК и не выходили за граничные пределы. От чего это зависит?

Во-первых, от серии подключаемой микросхемы — ТТЛ, МОП или КМОП.

Во-вторых, от питания, если оно разное у логической микросхемы и у МК.

В-третьих, от передаточной характеристики линии порта МК (обычная линейная зависимость или с характеристикой триггера Шмитта).

На Рис. 3.16, а...м показаны схемы сопряжения стандартных логических микросхем с МК по входу. Предполагается, что все линии портов МК примерно эквивалентны по электрическим параметрам обычным вентилям из КМОП-серий 74НС/74АС с триггерами Шмитта на входе.



**Рис. 3.16.** Схемы сопряжения логических микросхем с МК по входу (начало):

а) сопряжение «КМОП — КМОП» производится напрямую ( $R_1 = 0$ ) или с антизвонным резистором  $R_1$  при больших частотах, расстояниях или помехах;

б) сопряжение «ТТЛ — КМОП» в случае, если ТТЛ-микросхема имеет выход с открытым коллектором. Чем меньше сопротивление резистора  $R_1$ , тем круче фронты сигнала;

в) триггер Шмитта  $DD1$  выполняет функцию преобразователя сигналов произвольной формы в импульсную последовательность. Подбором сопротивлений в делителе  $R_1, R_2$  можно выставить ограничение сигнала, близкое к симметричному;

г) микросхема  $DD1$  подключается напрямую к МК и используется как делитель входной частоты 30...120 МГц на 16 (возможно на 8; 4; 2 с других выводов  $DD1$ , соответственно, 12; 13; 14);

д) верхний и нижний элементы «4ИЛИ-НЕ» микросхемы  $DD1$  имеют отличающиеся друг от друга пороги срабатывания. Это связано с разным числом параллельно включённых входов, для линии «А» — один, для линии «В» — три. Если провести связь, как показано на схеме пунктиром, то можно программно измерить длительность фронта входного импульса по двум порогам;

е) сопряжение с КМОП-инвертором  $DD1$ , допускающим повышенную амплитуду на входе;

ж) сопряжение с КМОП-повторителем  $DD1$ , допускающим повышенную амплитуду на входе.

Возможная замена микросхемы  $DD1$  — КР1561ПУ4; ●

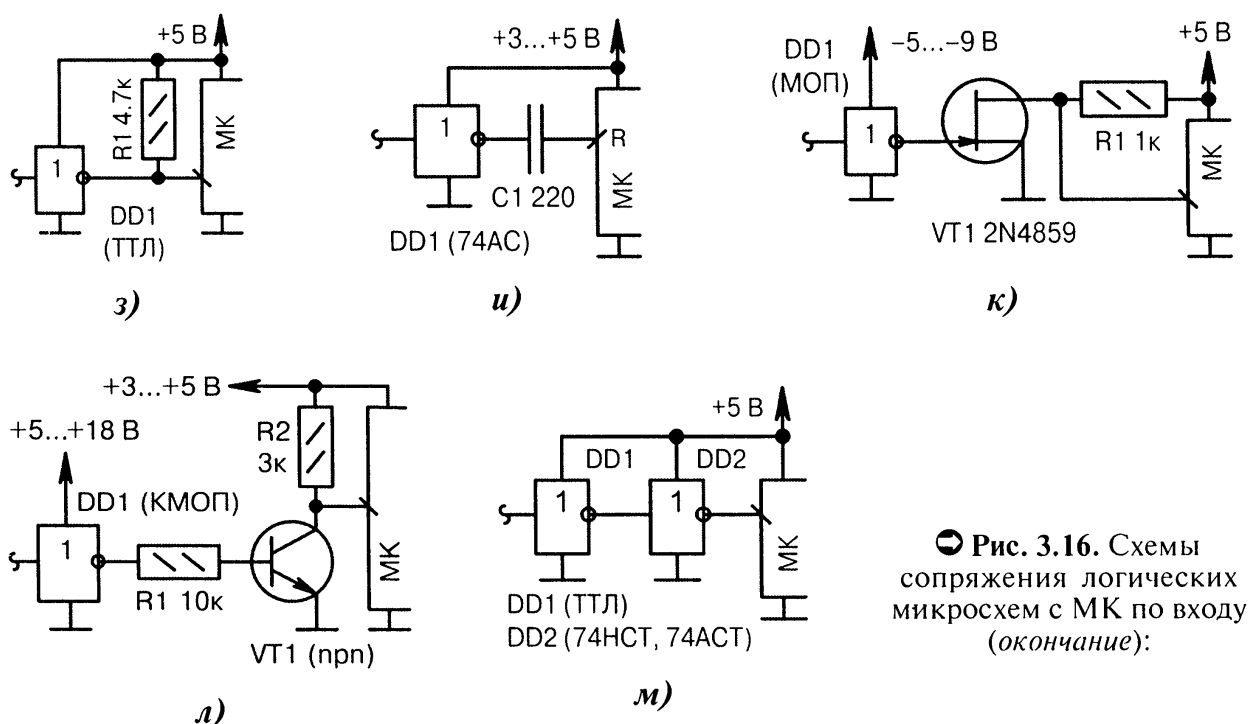


Рис. 3.16. Схемы сопряжения логических микросхем с МК по входу (окончание):

з) сопряжение «ТТЛ — КМОП» (стандартные вентили) производится с подтягивающим резистором  $R1$  сопротивлением  $1...10$  кОм. Иногда резистор  $R1$  может отсутствовать, что проверяется экспериментально по устойчивости функционирования;

и) конденсатор  $C1$  укорачивает длительность входного сигнала, поскольку образуется дифференцирующая цепочка с внутренним «pull-up» резистором МК;

к) сопряжение «МОП — КМОП». Это может понадобиться при работе с устаревшей БИС  $DD1$ , которая питается от источника отрицательного напряжения;

л) согласование уровней на ключевом транзисторе  $VT1$  при разных питаниях вентиля  $DD1$  и МК. В программе надо учесть дополнительную «транзисторную» инверсию сигнала;

м) сопряжение «ТТЛ — КМОП» ( $DD1$  и МК) производится через буферный КМОП-элемент  $DD2$ , имеющий входные пороги, совместимые с ТТЛ, а выходные логические уровни, совместимые с КМОП.

### 3.1.11. Приём шумоподобных сигналов

Иногда в процессе работы микроконтроллерного устройства необходимо произвести случайный выбор одного из нескольких равноценных вариантов. Для этого обычно используется программный генератор чисел, которые повторяются с очень большим периодом. Такой числовой ряд называют псевдослучайной последовательностью или, сокращенно, ПСП.

Тем не менее, если требуются *абсолютно* случайные числа, то лучше применить внешний аппаратный генератор шумоподобных сигналов. Принцип его работы заключается в усилении тепловых хаотических шумов, возникающих при работе полупроводниковых стабилитронов и транзисторов.

Известны также программно-аппаратные генераторы «случайных» чисел, использующие принцип «орёл-решка». Например, запускается программа, которая увеличивает значение счётчика с частотой несколько сотен тысяч раз в секунду. Человек имеет в руках контрольную кнопку, которая может остановить счётчик в

произвольный момент времени. Число, оставшееся в счётчике после остановки, математическому прогнозу практически не поддаётся.

Строго говоря, подобные устройства генерируют не случайные, а трудно предсказуемые числа, зависящие от множества мелких факторов, например, от скорости реакции человека, от степени износа контактов кнопки и т.д. В математической статистике доказывается, что система, обладающая слабой устойчивостью к малым возмущениям, превращается в стохастическую, т.е. близкую к случайной.

На Рис. 3.17, а...г показаны схемы подключения генераторов шума к МК.

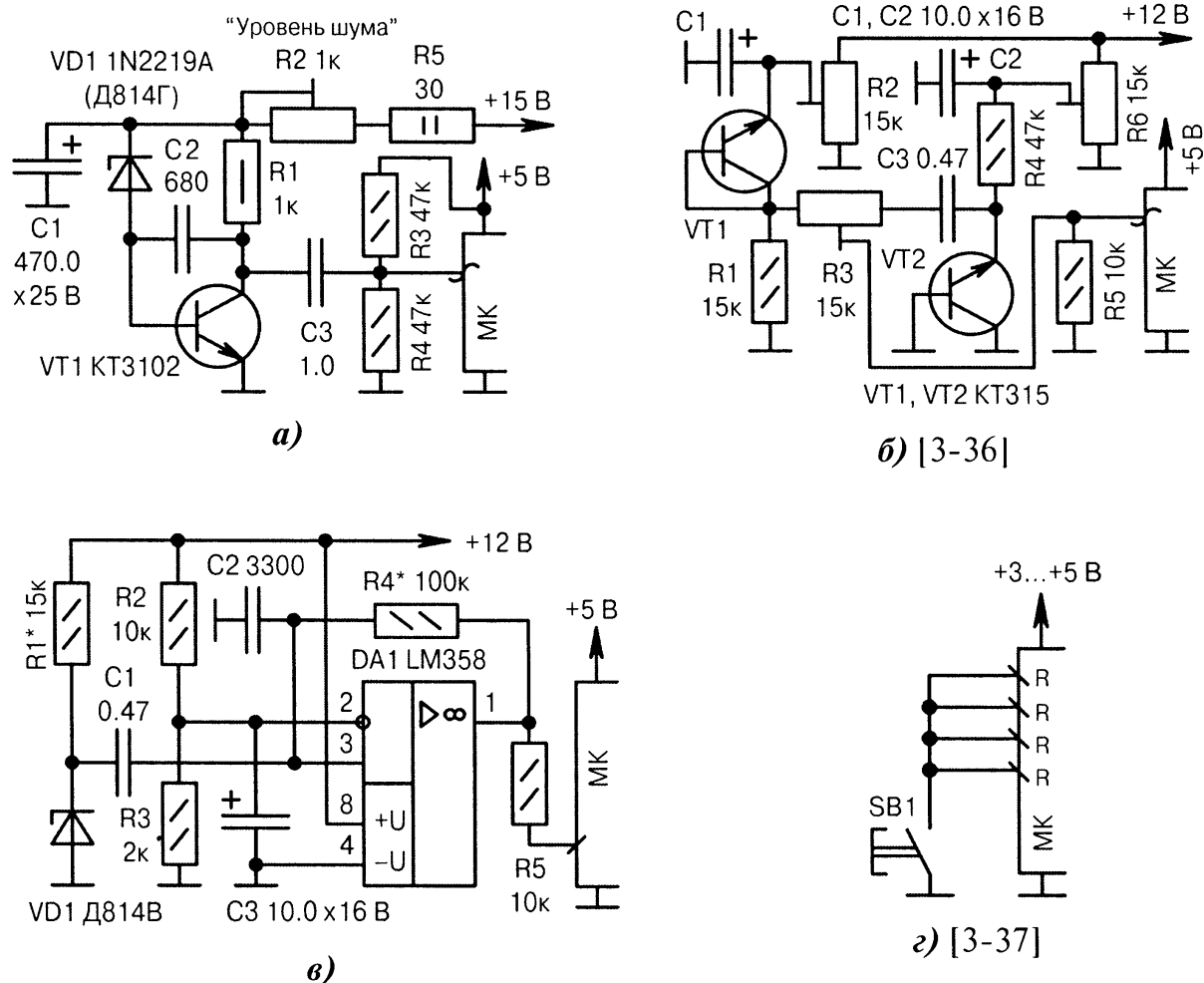


Рис. 3.17. Схемы подключения генераторов шума к МК:

а) уровень шума, генерируемого стабилитроном  $VD1$ , регулируется резистором  $R2$  и усиливается транзистором  $VT1$ . Для вывода стабилитрона в рабочую область требуется питание +15 В;

б) схема Р. Шиманяна. Используются два генератора шума на транзисторных аналогах стабилитрона ( $VT1$ ,  $VT2$ ). Резисторами  $R2$ ,  $R6$  производят выбор рабочей точки, а резистором  $R3$  — суммирование для устранения асимметрии шумового напряжения;

в) генератор шума на стабилитроне  $VD1$  с усилителем на микросхеме  $DA1$ . Резисторами  $R1$ ,  $R4$  подбирается оптимальная амплитуда шума. Стабилитрон  $VD1$  требует питание +12 В;

г) программно-аппаратный генератор трудно предсказуемых чисел с использованием человека, нажимающего кнопку  $SB1$  в случайный момент времени. Линии МК запараллелены и содержат внутренние «pull-up» резисторы, чтобы увеличить ток через кнопку  $SB1$  (для повышения надёжности срабатывания контактов).

## 3.2. Входные усилители сигналов

### 3.2.1. Усилители на транзисторах

Сигналы, поступающие от датчиков, как правило, имеют малую амплитуду, недостаточную для непосредственной обработки в МК. Требуются входные усилители напряжения. Простейшие из них строятся на маломощных транзисторах общего применения (Табл. 3.6). Их конкретные названия и частотные свойства особой роли не играют. Это связано с тем, что параметры современных кремниевых транзисторов примерно одинаковы у разных фирм-изготовителей, а быстродействие — на порядок-два выше, чем может обработать МК.

Таблица 3.6. Типовые параметры маломощных биполярных транзисторов

Маломощные транзисторы	$U_{КЭ\text{ MAX}}$ [В]	$P_{К\text{ MAX}}$ [Вт]	$I_{К\text{ MAX}}$ [А]	$h_{21Э}$	Примеры транзисторов
С малыми $I_{К}$	40...45	0.3...0.6	0.1...0.2	50...300	2N3904 ( $n-p-n$ ), 2N3906 ( $p-n-p$ )
Со средними $I_{К}$	40...80	0.5...0.6	0.5...0.6	50...300	2N2222 ( $n-p-n$ ), 2N4402 ( $p-n-p$ )

На Рис. 3.18, а...п показаны схемы входных транзисторных усилителей. При большом уровне сигналов они превращаются в формирователи прямоугольных импульсов с высокой крутизной фронтов.

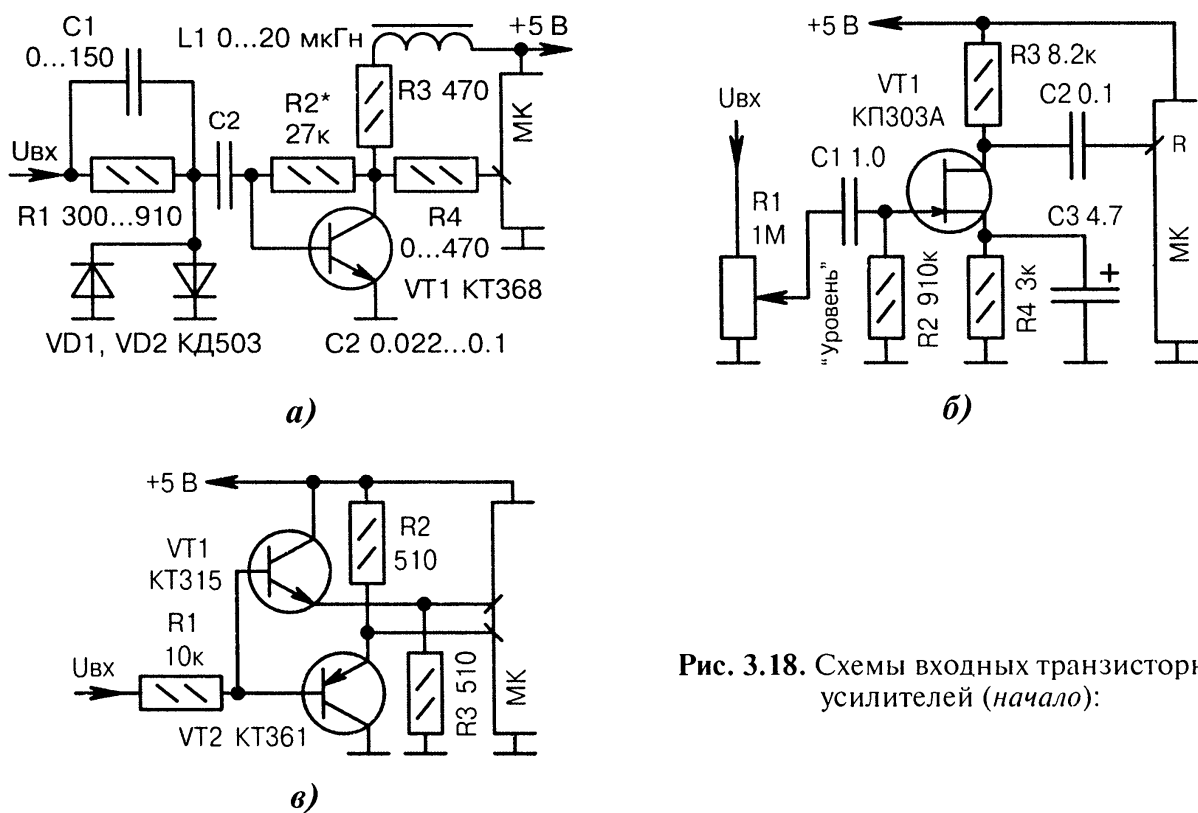
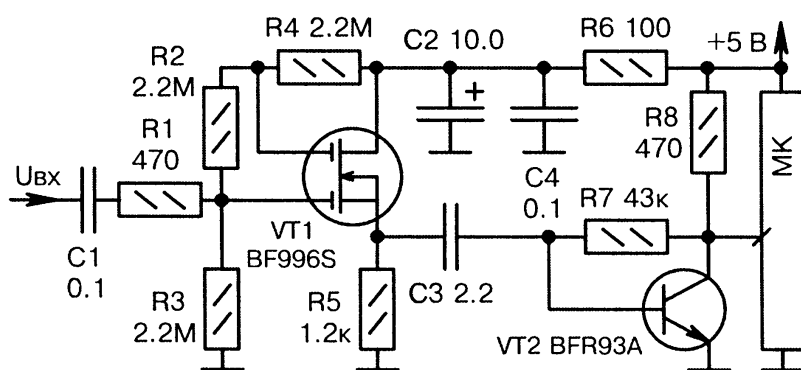


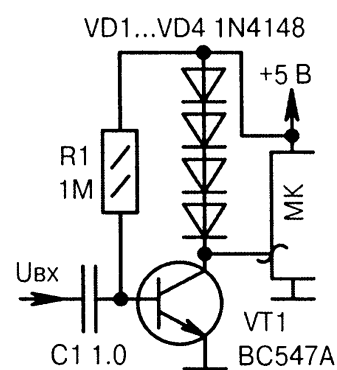
Рис. 3.18. Схемы входных транзисторных усилителей (начало):

- а) диоды  $VD1, VD2$  ограничивают входной сигнал по амплитуде. Цепочки  $R1, C1$  и  $R3, L1$  служат для коррекции фронтов сигнала. Чувствительность 200 мВ, максимальная входная частота 10...30 МГц. Чтобы понизить частоту сигнала, вместо резистора  $R4$  ставят цифровой делитель;
- б) резистором  $R1$  плавно регулируется чувствительность. Допустимая частота до 1 МГц;
- в) входной сигнал  $U_{вх}$  проходит через два противофазных канала на две линии МК; Ⓞ

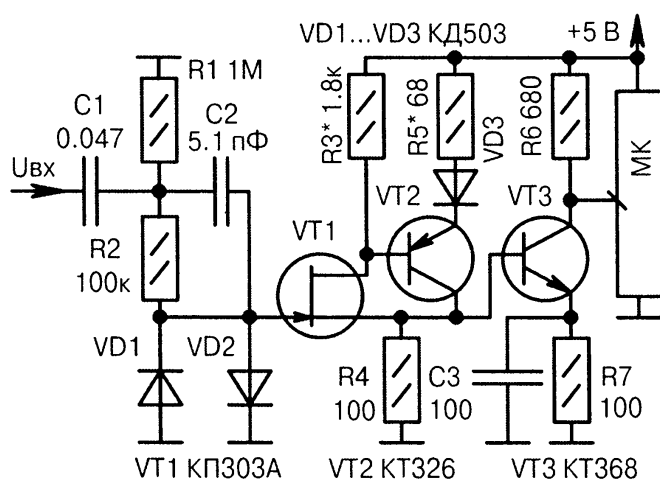




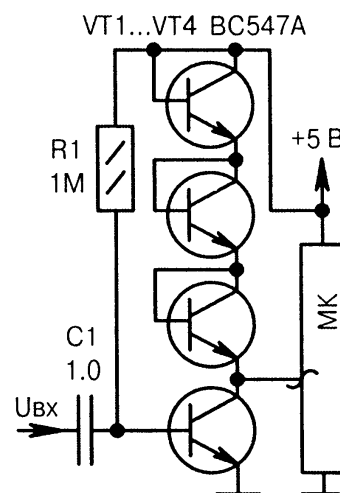
е) [3-38]



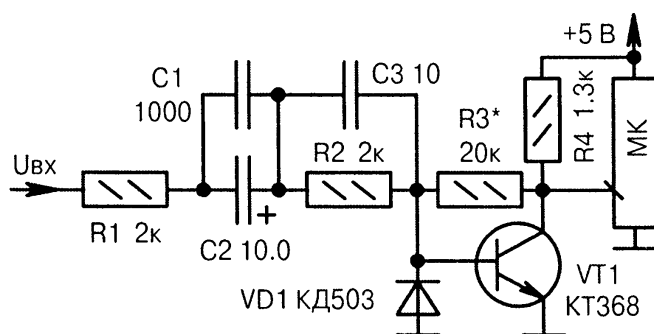
д) [3-39]



е) [3-40]



ж) [3-39]



з)

⊙ Рис. 3.18. Схемы входных транзисторных усилителей (продолжение):

г) широкополосный усилитель с диапазоном частот 30 Гц ... 100 МГц. Входное сопротивление не менее 1 МОм на частоте 1 кГц, чувствительность 75 мВ;

д) усилитель напряжения С. Чекчеева. Особенности: высокая линейность и низкий уровень гармоник. Коэффициент усиления определяется числом последовательно включённых диодов, в данном случае  $K_y = 4$ ;

е) широкополосный усилитель-ограничитель. Чувствительность 50 мВ, диапазон частот до 40 МГц. Для ВЧ-сигналов (более 1...5 МГц) на входе МК надо ставить цифровой делитель;

ж) аналогично Рис. 3.18, д, но коэффициент усиления определяется числом последовательно включённых транзисторов, в данном случае  $K_y = 3$ ;

з) элементы  $R1, R2, C1...C3$  корректируют АЧХ в области низких и высоких частот. Резистором  $R3$  выбирается оптимальная рабочая точка транзистора  $VT1$ . Диод  $VD1$  — защитный; ⊙

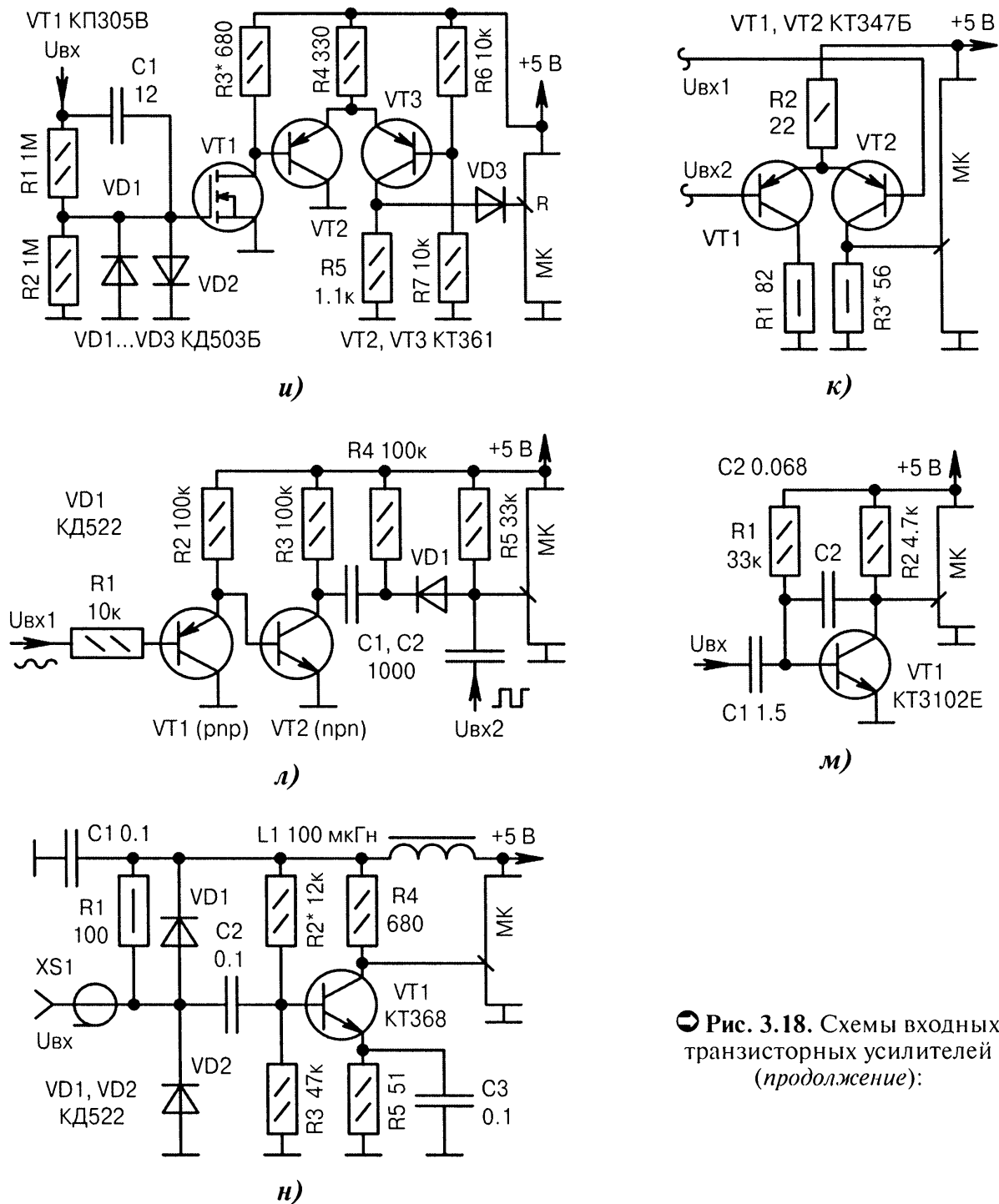


Рис. 3.18. Схемы входных транзисторных усилителей (продолжение):

- и) транзисторы  $VT2, VT3$  включены по схеме «токовое зеркало». Диоды  $VD1, VD2$  ограничивают входной сигнал по амплитуде «сверху» и «снизу». Диод  $VD3$  отсекает шумы и помехи;
- к) дифференциальный импульсный усилитель на транзисторах  $VT1, VT2$ ;
- л) на вход МК поступает усиленный аналоговый сигнал ( $U_{вх1}$ ) и цифровая последовательность ( $U_{вх2}$ ). Элементы  $C1, C2, R4, R5, VD1$  служат для развязки каналов;
- м) усилитель с простейшим полосовым фильтром на транзисторе  $VT1$ . Конденсатор  $C1$  «срежет» амплитуду сигналов на низких, а конденсатор  $C2$  — на высоких частотах;
- н) через резистор  $R1$  подаётся питание +5 В на внешнее устройство, подключаемое к разъёму  $XS1$ . ВЧ-сигнал от внешнего устройства усиливается транзистором  $VT1$ . Входное сопротивление со стороны разъема  $XS1$  по высокой частоте составляет примерно 100 Ом (это номинал резистора  $R1$ ), при этом условно считается, что конденсатор  $C1$  по переменному току закорочен; Ⓣ

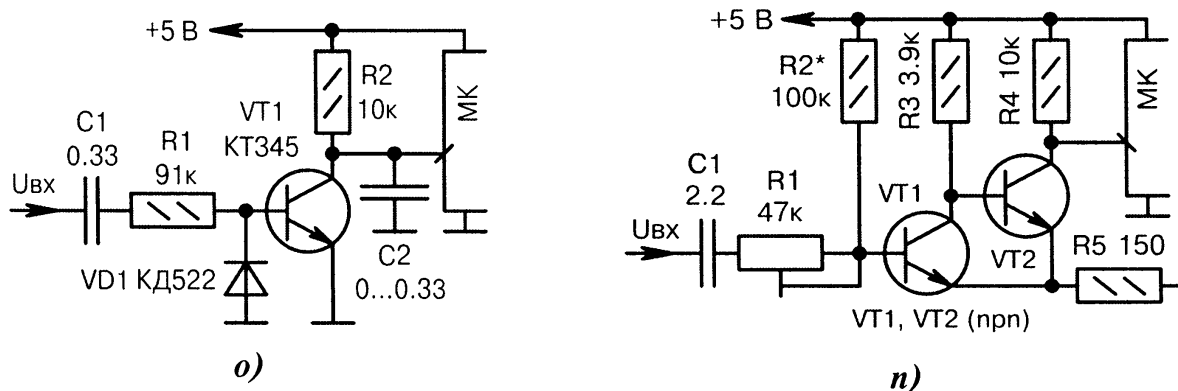


Рис. 3.18. Схемы входных транзисторных усилителей (окончание):

о) транзистор  $VT1$  находится в режиме отсечки и открывается только положительной полуволной входного сигнала. При больших номиналах элементов  $R2$ ,  $C2$  и высокой частоте приёма, на входе МК будет постоянно удерживаться НИЗКИЙ уровень (детектор наличия сигнала);

п) транзисторный усилитель с повышенным входным сопротивлением (определяется резистором  $R5$  и параметром  $h_{21Э}$  транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$ ). Резистором  $R1$  задаётся чувствительность.

### 3.2.2. Усилители на микросхемах

Чтобы увеличить амплитуду очень слабых входных сигналов, применяют микросхемы интегральных ОУ. Коэффициент усиления и питающие напряжения ОУ выбираются такими, чтобы на вход МК поступали сигналы в диапазоне цифровых (НИЗКИЙ/ВЫСОКИЙ) или аналоговых ( $+0.05... V_{CC} - 0.05$  В) уровней.

Из широкораспространённых ОУ часто используют «классические» LM358, LM324, LM2902, TL062, допускающие работу как при однополярном питании  $+3...+30$  В, так и при двухполярном питании  $\pm(1.5...15)$  В. Типовой ток потребления  $1...2$  мА; ток нагрузки до  $40...50$  мА; коэффициент усиления не менее 100000.

Для снижения амплитудных искажений рекомендуется выбирать специальные типы ОУ, допускающих размах сигналов «rail-to-rail» по входу и (или) «rail-to-rail» по выводу. Для справки, «rail» в переводе с английского — это «перила, поручни, рельсы», в электронике — это пороговые напряжения вблизи GND и  $V_{CC}$ .

На Рис. 3.19, а...д показаны схемы усилителей сигналов на одиночных ОУ, а на Рис. 3.20, а...ж — усилителей сигналов, состоящих из нескольких ОУ.

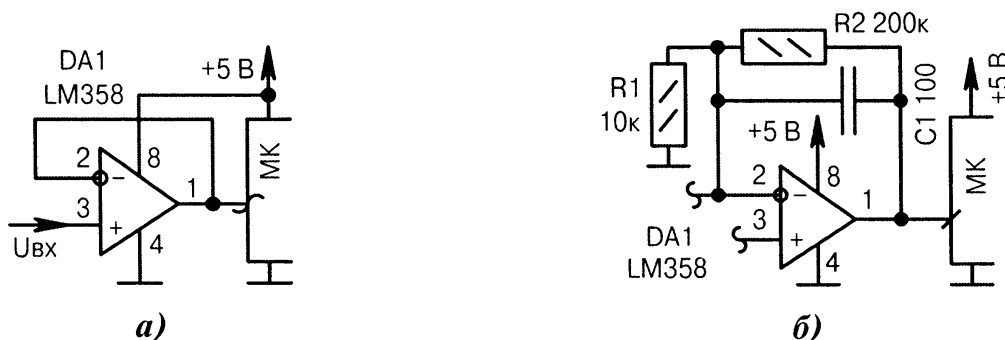
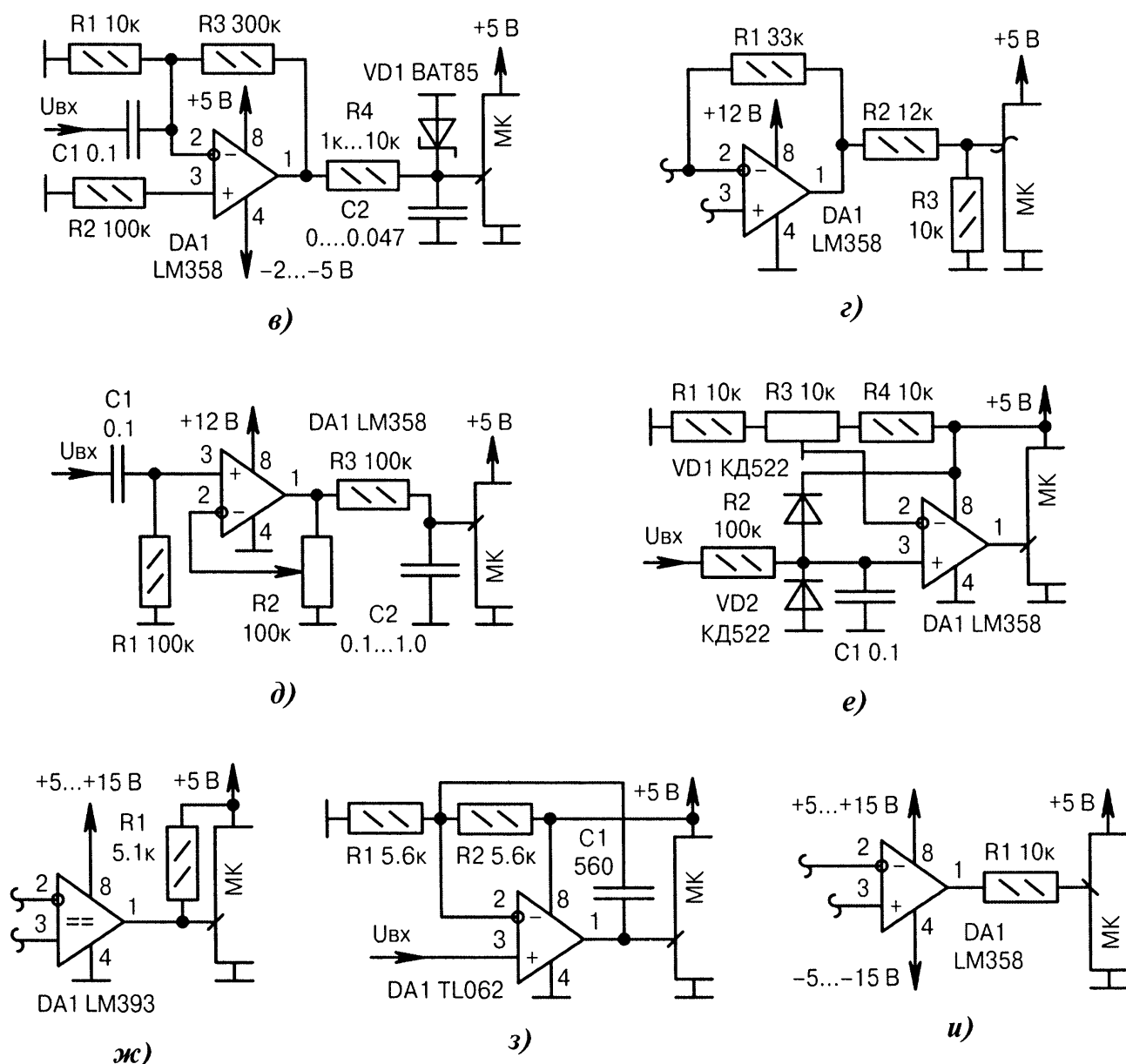


Рис. 3.19. Схемы усилителей сигналов на одиночных ОУ (начало):

а) высокое входное сопротивление за счёт повторителя напряжения на микросхеме  $DA1$ ;

б) прямое соединение ОУ  $DA1$  с МК применяется, если они питаются от единого источника положительного напряжения  $+3...+5$  В при отсутствии отрицательного питания ОУ; ◐



● Рис. 3.19. Схемы усилителей сигналов на одиночных ОУ (продолжение):

в) защитный диод  $VD1$  может отсутствовать, если ток, протекающий через резистор  $R4$  при отрицательном напряжении на выходе ОУ, меньше 1 мА. Это ток через внутренний диод МК;

г) делитель на резисторах  $R2$ ,  $R3$  снижает максимальное напряжение, подаваемое на линию МК с выхода ОУ  $DA1$ , с +12 до +5 В (резисторное согласование уровней);

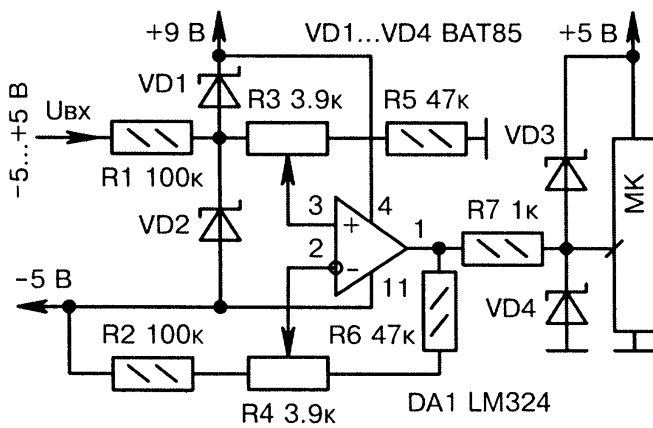
д) резистор  $R2$  регулирует усиление каскада на микросхеме  $DA1$ . Цепочка  $R3$ ,  $C2$  сглаживает «шорохи», возникающие при механическом вращении движка резистора  $R2$ ;

е) ОУ на микросхеме  $DA1$  не имеет обратных связей и выполняет функцию компаратора. Порог регулируется резистором  $R3$ , элементы защиты —  $R2$ ,  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $C1$ ;

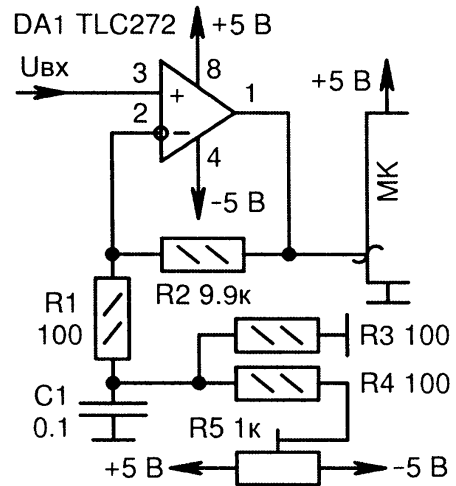
ж) резистор  $R1$  — это нагрузка выхода интегрального компаратора  $DA1$ , имеющего открытый коллектор. Возможные замены — LM392N, LM311;

з) ОУ  $DA1$  выполняет функцию компаратора, сравнивающего входной сигнал с напряжением +2.5 В (делитель  $R1$ ,  $R2$ ). Конденсатор  $C1$  устраняет самовозбуждение на высоких частотах;

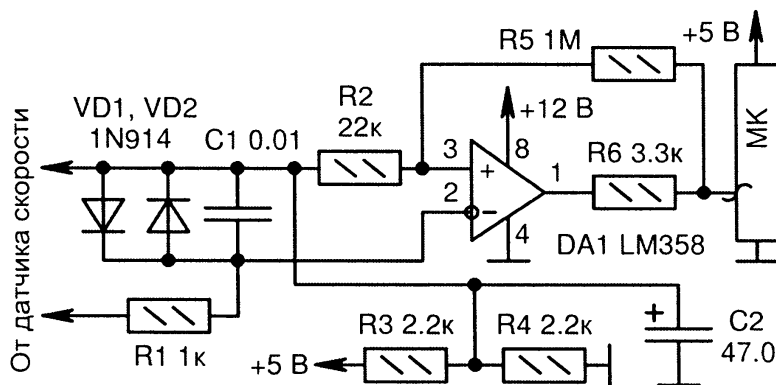
и) резистор  $R1$  обязателен при питании ОУ  $DA1$  от напряжений больше, чем +5 В, и меньше, чем -5 В. Этот резистор ограничивает ток, протекающий через внутренние защитные диоды МК при большом положительном и при большом отрицательном напряжении на выходе ОУ; ●



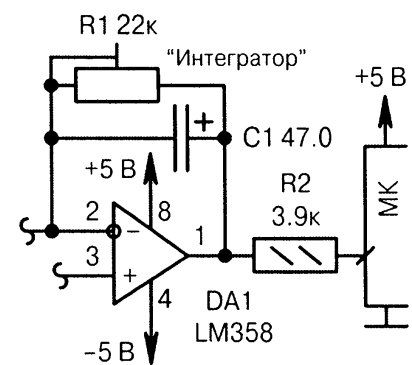
к) [3-41]



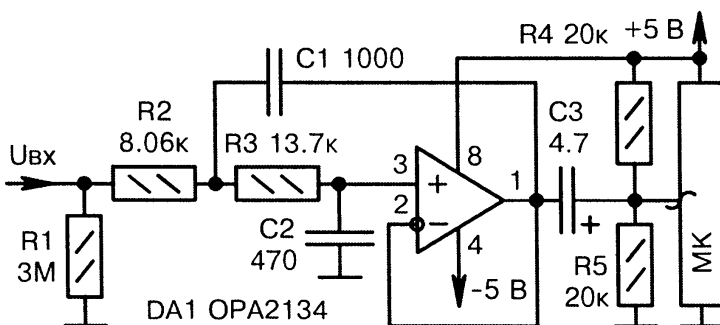
л) [3-42]



м) [3-43]



н)



о) [3-44]

Рис. 3.19. Схемы усилителей сигналов на одиночных ОУ (продолжение):

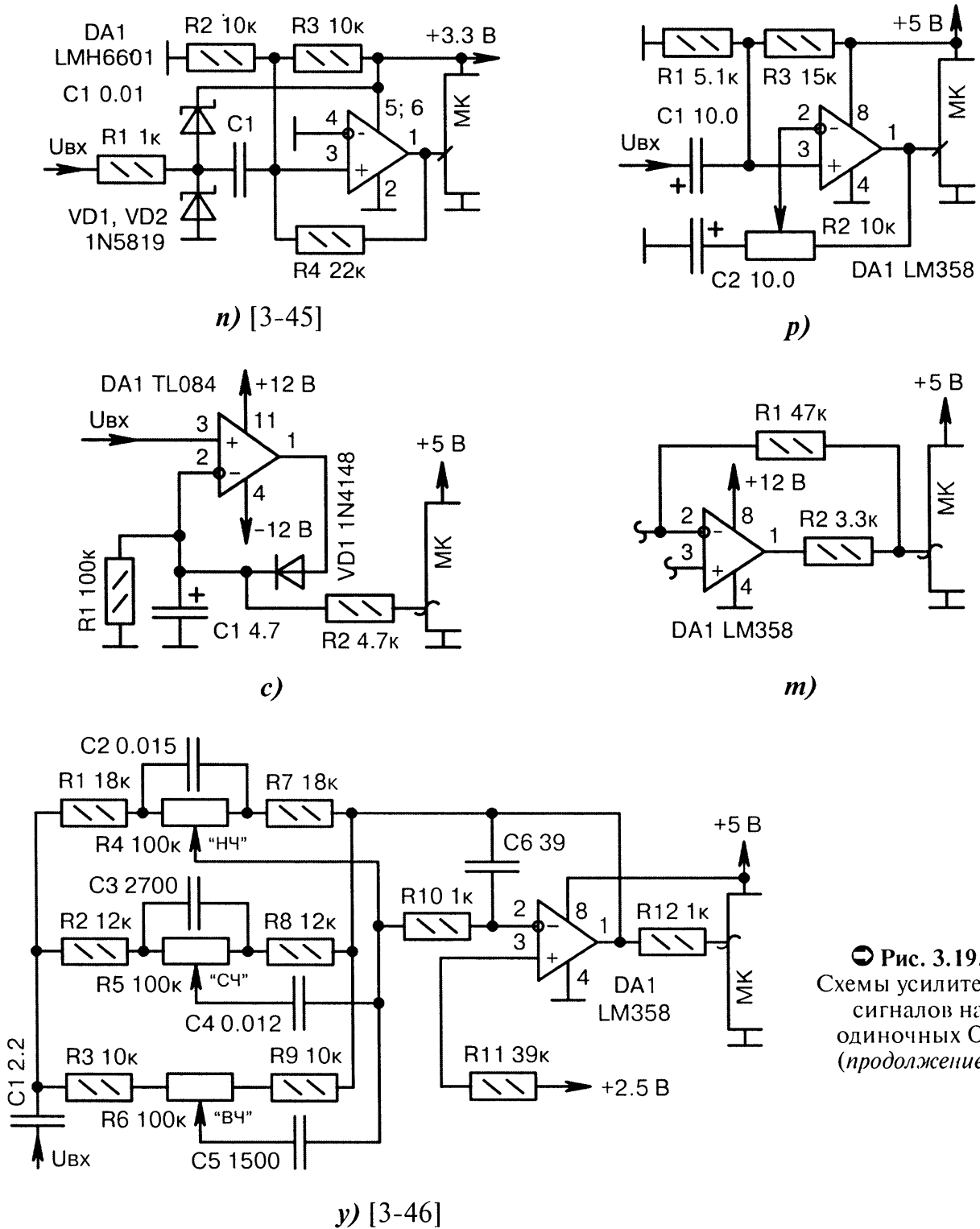
к) преобразователь уровней: на входе  $-5...+5$  В, на выходе  $0...+5$  В. Резисторами  $R3$ ,  $R4$  подбирается точная центровка и коэффициент ослабления сигнала, приходящего к МК;

л) резистором  $R5$  регулируется постоянная составляющая на входе МК;

м) сигнал верхнего входа от датчика скорости «привязан» к уровню  $+2.5$  В через делитель  $R3$ ,  $R4$ . Диоды  $VD1$ ,  $VD2$  — защитные, конденсаторы  $C1$ ,  $C2$  фильтрующие;

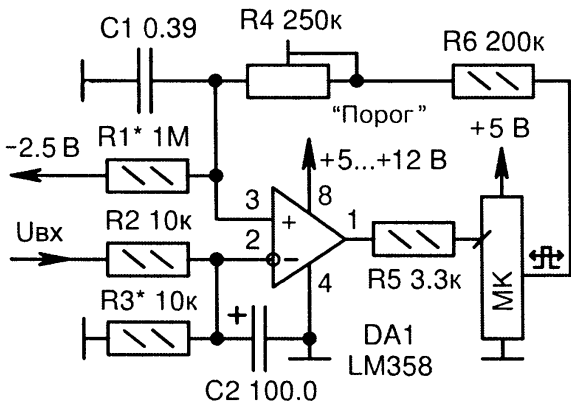
н) резистор  $R2$  защищает МК от отрицательного напряжения  $-5$  В, которое может появиться на выходе  $DA1$ . Если движок резистора  $R1$  перевести в крайнее правое положение, то  $DA1$  из интегратора превращается в повторитель напряжения;

о) входной сигнал проходит через активный ФНЧ с частотой среза  $22$  кГц. Если амплитуда на входе АЦП МК больше, чем  $0...+5$  В, то надо последовательно поставить резистор  $1...10$  кОм; ◉

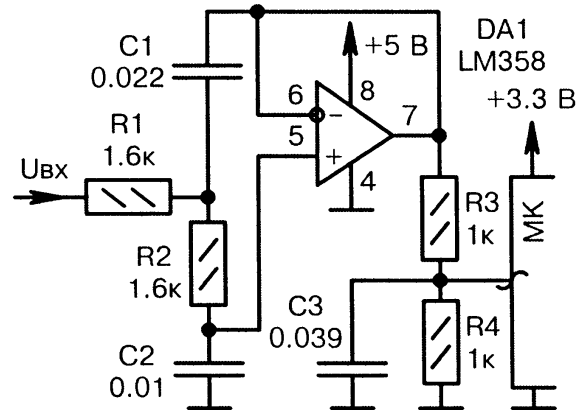


⊖ Рис. 3.19. Схемы усилителей сигналов на одиночных ОУ (продолжение):

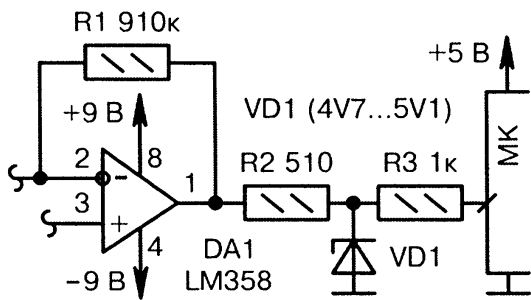
- п) входной усилитель выполнен на высокоскоростном ОУ *DA1* и имеет защиту от всплесков напряжения с помощью диодов Шоттки *VD1*, *VD2*. Диапазон частот до 10 МГц;
- р) регулировка чувствительности (усиления) переменным резистором *R2*;
- с) диод *VD1* не пропускает отрицательную полуволну напряжения. Резистор *R2* ограничивает ток через внутренний диод МК при амплитуде на выходе *DA1* больше, чем +5 В;
- т) резистор обратной связи *R1*, в отличие от аналогичных схем, соединяется с защитным резистором *R2* на входе МК, а не на выходе ОУ *DA1*;
- у) трёхполосный регулятор тембра с коррекцией АЧХ на низких (*R4*), средних (*R5*) и верхних (*R6*) частотах. Напряжение +2.5 В может подаваться от ИОН МК; ⊖



ф) [3-47]



х) [3-48]



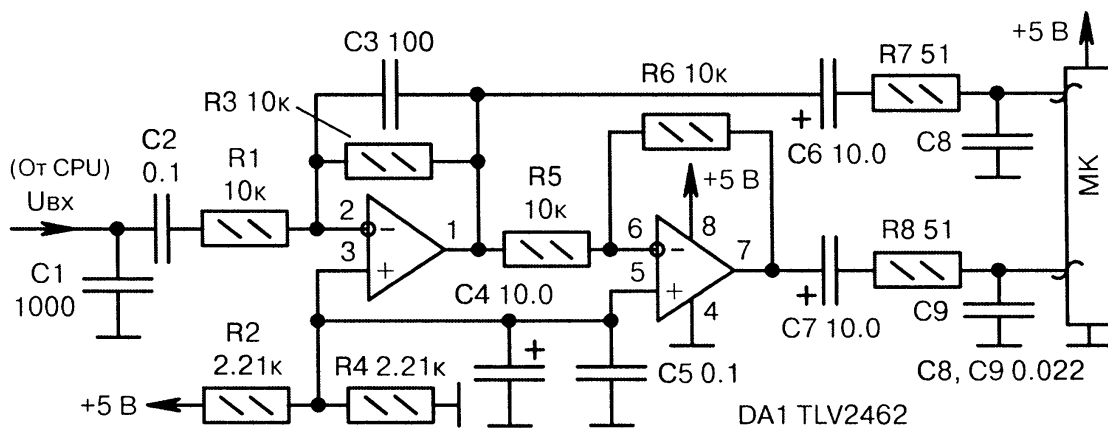
ц)

Рис. 3.19. Схемы усилителей сигналов на одиночных ОУ (окончание):

ф) усилитель *DA1* является компаратором, порог срабатывания которого определяется резистором *R4*. На выводе 3 микросхемы *DA1* суммируются отрицательное (резистор *R1*) и положительное (резисторы *R4*, *R6*) напряжения. Конденсатор *C1* сглаживает пульсации сигнала ШИМ, генерируемого с выхода МК;

х) активный ФНЧ на микросхеме *DA1* дополняется пассивным ФНЧ на элементах *R3*, *C3*. Делитель *R3*, *R4* согласует уровни сигналов, поскольку у *DA1* и МК разное питание;

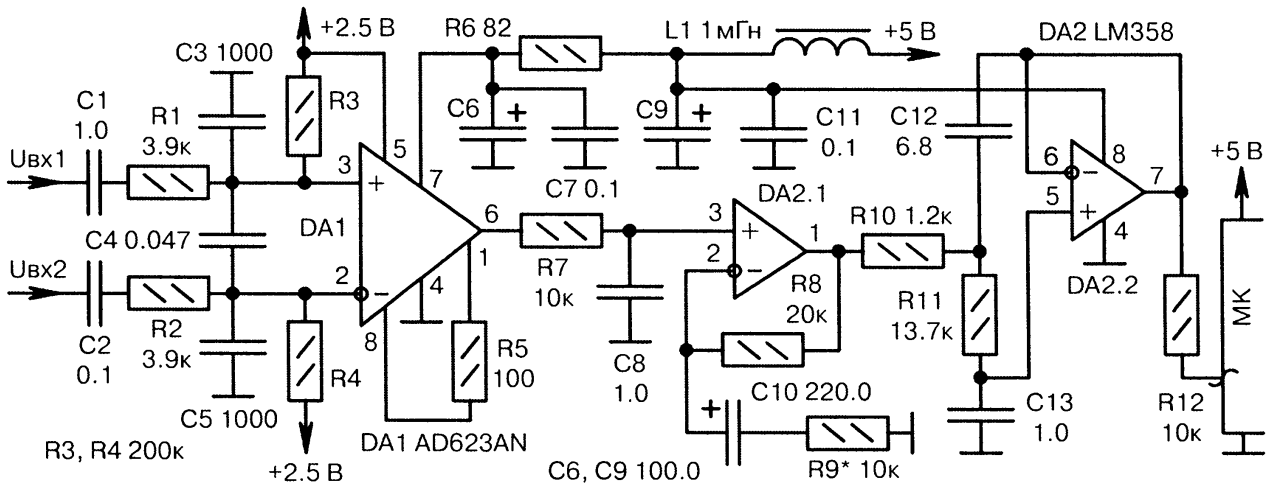
ц) защита входа МК стабилитроном *VD1* и резисторами *R2*, *R3*, что необходимо при высоком двухполярном напряжении питания ОУ *DA1*.



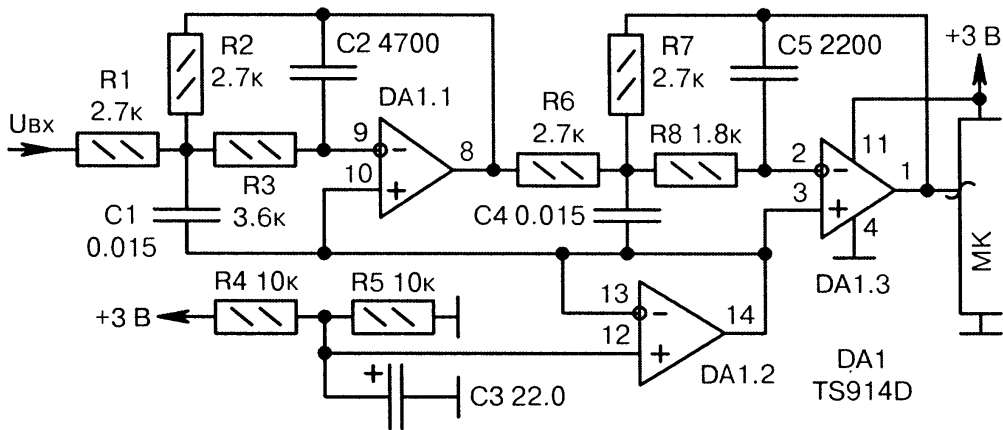
а) [3-49]

Рис. 3.20. Схемы усилителей сигналов на нескольких ОУ (начало):

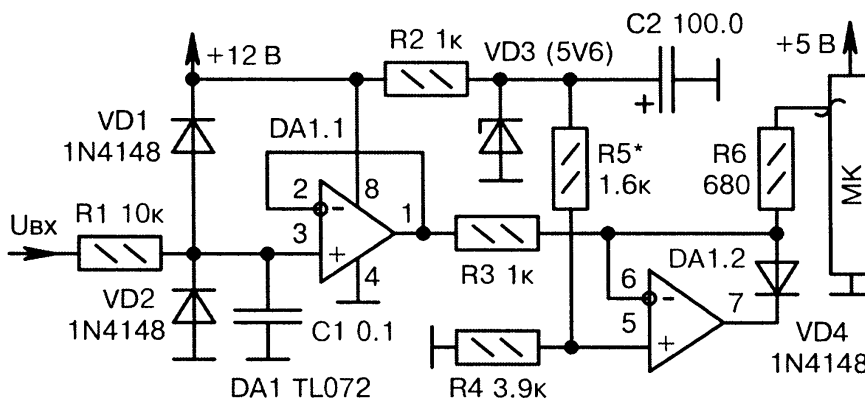
а) на входы МК поступают сигналы, сдвинутые противофазно левой и правой половинами ОУ *DA1*. Входной сигнал  $U_{вх}$  поступает с линейного выхода звуковой карты компьютера; ●



б) [3-50]



в)



г) [3-51]

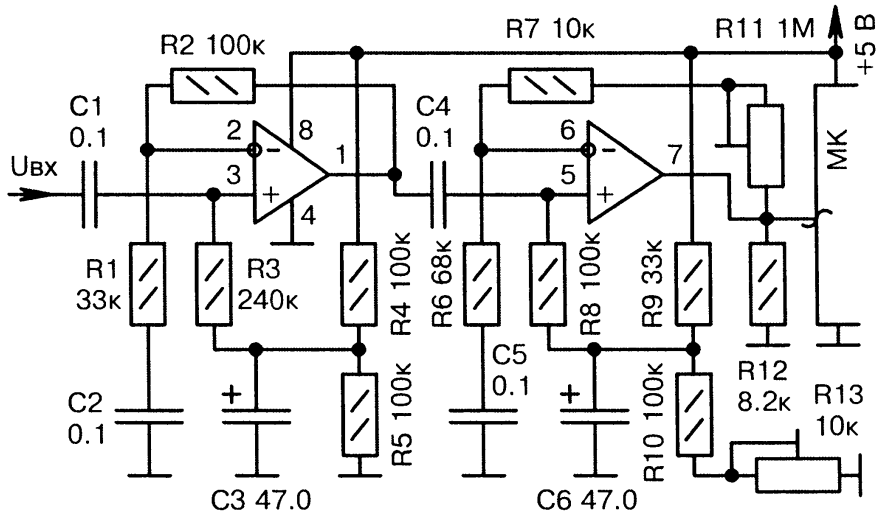
● Рис. 3.20. Схемы усилителей сигналов на нескольких ОУ (продолжение):

б) DA1 — это точный дифференциальный усилитель, который принимает сигналы с двух датчиков кардиографа. На ОУ DA2 выполнен активный ФНЧ;

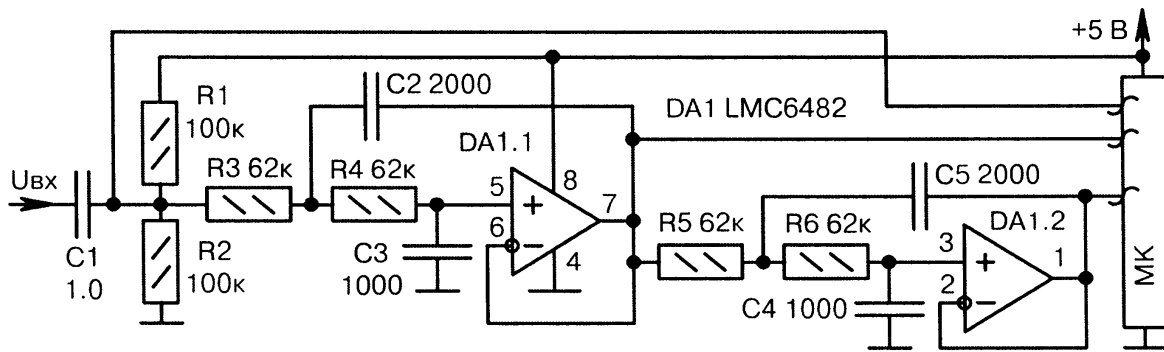
в) активный ФНЧ с характеристикой Бесселя и частотой среза 3.4 кГц. Особенность — повторитель напряжения DA1.2 снижает импеданс в средней точке ОУ DA1.1, DA1.3;

г) DA1.1 — это буфер, DA1.2 — инвертирующий компаратор с порогом включения около +4 В (определяется делителем R4, R5). При срабатывании компаратора открывается диод VD4; ●

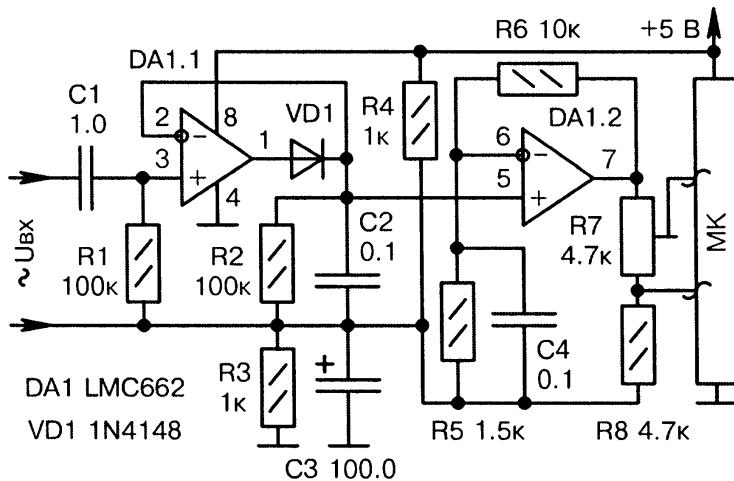




д) [3-52]



е)



ж) [3-53]

Рис. 3.20. Схемы усилителей сигналов на нескольких ОУ (окончание):

д) усилитель звуковых сигналов от звукоснимателя электрогитары ( $R_{13}$  — симметрия);

е) на верхний, средний и нижний входы МК поступают, соответственно, исходный сигнал, прошедший одну ступень фильтрации и прошедший две ступени фильтрации. Частота среза ФНЧ регулируется элементами  $R_3...R_6$ ,  $C_2...C_5$ , при этом должны выполняться условия:  $R_3 = R_4 = R_5 = R_6$  и  $C_2 = 2C_3$ ,  $C_5 = 2C_4$ ;

ж) измеритель пульсаций входного напряжения. Для повышения точности следует использовать АЦП МК в дифференциальном режиме.

### 3.2.3. Усилители на транзисторах и микросхемах

Симбиоз транзисторов и микросхем в усилительных каскадах, подключаемых к МК, приводит к интересным результатам, в частности, к улучшению параметров. Различают две основные архитектуры построения «симбиозных» схем:

- первой располагается микросхема, затем транзистор. Функции транзистора заключаются в повышении крутизны фронтов сигнала, защите МК от перенапряжений, согласовании уровней, инверсии (Рис. 3.21, а...г);
- первым располагается транзистор (группа транзисторов), затем микросхема. Эта раскладка типична для входных цепей электронных частотомеров, в которых используются цифровые делители частоты (Рис. 3.22, а...ж).

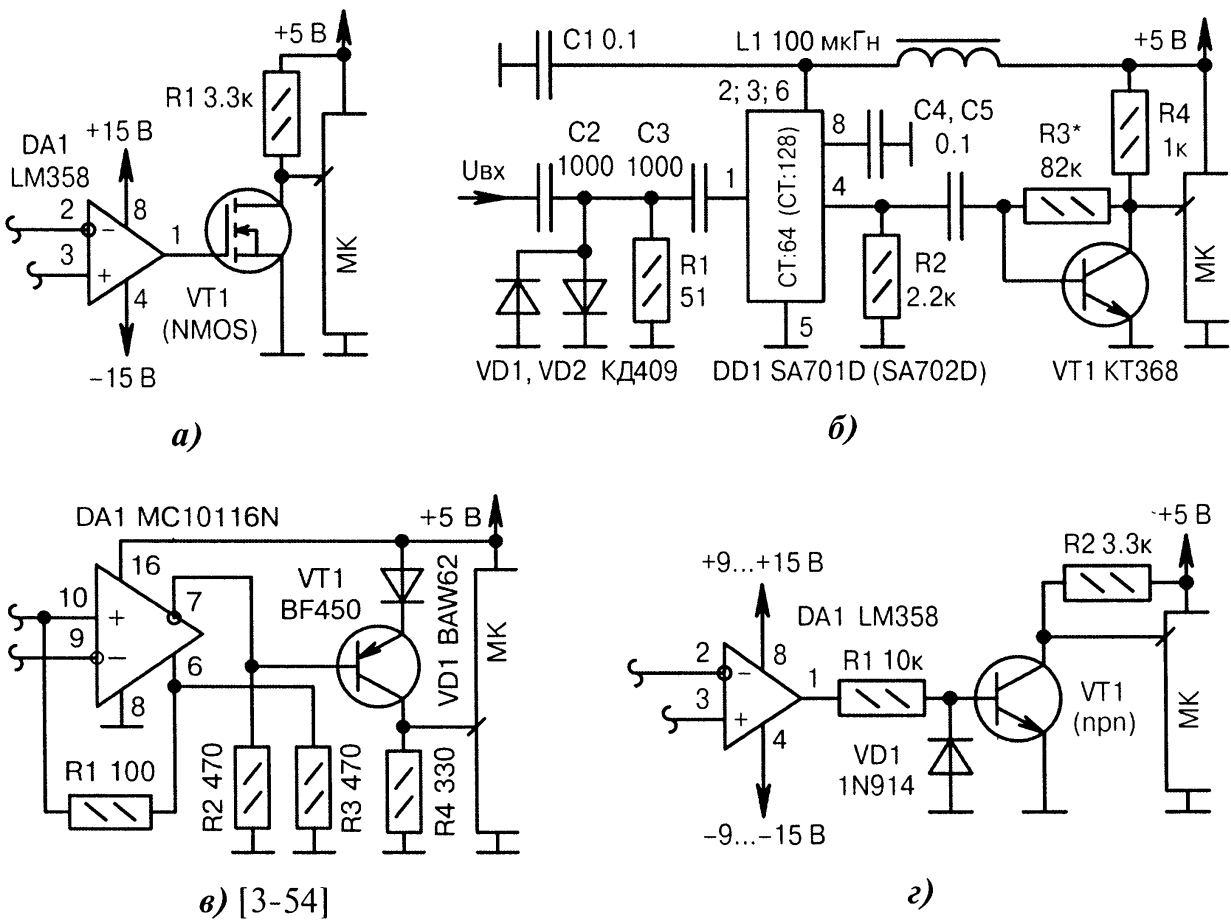


Рис. 3.21. Схемы усилителей сигналов с архитектурой «микросхема-транзистор»:

- а) ОУ на микросхеме *DA1* питается от двух повышенных напряжений. Буферный транзистор *VT1* согласует уровни. Он должен выдерживать на затворе напряжение в пределах  $-15...+15$  В;
- б) делитель частоты на микросхеме *DD1* (фирма Philips) работает в диапазоне  $10...1000$  МГц. Транзистор *VT1* служит усилителем-формирователем. Входная частота делится на коэффициент 64 (128) или 65 (129) в зависимости от логических уровней на выводах 3 и 6 микросхемы *DD1*;
- в) подключение широкополосного ОУ *DA1* (фирма Motorola), позволяющего усиливать сигналы с частотой до 50 МГц на длинных линиях. Диод *VD1* повышает помехоустойчивость;
- г) транзистор *VT1* преобразует «высоковольтные» сигналы, поступающие с выхода усилителя *DA1* (максимум  $-15...+15$  В) в логические уровни для МК ( $0...+5$  В). Диод *VD1* защищает переход «база — эмиттер» транзистора *VT1* от большого отрицательного напряжения  $-9...-15$  В, которое может поступить с выхода ОУ *DA1*.

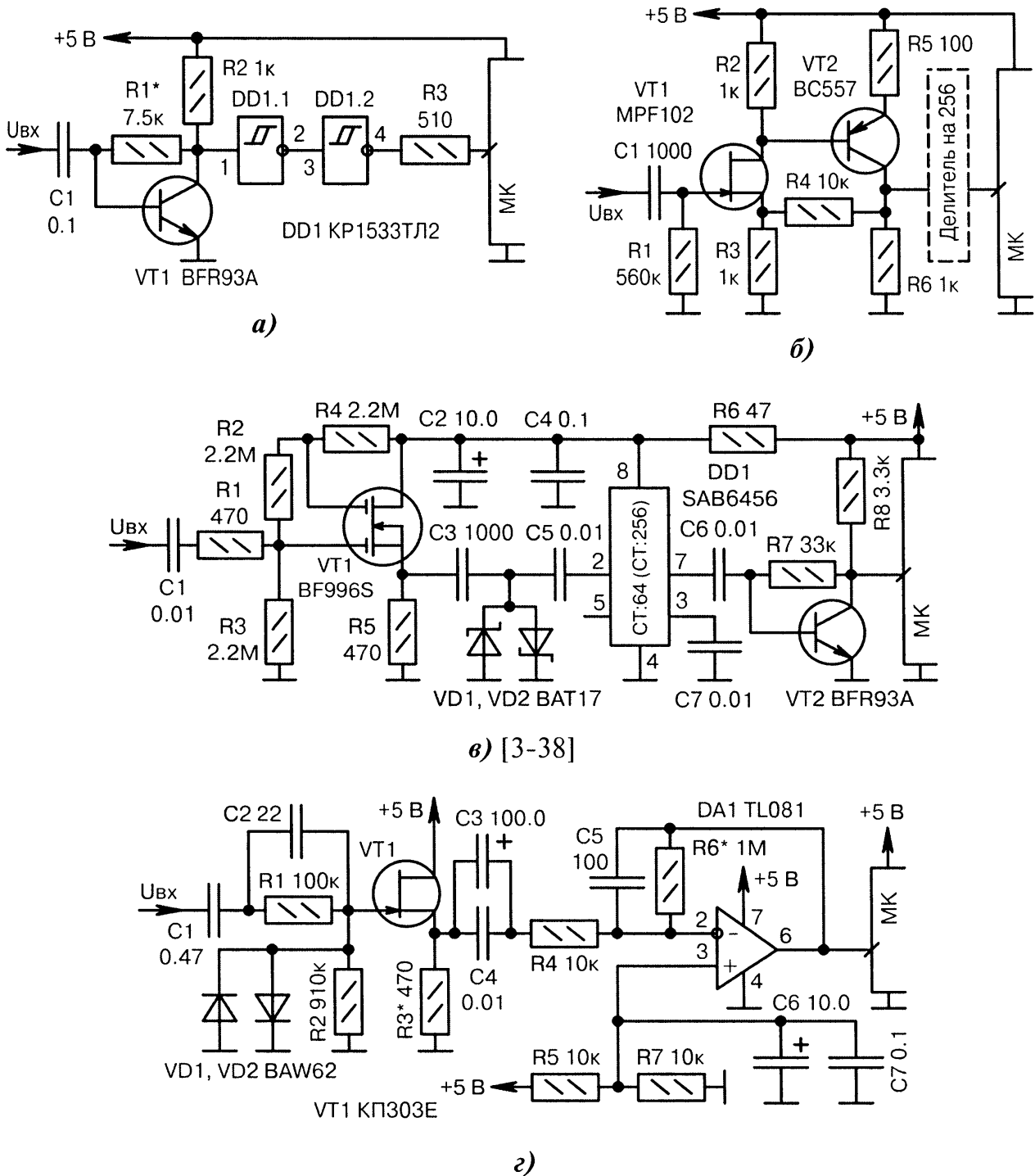
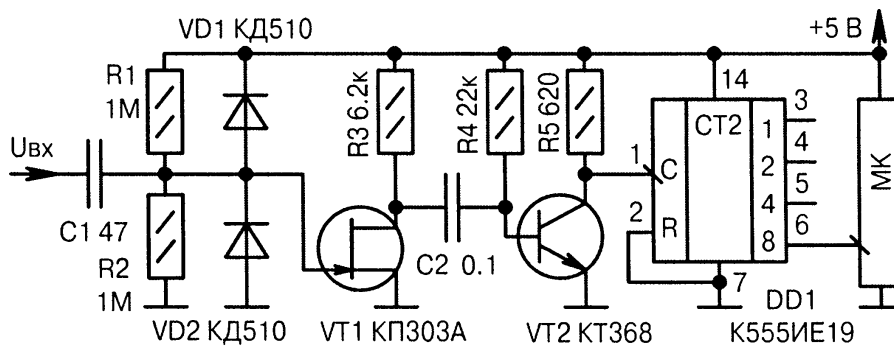
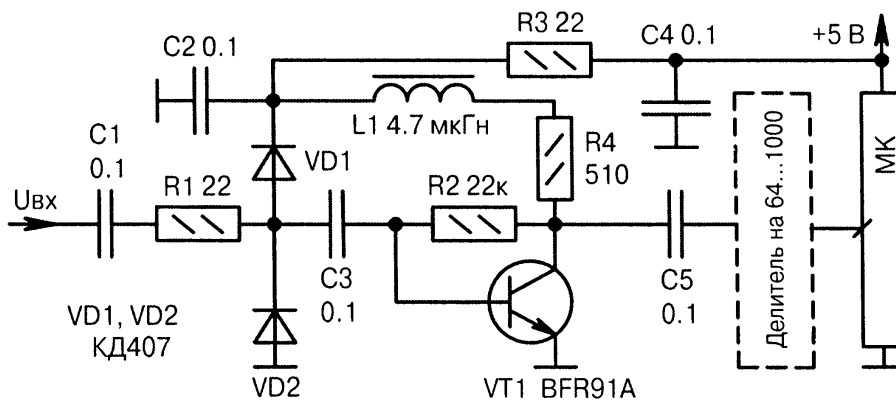


Рис. 3.22. Схемы усилителей сигналов с архитектурой «транзистор-микросхема» (начало):

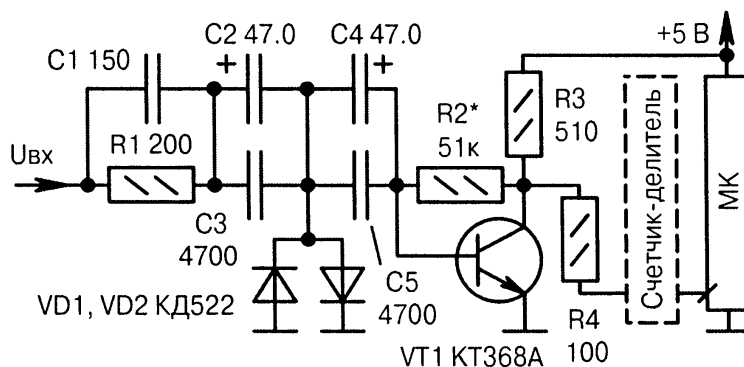
- а) транзистор  $VT1$  усиливает сигнал до порога срабатывания триггера Шмитта  $DD1.1$ . В общем случае элемент  $DD1.2$  не обязателен, что проверяется экспериментально;
- б) разновидность двухтранзисторного усилителя-формирователя для диапазона 3...30 МГц. В качестве делителя частоты на 256 можно использовать, например, два счётчика микросхемы 74AC393 (два цифровых делителя на 16);
- в) широкополосный высокочастотный усилитель с максимальной частотой до 1 ГГц. Чувствительность 10 мВ. Коэффициент деления микросхемы  $DD1$  (фирма Philips) можно увеличить до 256 (вместо 64), если её вывод 5 соединить с общим проводом;
- г) резистором  $R3$  подбирается рабочая точка транзистора  $VT1$ . Конденсаторы  $C3$  и  $C4$ ,  $C6$  и  $C7$  соединяются параллельно, чтобы обеспечить передачу сигналов как НЧ, так и ВЧ; Ⓞ



д)



е)



ж)

● **Рис. 3.22.** Схемы усилителей сигналов с архитектурой «транзистор-микросхема» (окончание):

д) высокоомный входной каскад с услителем-формирователем на транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$ . Диоды  $VD1$ ,  $VD2$  защищают устройство от всплесков напряжения. Микросхема  $DD1$  делит частоту на 16. Можно уменьшить коэффициент деления до 8, 4, 2, если снимать сигнал с её выводов соответственно 5, 4, 3. Диапазон входных частот 0.1...30 МГц;

е) высокочастотный усилитель сигналов, рассчитанный на диапазон частот 64...1300 МГц. Диоды  $VD1$ ,  $VD2$  — защитные. Конденсатор  $C5$  может отсутствовать в зависимости от схемотехники цифрового делителя частоты. Дроссель  $L1$  повышает усиление в верхней части диапазона;

ж) широкополосный (10 Гц ... 50 МГц) усилитель с ограничительными диодами  $VD1$ ,  $VD2$ . На высоких частотах более 5...10 МГц для сопряжения с МК требуется ставить дополнительный цифровой делитель частоты на ТТЛ- или КМОП-счётчиках из серий 1533, 74НС, 74АС (отмечен пунктиром). Конденсаторы  $C2$ ,  $C4$  улучшают АЧХ на низких частотах.

### 3.2.4. Трансформаторная развязка

Усилители и формирователи сигналов могут находиться как вблизи МК, так и возле удалённых датчиков. При большом расстоянии между источником и приёмником сигнала используют соединение по витой паре проводов и гальваническую развязку через трансформаторы (Рис. 3.23, а...д).

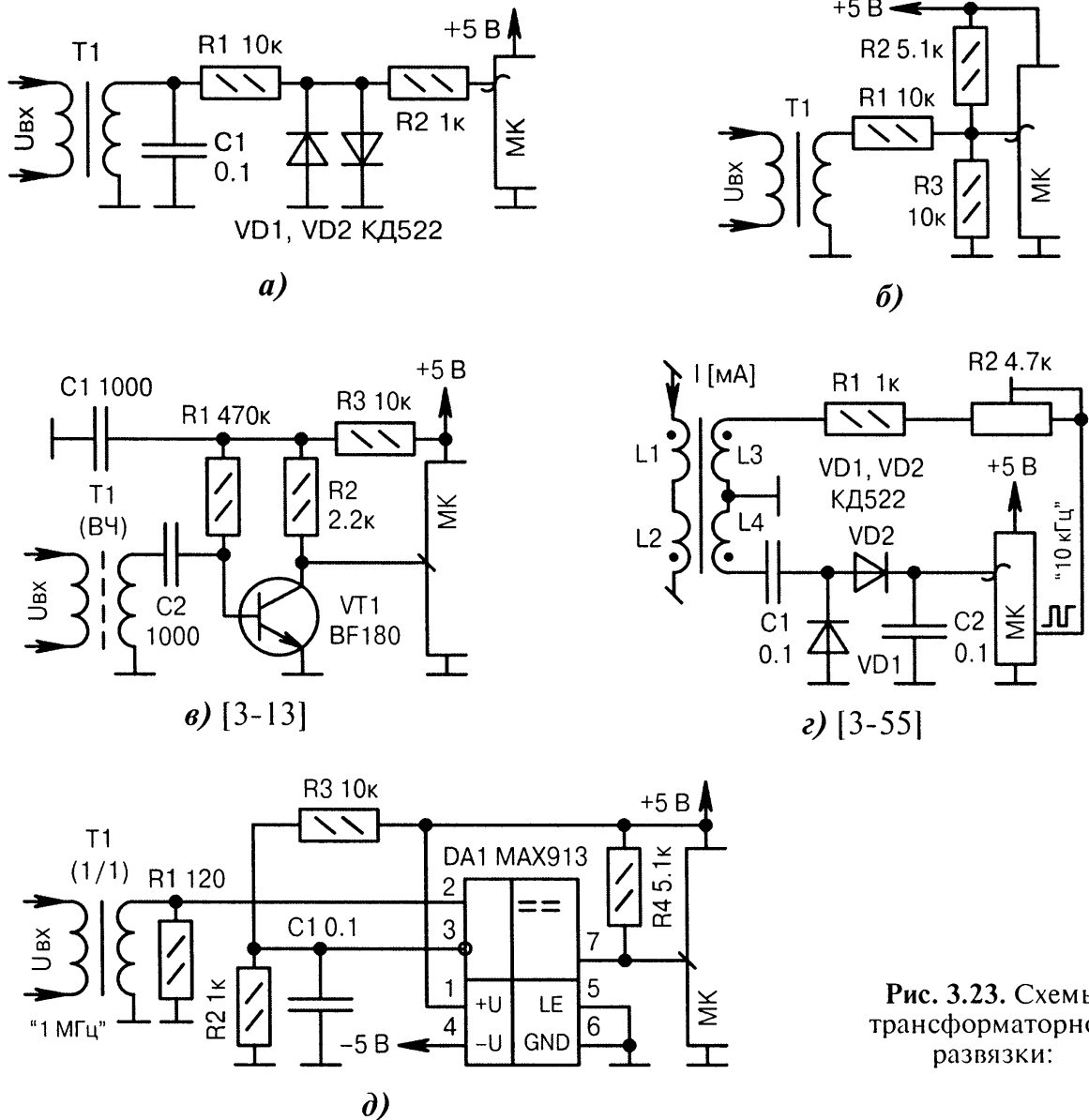


Рис. 3.23. Схемы трансформаторной развязки:

- элементы  $C1$ ,  $R1$ ,  $R2$ ,  $VD1$ ,  $VD2$  защищают МК от перенапряжений в линии. Трансформатор  $T1$  может быть как понижающим, так и повышающим, в зависимости от уровня сигнала;
- делитель напряжения  $R1...R3$  определяет середину рабочей точки АЦП МК вблизи +2.5 В;
- гальваническая развязка источника сигнала при помощи высокочастотного трансформатора  $T1$ , выполненного на ферритовом кольце или стержне;
- измерение тока 40...1000 мА. Импульсы большой скважности поступают с выхода МК в обмотку  $L3$  и наводят ток в обмотке  $L4$ . Напряжение с выхода выпрямителя  $VD1$ ,  $VD2$  пропорционально току в  $L1$ ,  $L2$ . Обмотки  $L1$ ,  $L2$  содержат по 20 витков провода ПЭВ-0.3, обмотки  $L3$ ,  $L4$  — по 20 витков провода ПЭВ-0.1, намотанных на двух ферритовых кольцах 8 x 4 x 2 мм;
- источник двухполярного сигнала  $U_{BX}$  имеет волновое сопротивление 120 Ом (1 МГц).

### 3.3. Механические датчики

#### 3.3.1. Энкодеры

Энкодер — это механический или оптико-механический датчик, применяемый для определения положения и скорости вращения вала. В качестве последнего может выступать ручка настройки любительского трансивера, поворотный механизм вращения антенны, редукторы различных транспортёров и т.д.

Энкодер представляет собой закреплённый на валу диск с расположенными в определённом порядке прорезями/выступами, которые либо замыкают механические контакты при вращении, либо перекрывают световой поток в оптопаре. Выходные сигналы энкодера импульсные, причём на фронтах может возникать «звон» в виде колебательного процесса.

По числу задействованных валов различают энкодеры одномерные (например, «бесконечная» ручка вращения настройки частоты), двухмерные (например, датчик механической компьютерной мыши) и, реже, многомерные (например, 3D-штурвалы управления).

В микроконтроллерных устройствах скорость и направление вращения энкодеров определяются программным путём. При этом анализируется положение импульсов на оси времени, а также период их следования.

На Рис. 3.24, а...к показаны схемы подключения энкодеров к МК.

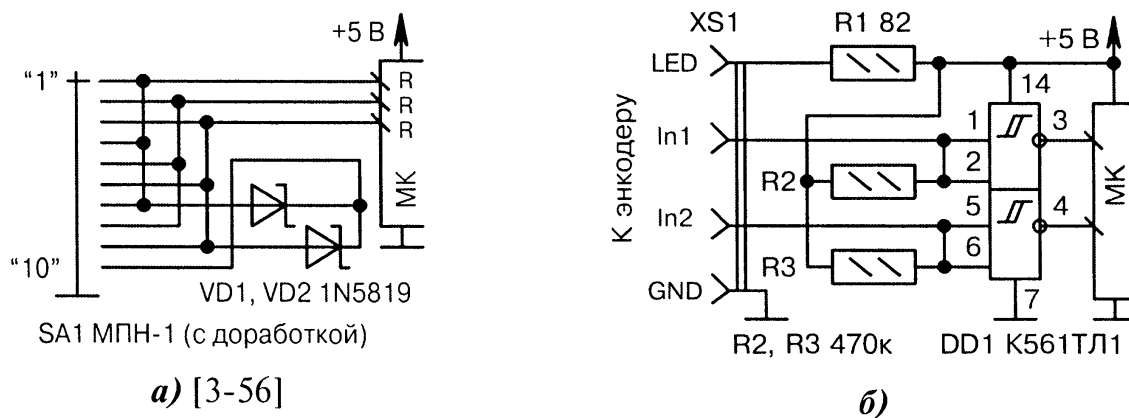
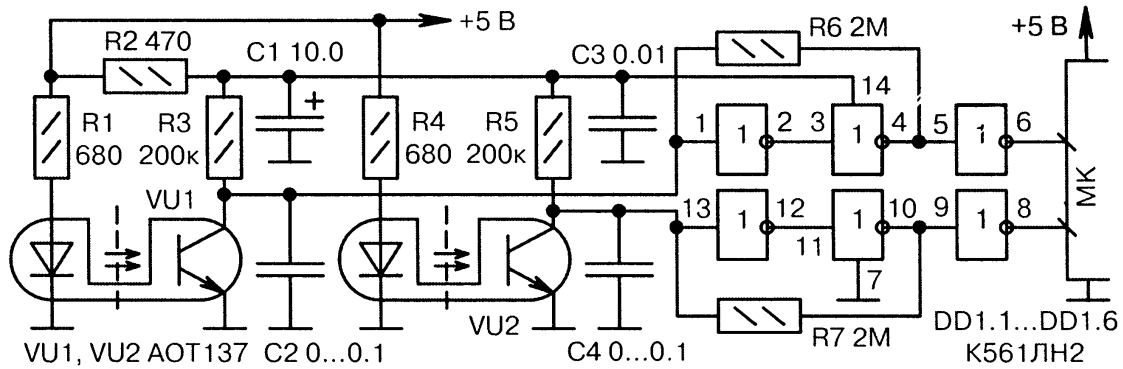


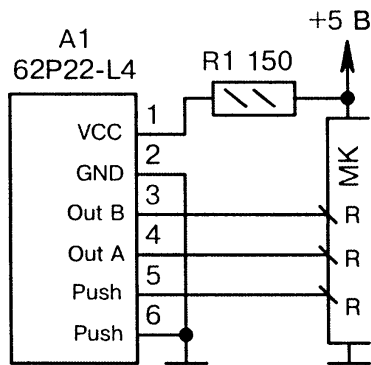
Рис. 3.24. Схемы подключения энкодеров к МК (начало):

а) одномерный энкодер на основе доработанного поворотного переключателя SA1. В переключателе удаляется ограничитель, после чего он начинает проворачиваться на  $360^\circ$  в бесконечном цикле, т.е. за положением «10» следует положение «1». Диоды VD1, VD2 устанавливают два НИЗКИХ уровня на верхнем и нижнем входах МК, что является маркером положения «10». Направление движения переключателя SA1 определяется очерёдностью появления НИЗКОГО уровня на трёх входных линиях МК. Например, если сначала «сработала» верхняя, а затем средняя линия, то направление считается «влево», если сначала «сработала» нижняя, а затем средняя линия, то направление считается «вправо»;

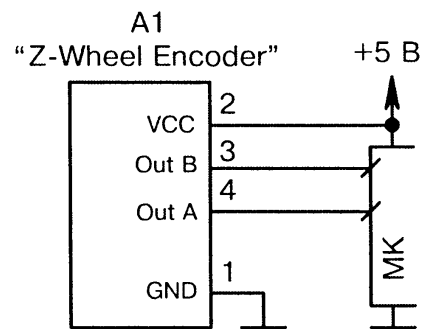
б) к разъему XS1 подключается двухмерный энкодер с импульсами на линиях «In1», «In2». Питание на световые излучатели внутренних оптопар энкодера подаётся по цепи LED через резистор R1. Триггеры Шмитта DD1 повышают помехоустойчивость при длинном кабеле. Резисторы R2, R3 не дают «висеть в воздухе» КМОП-входам DD1 при отсоединении энкодера; ☹



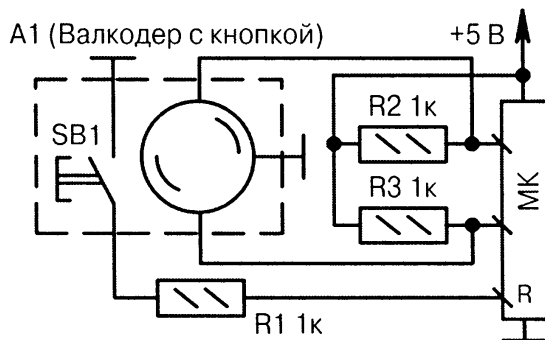
в) [3-57]



z) [3-58]



д) [3-59]



e)

Рис. 3.24. Схемы подключения энкодеров к МК (продолжение):

в) двухмерный опто-механический энкодер. Оптопары  $VU1$ ,  $VU2$  могут работать на просвечивание (диск с прорезями) или на отражение (диск с чёткими чёрно-белыми полосами). Число прорезей/полос пропорционально чувствительности датчика. Конденсаторы  $C2$ ,  $C4$  устраняют влияние внешних помех, но могут снижать точность перемещения (определяется экспериментально). Резистор  $R2$  и конденсаторы  $C1$ ,  $C3$  устраняют помехи по питанию;

г)  $A1$  — это опто-механический энкодер (фирма Grayhill) с одной дополнительной кнопкой «Push» на корпусе. Кодирование импульсов на выходах «Out А», «Out В» осуществляется как у компьютерной мыши, т.е. образуются разные комбинации логических уровней при вращении ротора энкодера вправо или влево. Замена энкодера  $A1$  — 62P22-L6 фирмы Grayhill;

д)  $A1$  — это датчик вращения «среднего колеса» от оптической компьютерной мыши;

е) подключение валкодера  $A1$  с внутренней кнопкой управления  $SB1$ . Для справки, валкодер — это радиоловительское название одномерного энкодера в виде «бесконечной» ручки настройки частоты трансивера; ●

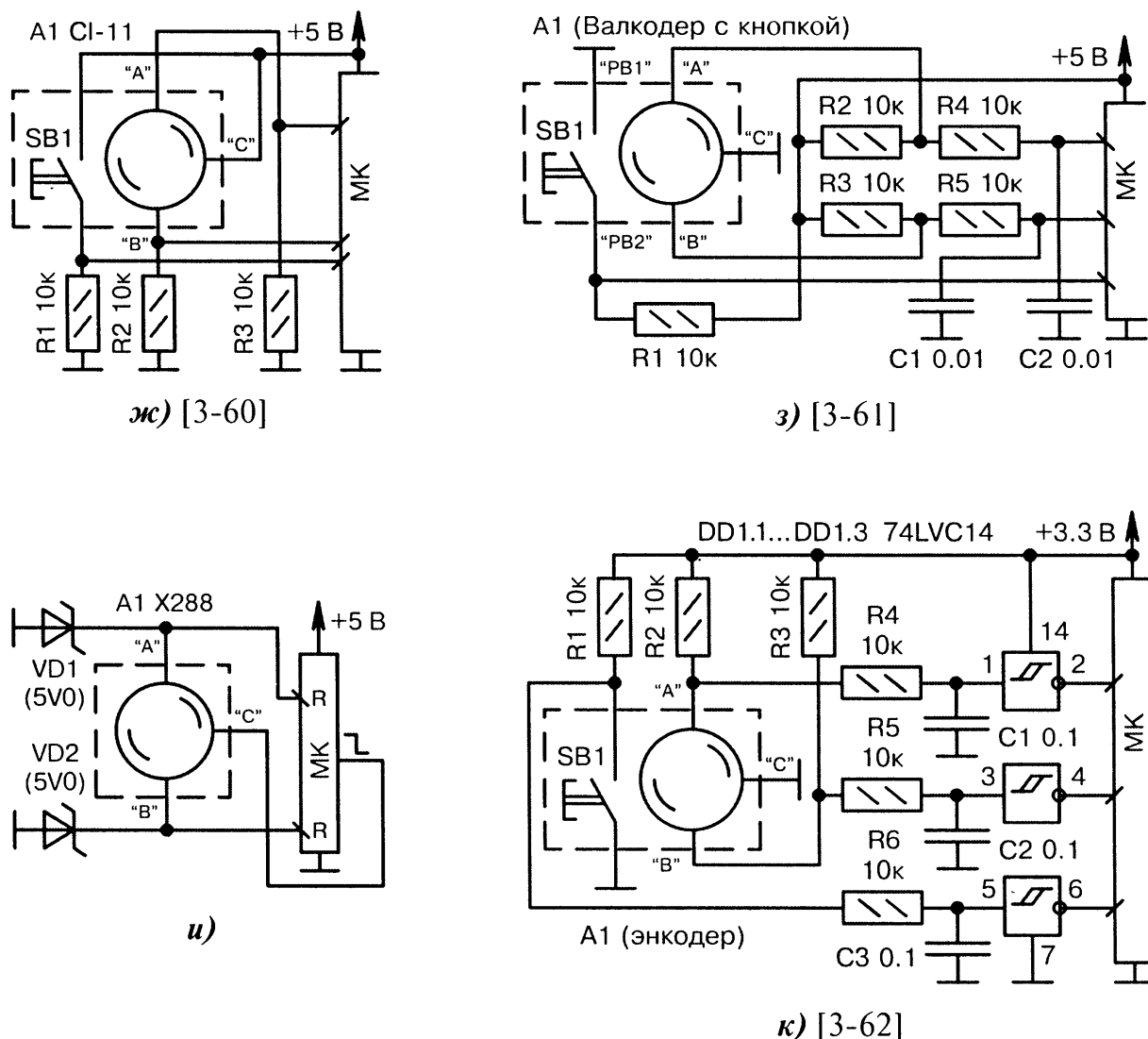


Рис. 3.24. Схемы подключения энкодеров к МК (окончание):

ж) цепи «А» и «В» энкодера *A1* (фирма Piher International) замыкаются с цепью «С» в определённой последовательности, которая зависит от направления вращения вала в левую/правую сторону. В программе МК не должно быть ошибок, настраивающих линии портов в режим выходов с НИЗКИМ уровнем, иначе через контакты энкодера будет протекать большой ток;

з) конденсаторы *C1*, *C2* совместно с резисторами *R4*, *R5* образуют два ФНЧ, которые повышают помехоустойчивость работы энкодера *A1*. Резисторы *R1...R3* обеспечивают привязку напряжений на входах МК к цепи питания, чтобы они не «висели в воздухе»;

и) *A1* — это двухбитный поворотный энкодер (фирма CTS Corporation), выполненный в трёхвыводном корпусе для установки параллельно печатной плате. МК может запретить работу энкодера выставлением ВЫСОКОГО уровня на линии «С», при этом на линиях «А» и «В» тоже будут наблюдаться ВЫСОКИЕ уровни. TVS-диоды *VD1*, *VD2* защищают порты МК от разрядов статического электричества. В некоторых схемах они отсутствуют, а в некоторых схемах дополнительно ставятся резисторы 1...3 кОм последовательно с входами МК;

к) сигналы от энкодера *A1* предварительно фильтруются (*R4...R6*, *C1...C3*), затем поступают на триггеры Шмитта «низковольтной» микросхемы *DD1*. Это повышает точность позиционирования, особенно в случае, когда движущиеся контакты энкодера уже «сработались» в результате интенсивных механических перемещений.



### 3.3.2. Герконы

Геркон (сокращение от слов «герметичный контакт») — это механический датчик, замыкающий свои контакты при воздействии магнитного поля. Корпусом геркона служит герметичная стеклянная колба, внутри которой параллельно друг другу располагаются две металлические пластины. С электрической точки зрения стандартный геркон эквивалентен одиночной замыкающей кнопке без фиксации положения.

Достоинства герконов (англ. «Reed Switches»):

- малая мощность, требуемая для управления (50...200 мВт);
- низкое сопротивление между замкнутыми контактами (0.05...0.2 Ом);
- высокое сопротивление между разомкнутыми контактами ( $10^{10}$ ... $10^{12}$  Ом);
- полная гальваническая развязка за счёт стеклянного корпуса;
- достаточное для практики быстродействие (0.5...1.5 мс);
- длительный срок службы ( $10^6$ ... $10^8$  переключений);
- механическая устойчивость, широкий диапазон температур ( $-60$ ... $+150$ °С), возможность эксплуатации в запылённых и агрессивных средах.

В зависимости от принципа действия герконы подразделяются на замыкающие и переключающие. В зависимости от коммутируемого напряжения различают низковольтные (менее 1 кВ) и высоковольтные герконы. В зависимости от длины корпуса — стандартные и миниатюрные (менее 10 мм).

Основные области применения герконов: реле, клавиатуры, промышленные и охранные датчики. Ведущими производителями герконов на мировом рынке являются фирмы: OKI (Япония), Hamlin Electronics (США), Fujitsu (Япония), РЗМКП (Россия) и др.

На Рис. 3.25, а...и показаны схемы подключения герконов к МК.

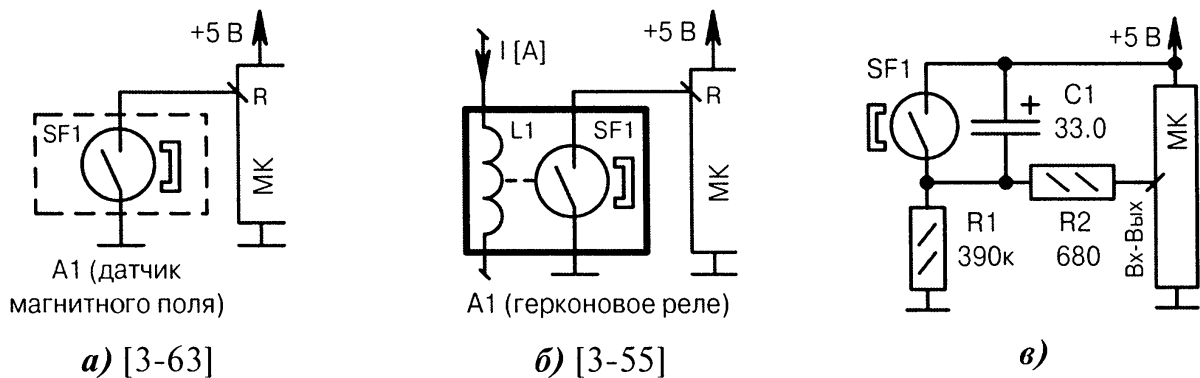


Рис. 3.25. Схемы подключения герконов к МК (начало):

а) А1 — это узконаправленный датчик магнитного поля, состоящий из геркона КЭМ-1А (SF1), помещённого в металлический корпус от конденсатора КБГ-М с прорезью;

б) датчик тока на основе геркона КЭМ-2 с намотанным на его баллон проводом (8 витков ПЭВ-2.0). МК фиксирует замыкание/размыкание контактов SF1 при токе срабатывания 2 А и токе отпускания 1.5 А. Положение геркона внутри катушки L1 подбирается экспериментально;

в) цепочка C1, R1 устраняет ложные срабатывания геркона SF1 и «дребезг» его контактов. Для ускорения заряда конденсатора C1 можно временно перевести линию МК в режим выхода с НИЗКИМ уровнем, при этом резистор R2 ограничивает ток через ключевой транзистор МК; ☉

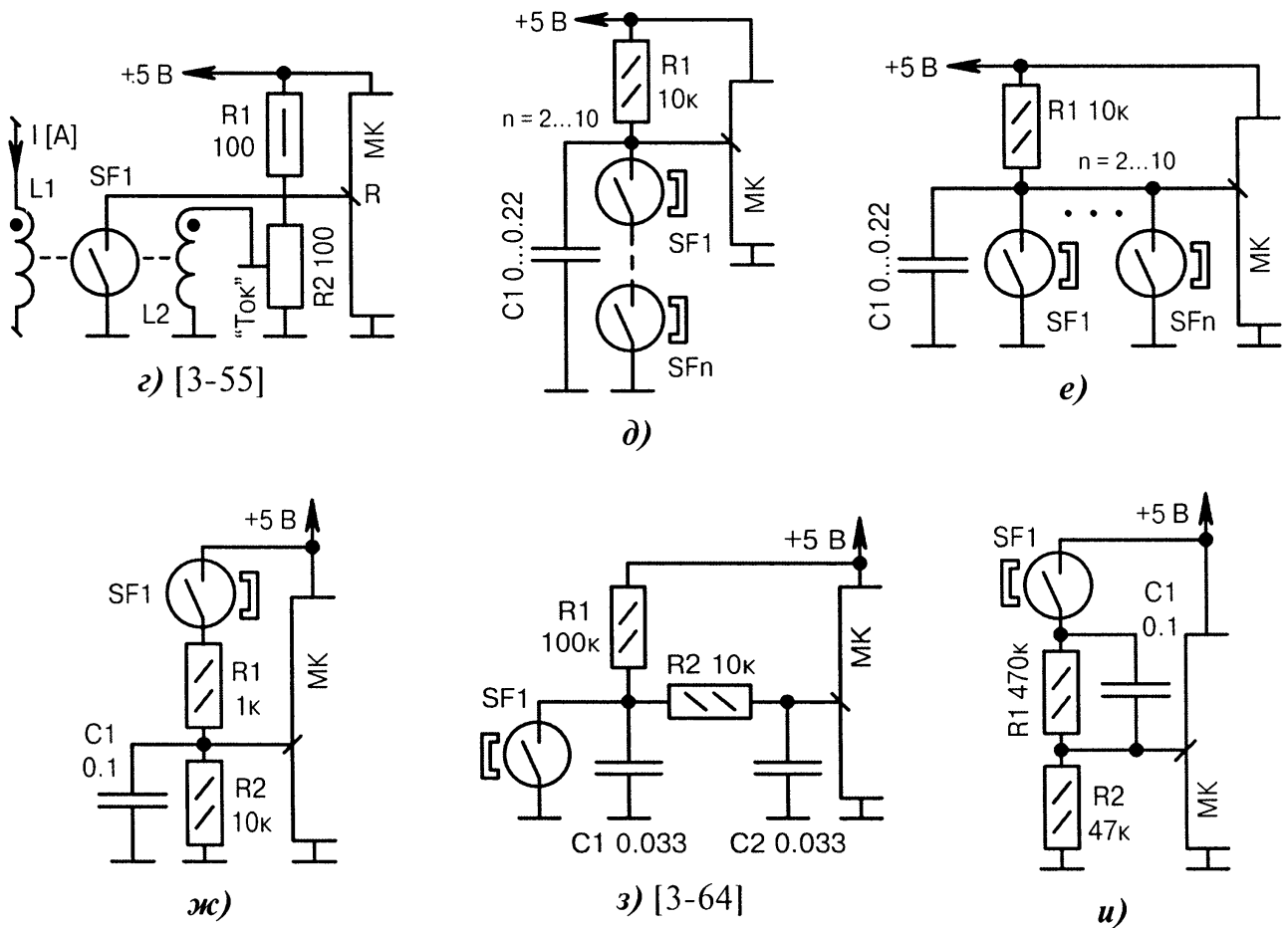


Рис. 3.25. Схемы подключения герконов к МК (окончание):

г) подмагничивающая катушка  $L2$  повышает чувствительность срабатывания датчика тока. Катушки  $L1$ ,  $L2$  наматываются поверх геркона  $SF1$  и содержат соответственно 10 витков провода ПЭВ-0.8 и 200 витков провода ПЭВ-0.06;

д) последовательное включение герконов  $SF1...SF_n$  с логической функцией «И»;

е) параллельное включение герконов  $SF1...SF_n$  с логической функцией «ИЛИ»;

ж) резистор  $R1$  защищает вход МК от мощных электромагнитных наводок на контакты геркона  $SF1$ . Конденсатор  $C1$  служит первой ступенью подавления «дребезга» механических контактов. Окончательная фильтрация сигнала осуществляется программно;

з) помехоустойчивый опрос геркона  $SF1$ , который может замыкаться с частотой до 100 Гц. Функцию ФНЧ выполняют цепочки  $R1, C1$  и  $R2, C2$ ;

и) конденсатор  $C1$  формирует короткий импульс ВЫСОКОГО уровня на входе МК при замыкании геркона  $SF1$ . Реальное состояние его контактов можно определить по напряжению на резисторе  $R2$  через АЦП МК (0.45 В — замкнуто, 0 В — разомкнуто). Большое сопротивление резистора  $R1$  снижает потребление тока в цепи геркона по сравнению со схемой на Рис. 3.25, ж.

### 3.3.3. Кнопки, переключатели

Механические кнопки и переключатели составляют логический каркас интерфейса пользователя («что, когда и как нажимать»). Выбираются они в первую очередь из эргономических соображений, а также согласно дизайну внешнего вида. Из электрических параметров наиболее критичными для сопряжения с МК являются рабочее напряжение  $U_{РАБ}$  и рабочий ток  $I_{РАБ}$  (Табл. 3.7).

Таблица 3.7. Параметры переключателей и кнопок фирмы Switronic Industrial Corp.

Переключатели, кнопки	$U_{РАБ}$ [В]	$I_{РАБ}$ [мА]	Функциональное назначение
IS-2336, IS-1235	6	300	Переключатель движковый
T-1181, TS-1275, 0673	12	50	Кнопка тактовая
PS-12E05, PS-22E05	50	300	Переключатель с фиксацией положения
DM2-01P, DM3-02P	~125	3000	Переключатель концевой

Учитывая низковольтное питание схем с МК, можно сделать вывод, что стандартные кнопки и переключатели имеют значительный запас по напряжению коммутации. Иное дело рабочий ток. Его минимальное значение указывается далеко не во всех справочниках, и напрасно, ведь при токе ниже определённого минимума можно получить весьма неустойчивую коммутацию с продолжительным колебательным процессом. В технических условиях ЭРИ стран СНГ этот момент учитывается в виде «вилки» параметров (Табл. 3.8).

Таблица 3.8. Параметры переключателей и кнопок фирмы «Лтава»

Переключатели, кнопки	$U_{РАБ}$ [В]	$I_{РАБ}$ [мА]	Функциональное назначение
ВКн29, ПКн150	0.05...36	0.001...100	Кнопка нажимная
ПД-9, ПД-53	0.05...36	0.001...300	Переключатель движковый
ПР2	0.05...36	0.001...500	Переключатель поворотный
ПКн99	0.1...60	0.1...40	Кнопка одиночная
КМ1-1, КМ2-1	0.5...250	0.5...3000	Кнопка малогабаритная
МП9, УМП2	0.0001...250	0.001...6000	Микропереключатель
П2К, П2Кл	0.1...250	1...1500	Кнопочный модуль
ПКн61, ПКн81	0.000001...250	0.001...1000	Кнопочный модуль
ПТкл31	0.1...250	10...6000	Тумблер клавишный
УПТр02, П1Т, МТ1	0.05...250	0.1...5000	Тумблер обычный

Важность знания минимального рабочего тока можно продемонстрировать на примере зарубежных движковых переключателей серии «DIP-switch». Их параметры:  $I_{РАБ} = 1...500$  мА,  $U_{РАБ} = 0.01...12$  В,  $R_{ЗАМ} = 0.05...0.5$  Ом. Следовательно, чтобы контакт был надёжным, нужен ток не менее 1 мА. Теперь ясно, что присоединять такой переключатель напрямую к МК нельзя из-за высокого сопротивления внутреннего «pull-up» резистора (десятки килоом). Требуется поставить внешний резистор сопротивлением не более 4.7 кОм при напряжении питания +5 В.

Ещё одна проблема заключается в так называемом «дребезге» или «шорохе» контактов. Это актуально для всех механических переключателей и кнопок, а также датчиков на их основе. Речь идёт о произвольных и непредсказуемых обрывах связи в первые 20...40 мс после нажатия/отпускания кнопки. Временные параметры «дребезга» контактов не регламентируются в даташитах и могут значительно отличаться в зависимости от конструкции переключателя, материала металлического покрытия, степени изношенности контактных групп.

Устранить «дребезг» контактов можно аппаратным или программным путём. В микроконтроллерных устройствах обычно используют программные задержки времени на 40...50 мс, а также многократные опросы «кнопочных» линий МК.

На Рис. 3.26, а...ф показаны схемы подключения к МК одиночных кнопок и переключателей, а на Рис. 3.27, а...к — многокнопочных блоков.

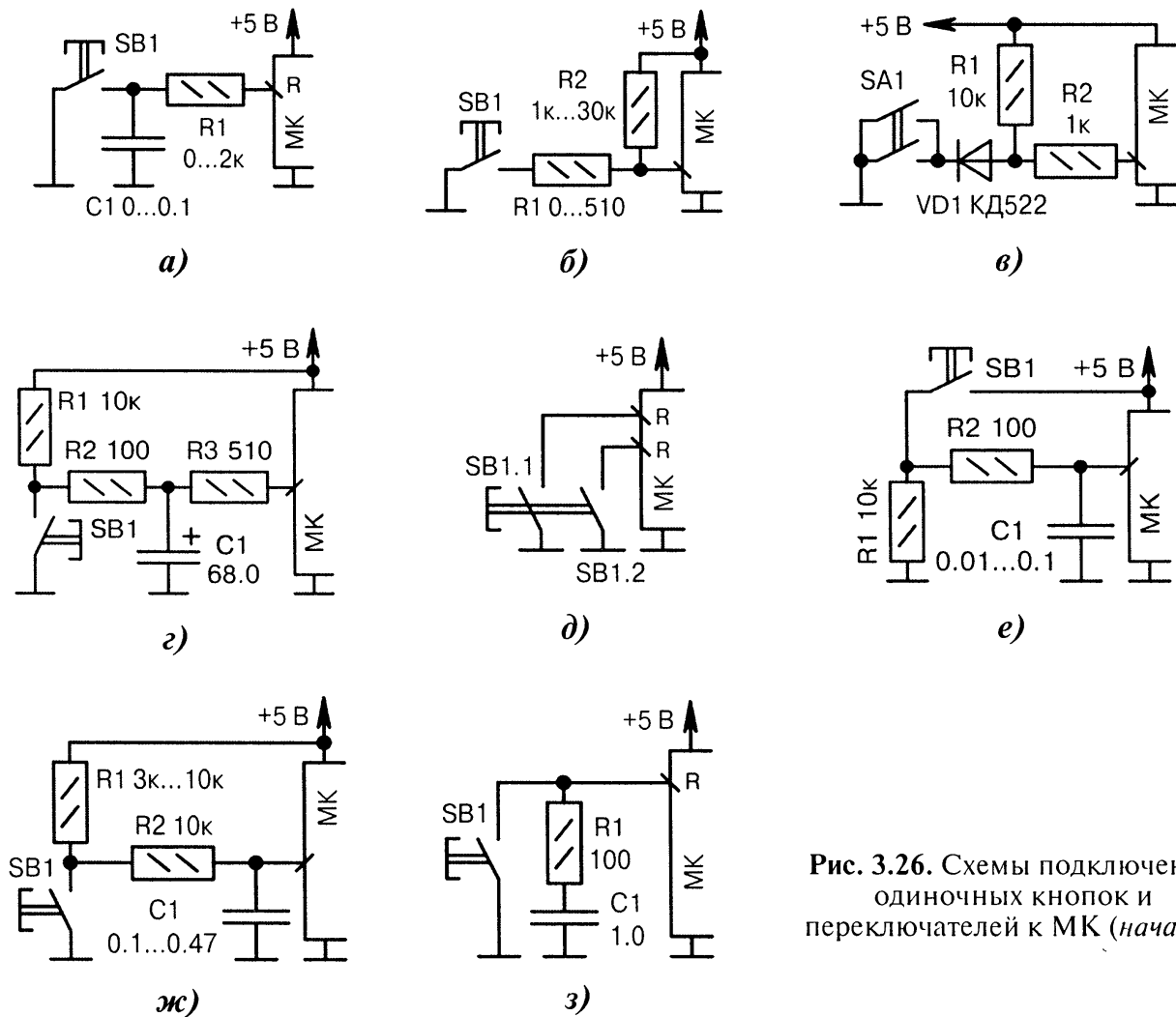


Рис. 3.26. Схемы подключения одиночных кнопок и переключателей к МК (начало):

а) ток через замкнутую кнопку *SB1* протекает по следующему пути: источник питания +5 В, внутренний «pull-up» резистор МК, внешний резистор *R1*. Конденсатор *C1* уменьшает наводки и радиоизлучение, а также снижает «дребезг» контактов. Резистор *R1* служит защитой линии МК на случай программных сбоев и ошибок;

б) ток через кнопку *SB1* определяется по формуле  $I_x[\text{mA}] = V_{CC}[\text{B}] / (R_1[\text{kOm}] + R_2[\text{kOm}])$ . Сопротивления выбираются в пропорции  $R_1 : R_2 = 1 : 5 \dots 1 : 10$ . Для снижения энергопотребления ставят  $R_1 = 51 \text{ kOm}$ ,  $R_2 = 510 \text{ kOm}$ , при этом кнопка должна устойчиво работать на микротоках;

в) в переключателе *SA1* для надёжности запараллелены две группы контактов. Диод *VD1* служит барьером для наводок и шумов при длинных соединительных проводах. Он же защищает МК от большого положительного напряжения. Резистор *R2* ограничивает ток, протекающий при аварийной подаче на контакты кнопки большого отрицательного напряжения;

г) конденсатор *C1* специально выбран большой ёмкости. Он снижает «дребезг» контактов и делает устройство нечувствительным к коротким нажатиям кнопки *SB1*. Резистор *R2* ограничивает ток разряда конденсатора через кнопку *SB1*, а резистор *R3* — через внутренний диод МК;

д) контакты сдвоенной кнопки *SB1* соединяются с разными линиями МК. Такое дублирование повышает надёжность определения самого факта нажатия кнопки;

е) «High Side Switch» — так называемое «верхнее» включение кнопки *SB1* (к питанию);

ж) цепочка *R2*, *C1* аппаратно уменьшает «дребезг» контактов кнопки *SB1*;

з) демпферная цепочка *R1*, *C1* снижает помехи и наводки при большом удалении кнопки *SB1* от МК. Резистор *R1* ограничивает ток разряда конденсатора *C1* через замкнутую кнопку *SB1*; ☹

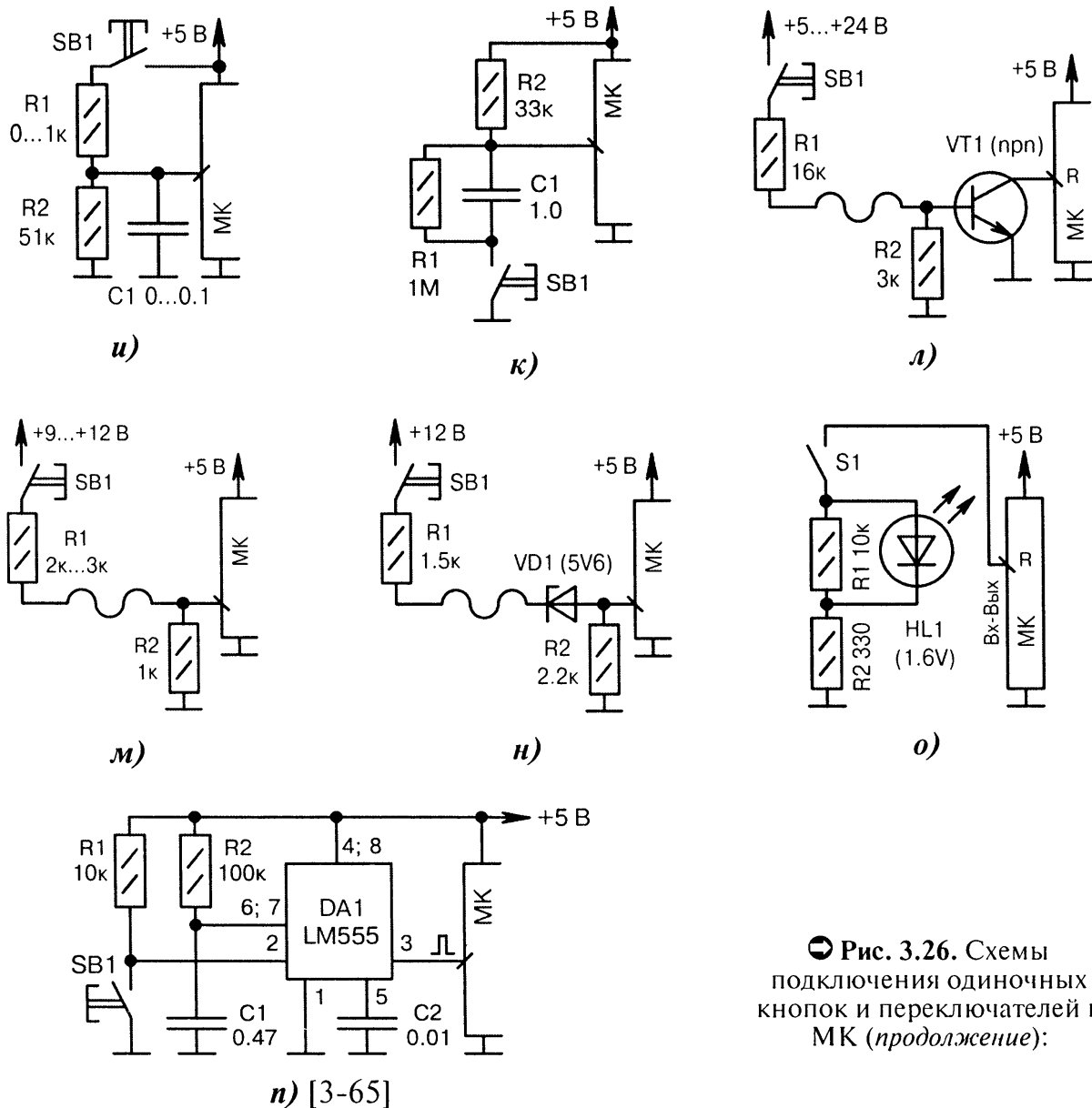


Рис. 3.26. Схемы подключения одиночных кнопок и переключателей к МК (продолжение):

и) конденсатор  $C1$  уменьшает «дребезг» контактов, однако для полного подавления колебательных процессов необходима ещё и программная фильтрация;

к) при нажатии кнопки  $SB1$  формируется короткий импульс НИЗКОГО уровня на входе МК. Длительность импульса зависит от элементов  $R2$ ,  $C1$ . Резистор  $R1$  разряжает конденсатор  $C1$ ;

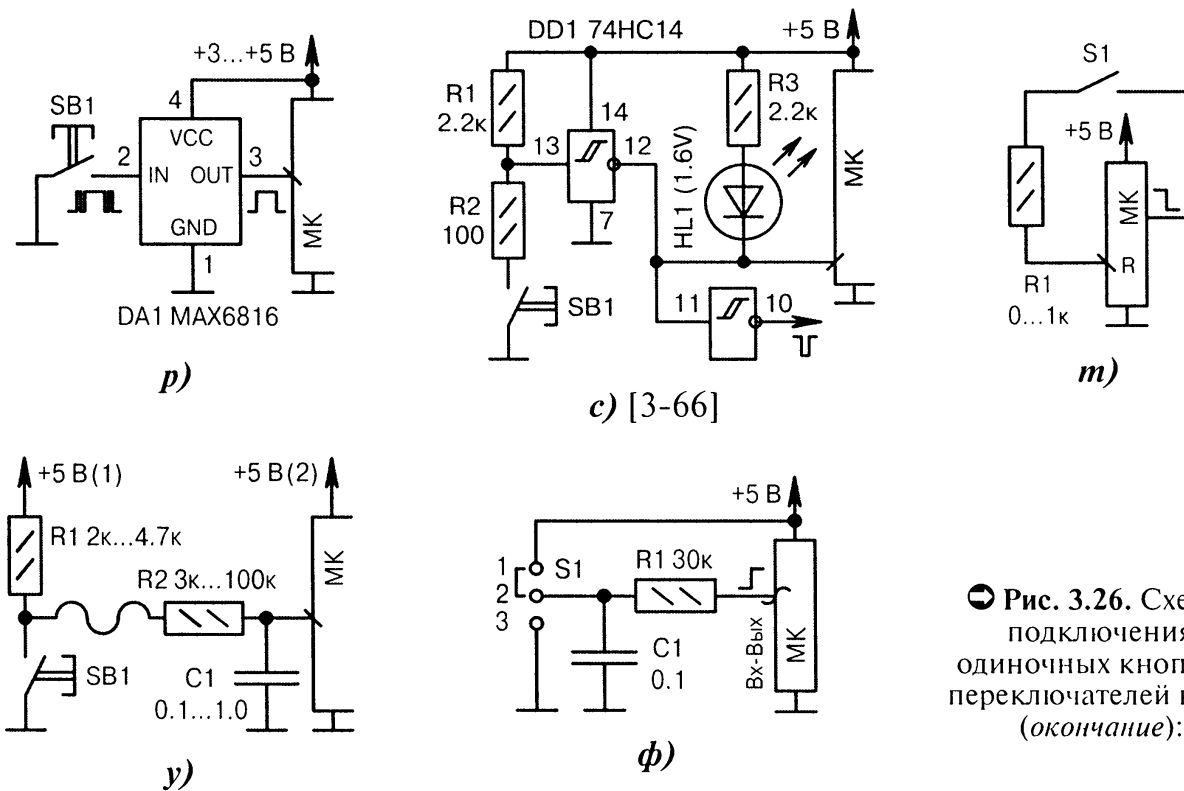
л) приём сигнала от кнопки  $SB1$ , подключённой к источнику «плавающего» повышенного напряжения. Допускаются его колебания в широких пределах. Транзистор  $VT1$  увеличивает крутизну фронтов сигнала, отсекает помехи и служит буферной защитой для МК;

м) аналогично Рис. 3.26, л, но при более низких требованиях к помехозащищённости;

н) аналогично Рис. 3.26, л, но с повышенной помехоустойчивостью за счёт «высоковольтного» стабилитрона  $VD1$ , отсекающего флуктуации входного напряжения;

о) сначала линия МК настраивается в режим цифрового входа для проверки состояния переключателя  $S1$ . Если обнаружено нажатие (НИЗКИЙ входной уровень), то линия МК настраивается в режим выхода с ВЫСОКИМ уровнем, при этом индикатор  $HL1$  светится или может программно «помигать» с частотой 2...3 Гц (в знак подтверждения нажатия кнопки);

п) устранение «дребезга» контактов кнопки  $SB1$  одновибратором на аналоговом таймере  $DA1$ . Длительность положительного импульса на входе МК определяется элементами  $R2$ ,  $C1$ ; ◉



⊖ Рис. 3.26. Схемы подключения одиночных кнопок и переключателей к МК (окончание):

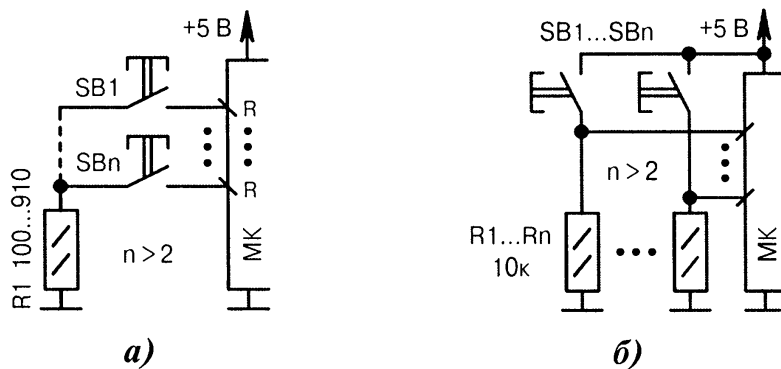
р) надёжное аппаратное подавление «дребезга» контактов кнопки *SB1*. Программная часть МК упрощается за счёт отсутствия блока проверки на «дребезг». Вход «IN» микросхемы *DA1* имеет защиту от разрядов статического электричества до  $\pm 15$  кВ (можно касаться рукой);

с) при нажатии кнопки *SB1* появляется импульс положительной полярности на входе МК, а также импульс отрицательной полярности на выводе 10 микросхемы *DD1*. Длительность импульса равняется длительности нажатия. На время действия импульса гаснет индикатор *HL1*;

т) факт замыкания контактов переключателя *S1* определяется только при НИЗКОМ уровне на выходе МК, что повышает помехоустойчивость и снижает расход тока;

у) приём сигнала от кнопки *SB1*, подключённой к удалённому источнику +5 В (1);

ф) сначала линия МК настраивается в режим выхода с ВЫСОКИМ уровнем. Через время, достаточное для заряда конденсатора *C1* через резистор *R1* до напряжения +2...+3 В, линия МК переводится в режим входа АЦП. Расшифровка измерений: 4.5...5 В — контакты 1-2 в *S1* замкнуты, 0...0.5 В — контакты 2-3 в *S1* замкнуты, 2...3 В — контакты 1-2 и 2-3 в *S1* разомкнуты.



⊖ Рис. 3.27. Схемы подключения кнопочных блоков к МК (начало):

а) защитный резистор *R1* является общим для всех кнопок (экономия радиодеталей);

б) подключение нескольких кнопок к цепи питания. Защитные резисторы на входах МК отсутствуют, поэтому в программе не должно быть ошибок, влияющих на смену режима; ⊖

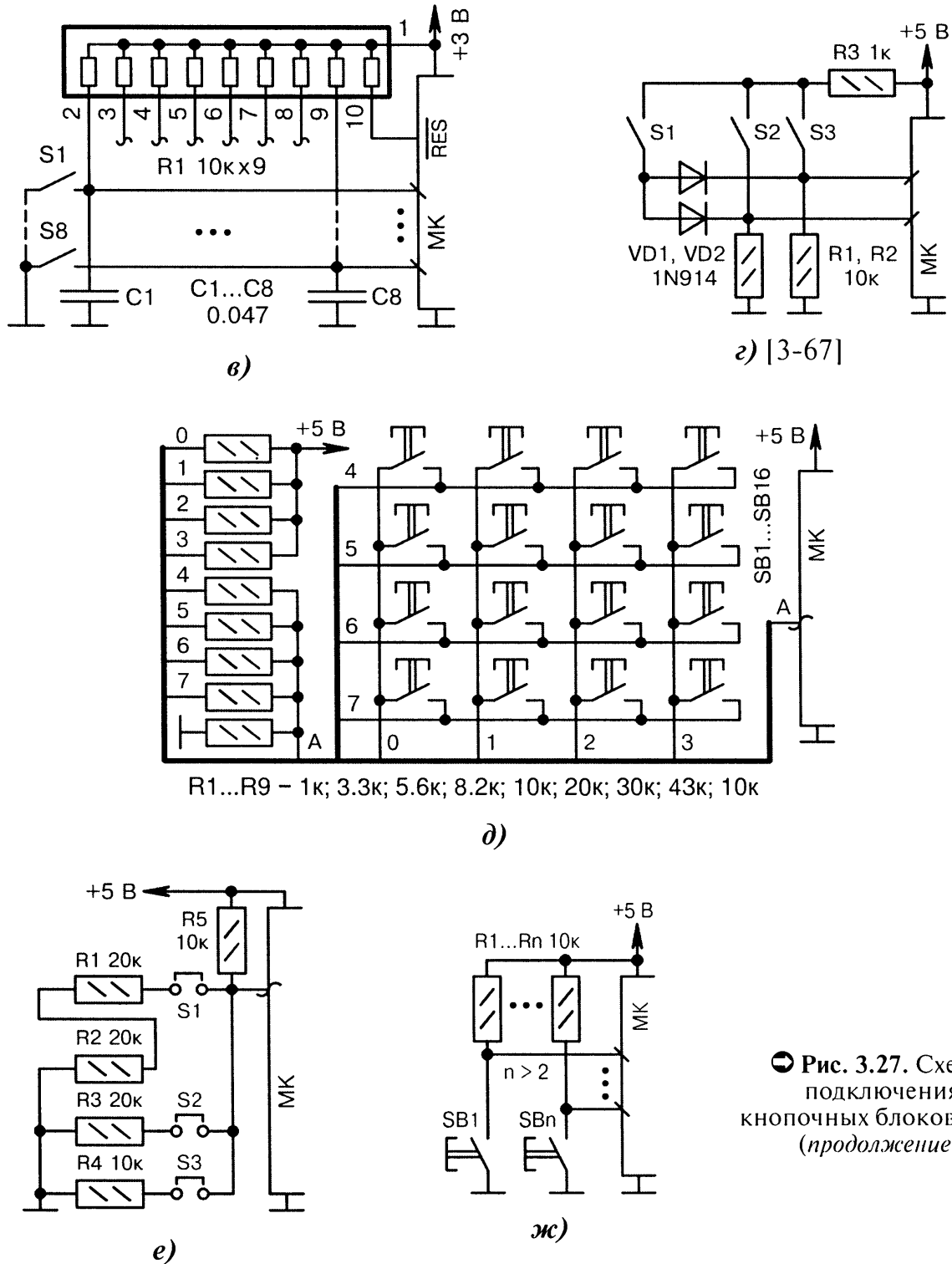


Рис. 3.27. Схемы подключения кнопочных блоков к МК (продолжение):

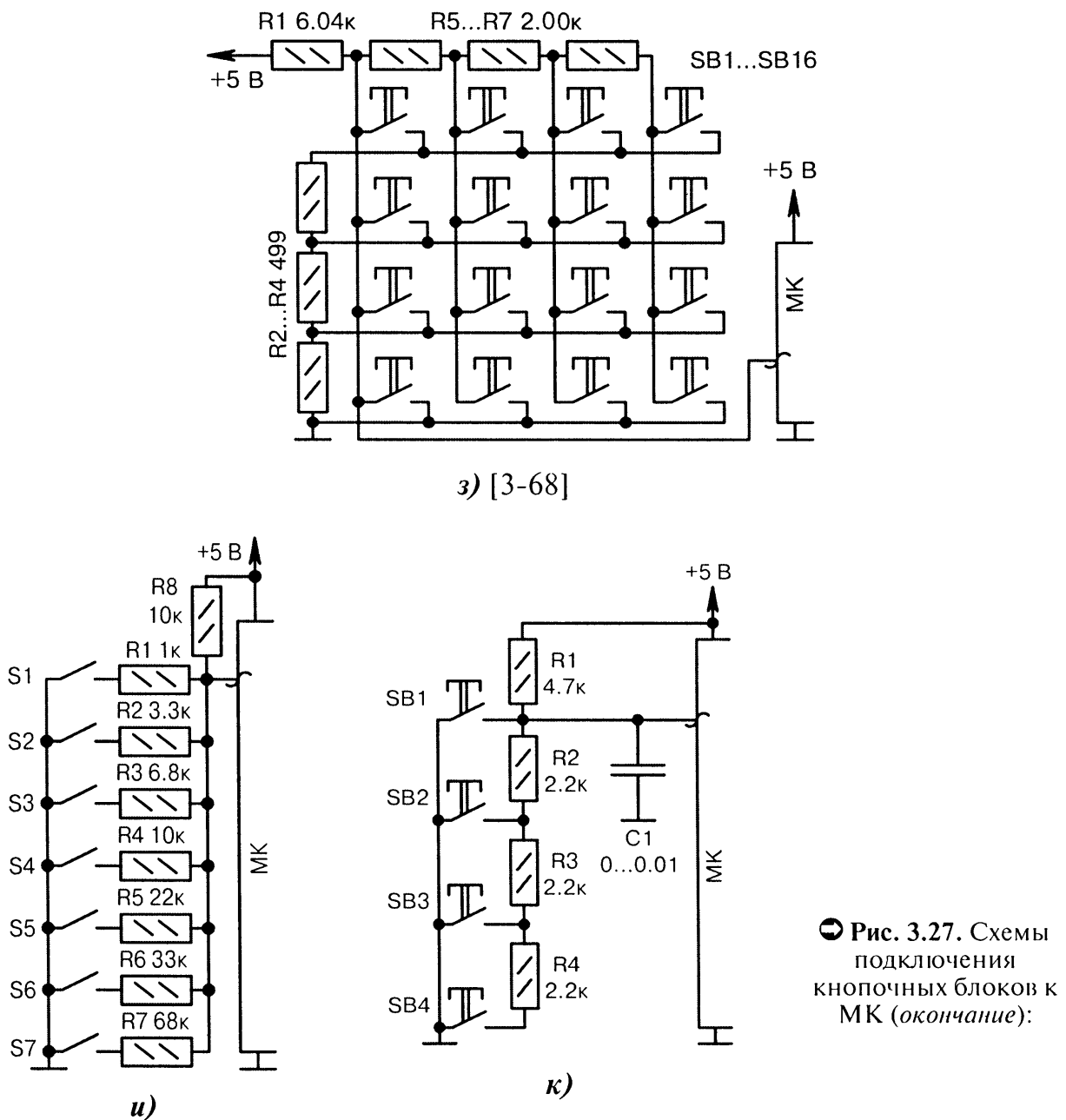
в) резисторная сборка  $R1$  обеспечивает протекание тока через кнопки  $S1 \dots S8$  и «подтягивает» к питанию вход сброса  $\overline{RES}$ . Конденсаторы  $C1 \dots C8$  могут отсутствовать;

г) нажатие кнопки  $S1$  вызывает ВЫСОКИЙ уровень сразу на двух входах МК, что эквивалентно одновременному нажатию кнопок  $S2, S3$ . Резистор  $R3$  защищает входы МК;

д) подключение к МК матрицы из 16 кнопок  $SB1 \dots SB16$ . Каждой нажатой кнопке соответствует своё напряжение на соединительной линии «А» (вход АЦП МК);

е) определение состояния переключателей  $S1 \dots S3$  при помощи измерения напряжения на входе МК через АЦП. Резисторы  $R4, R3, R2 + R1$  должны иметь пропорцию «1 : 2 : 4»;

ж) подключение нескольких кнопок  $SB1 \dots SBn$  к общему проводу (без защиты МК);



з) резисторы  $R1...R7$  образуют высокоточный делитель, выходное напряжение которого зависит от состояния кнопок  $SB1...SB16$ . АЦП МК измеряет это напряжение, устраняет программно «дребезг» контактов и принимает решение, какая из кнопок нажата;

и) через внутренний АЦП МК измеряется напряжение на делителе, образованном резисторами  $R1...R8$ . Это напряжение будет разным в зависимости от порядкового номера нажатого переключателя  $S1...S7$ . Если применить одинаковые резисторы  $R1...R8$  сопротивлением 4.7 кОм, то напряжение на входе МК будет обратно пропорциональным числу любых одновременно нажатых переключателей. Встречающиеся на практике сопротивления резисторов:  $R_1 = 680$  Ом,  $R_2 = 2.2$  кОм,  $R_3 = 4.7$  кОм,  $R_4 = 8.2$  кОм,  $R_5 = 12$  кОм,  $R_6 = 22$  кОм,  $R_7 = 47$  кОм;

к) определение факта замыкания одной из четырёх кнопок  $SB1...SB4$  измерением напряжения на конденсаторе  $C1$  через АЦП МК. Кнопки имеют приоритет нажатия в зависимости от их порядкового номера. Например, если замкнута кнопка  $SB1$ , то кнопки  $SB2...SB4$  не действуют. Если нажата кнопка  $SB4$ , то любая из оставшихся кнопок  $SB1...SB3$  может её «пересилить». Конденсатор  $C1$  снижает помехи и наводки, но в не критичных случаях может отсутствовать.



### 3.3.4. Механические контакты

Датчики, основанные на замыкании механических контактов, по электрической схеме совпадают с кнопками и переключателями. Основное внимание при их применении следует уделить механическим характеристикам, а именно, качеству поверхностей соприкосновения, прочности, гибкости, износоустойчивости материалов контакта.

При макетировании устройства рекомендуется экспериментально набрать статистику о продолжительности «дребезга» контактов, чтобы учесть это время в управляющей программе для МК (Рис. 3.28, а...к).

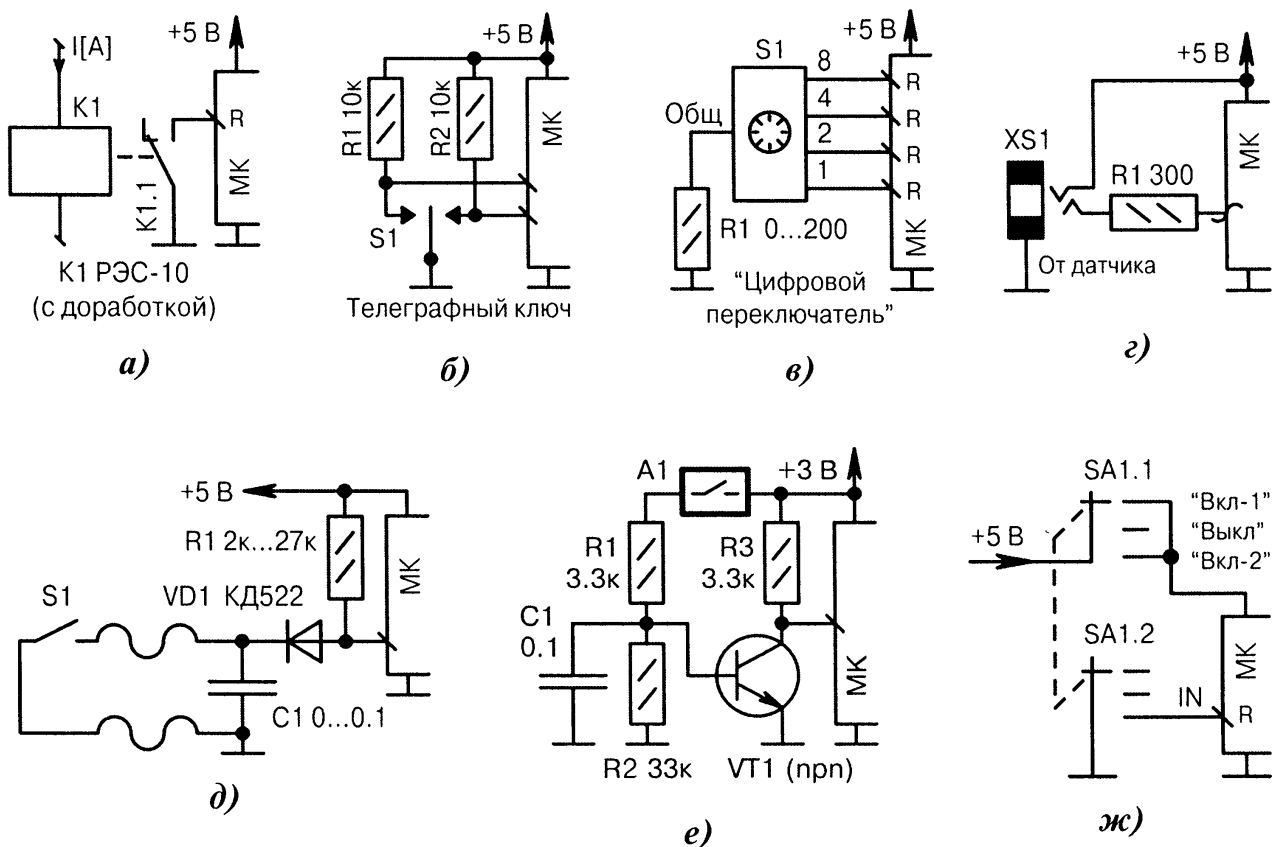


Рис. 3.28. Схемы сопряжения датчиков на механических контактах с МК (начало):

- а) датчик тока на реле  $KI$  с перемотанной обмоткой под требуемый пороговый ток;
- б) стандартное подключение механического телеграфного ключа радиоспортсменов  $S1$ ;
- в) 10-позиционный «цифровой переключатель»  $S1$  соединяет свои выходы «1»...«8» с контактом «Общ» согласно двоичному коду номера выбранного положения «1»...«10»;
- г) в исходном состоянии резистор  $R1$  соединяется с питанием +5 В через нормально замкнутые контакты разъёма  $XS1$ . Штекер, вставляемый в гнездо  $XS1$ , автоматически разрывает эту связь и включает последовательно с резистором  $R1$  датчик, запитываемый от напряжения +5 В;
- д) помехоустойчивое подключение удалённого механического датчика  $S1$ ;
- е)  $A1$  — это механический датчик, имеющий высокое и не очень стабильное сопротивление в замкнутом положении. Транзистор  $VT1$  играет роль порогового и защитного элемента;
- ж) три режима работы переключателя  $SA1$ : «Вкл-1» — подача питания на МК при ВЫСОКОМ уровне на линии «IN», имеющей «pull-up» резистор; «Выкл» — выключение МК снятием питания, «Вкл-2» — подача питания на МК при НИЗКОМ уровне на линии «IN»; ●

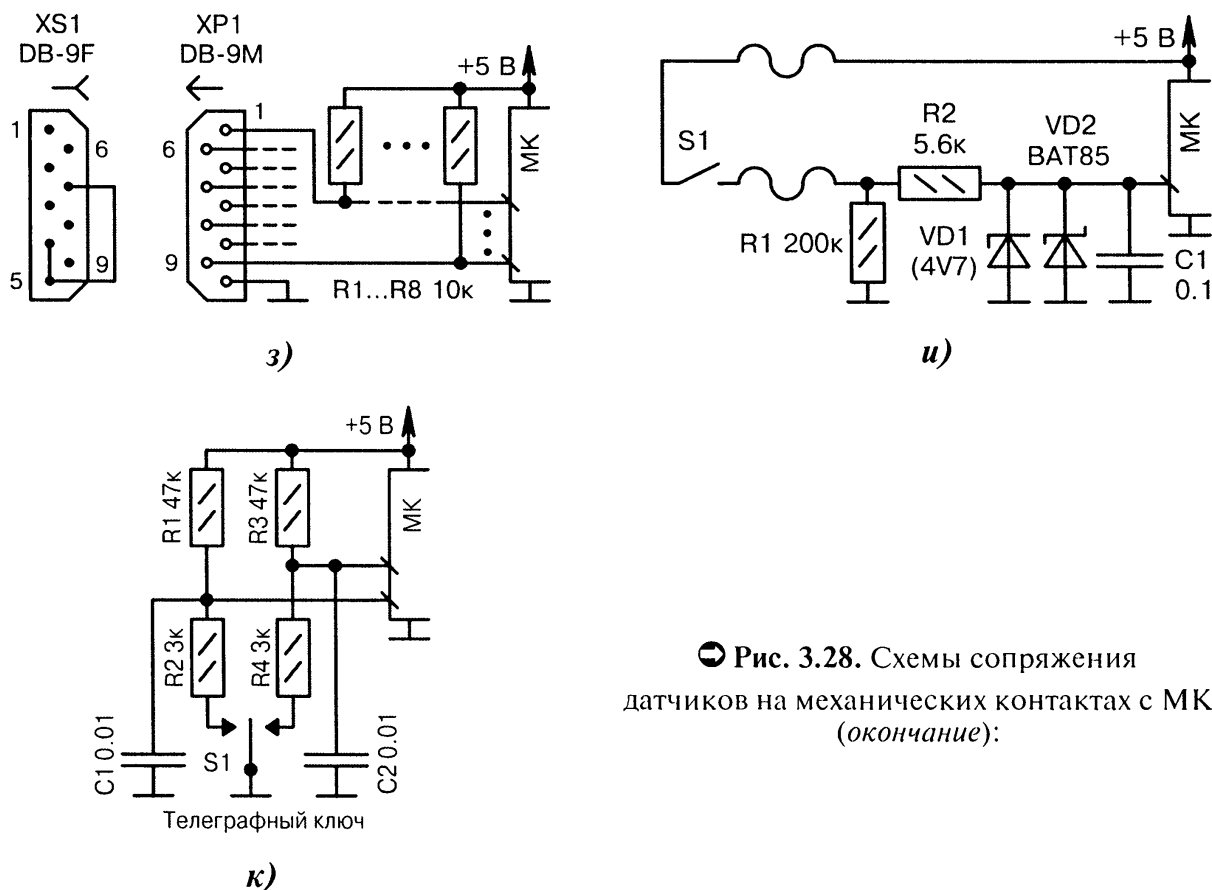


Рис. 3.28. Схемы сопряжения датчиков на механических контактах с МК (окончание):

з) розетка *XS1* является ответной частью к вилке *XP1*, а её соединённые контакты 4, 5, 7 служат секретным ключом разрешения доступа. МК проверяет логические уровни на входах и принимает решение «свой» или «чужой». Ключей может быть несколько. Тип соединителей *XS1*, *XP1* и число контактов в разъёмах не принципиально;

и) резистор *R1* обеспечивает протекание тока через замкнутые контакты переключателя *S1*. Стабилитрон *VD1* защищает вход МК от большого положительного, а диод Шоттки *VD2* — от большого отрицательного напряжения. Резистор *R2* ограничивает ток через *VD1*, *VD2*;

к) элементы *C1*, *C2* уменьшают (но не устраняют полностью) «дребезг» контактов телеграфного ключа *S1*. Окончательное решение МК принимает программно.

### 3.3.5. Реостатные датчики

Датчики, у которых сопротивление изменяется в зависимости от положения движущейся части, относят к классу реостатных. Характерный пример — переменные и подстроечные резисторы, которые бывают следующих разновидностей:

- миниатюрные потенциометры (miniature potentiometer) — мощность 0.05 Вт, напряжение 50 В, сопротивление 500 Ом ... 1 МОм;
- панельные потенциометры (panel potentiometer) — мощность 0.2...2.0 Вт, напряжение 250...350 В, сопротивление 10 Ом ... 1 МОм, допустимое число вращений 50 тысяч (иногда до 1 млн);
- движковые потенциометры (slide potentiometer) — мощность 0.2...0.5 Вт, сопротивление 500 Ом ... 1 МОм;
- подстроечные резисторы (trimmer) — мощность 0.5 Вт, сопротивление 1...10 кОм, допустимое число вращений 200...400.

Различают реостатные датчики угла поворота (angle sensor) и датчики линейных перемещений (linear positioning sensor). Их параметры можно сравнить между собой на примере продукции фирмы BEI Duncan Electronics Division.

Датчики угла поворота: угол вращения  $0...240^\circ$ , сопротивление  $5\text{ кОм} \pm 20\%$ , мощность рассеяния  $0.25\text{ Вт}$ , линейность  $2\%$ , число циклов вращения  $1...5\text{ млн}$ .

Датчики линейного перемещения: сопротивление  $1.7...5.1\text{ кОм}$ , мощность рассеяния  $0.25...0.75\text{ Вт}$ , допустимое напряжение  $20...60\text{ В}$ , линейность  $2\%$ , длина ходовой части  $12...38\text{ мм}$ .

На Рис. 3.29, а...м показаны схемы подключения реостатных датчиков к МК.

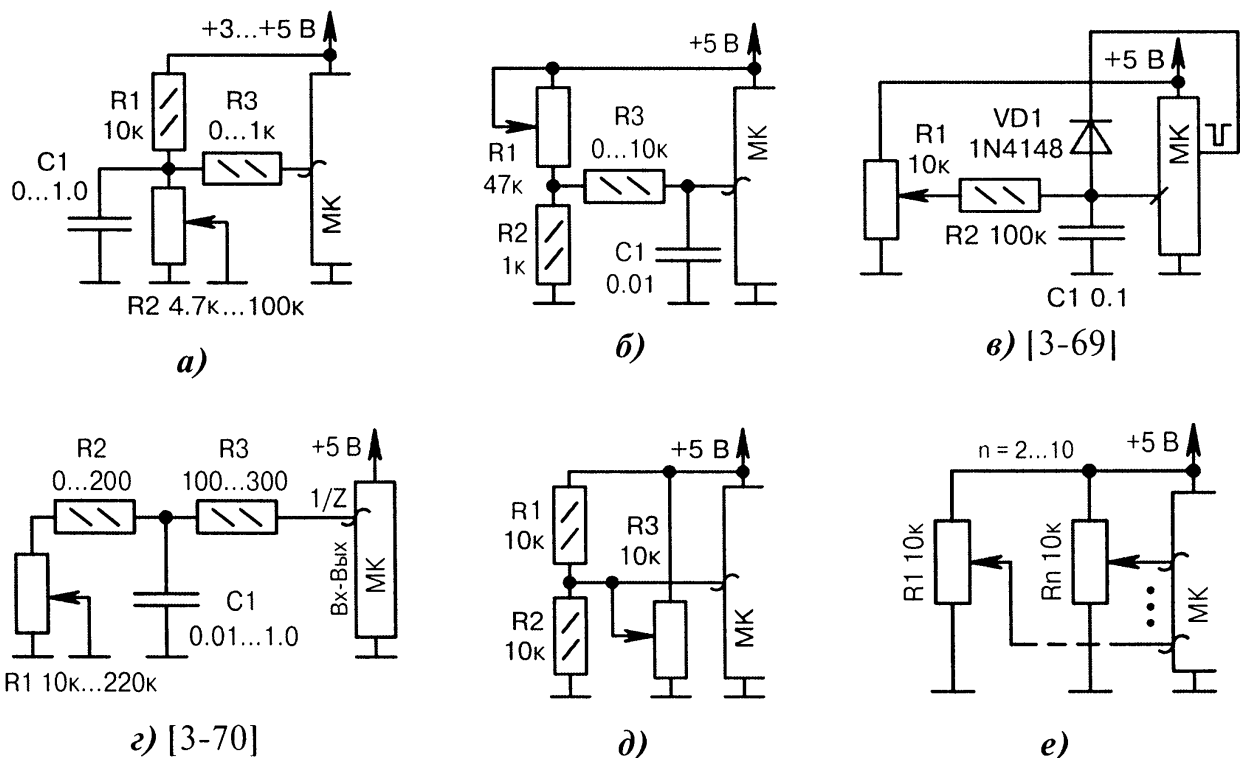


Рис. 3.29. Схемы подключения реостатных датчиков к МК (начало):

а) преобразователь «угол поворота — сопротивление» на переменном резисторе  $R2$ . Напряжение с делителя  $R1, R2$  измеряется внутренним АЦП МК. Конденсатор  $C1$  уменьшает электрический «шорох» контактов, возникающий при вращении ручки резистора  $R2$ . Резистор  $R3$  защищает порт МК. В некритичных случаях он может отсутствовать;

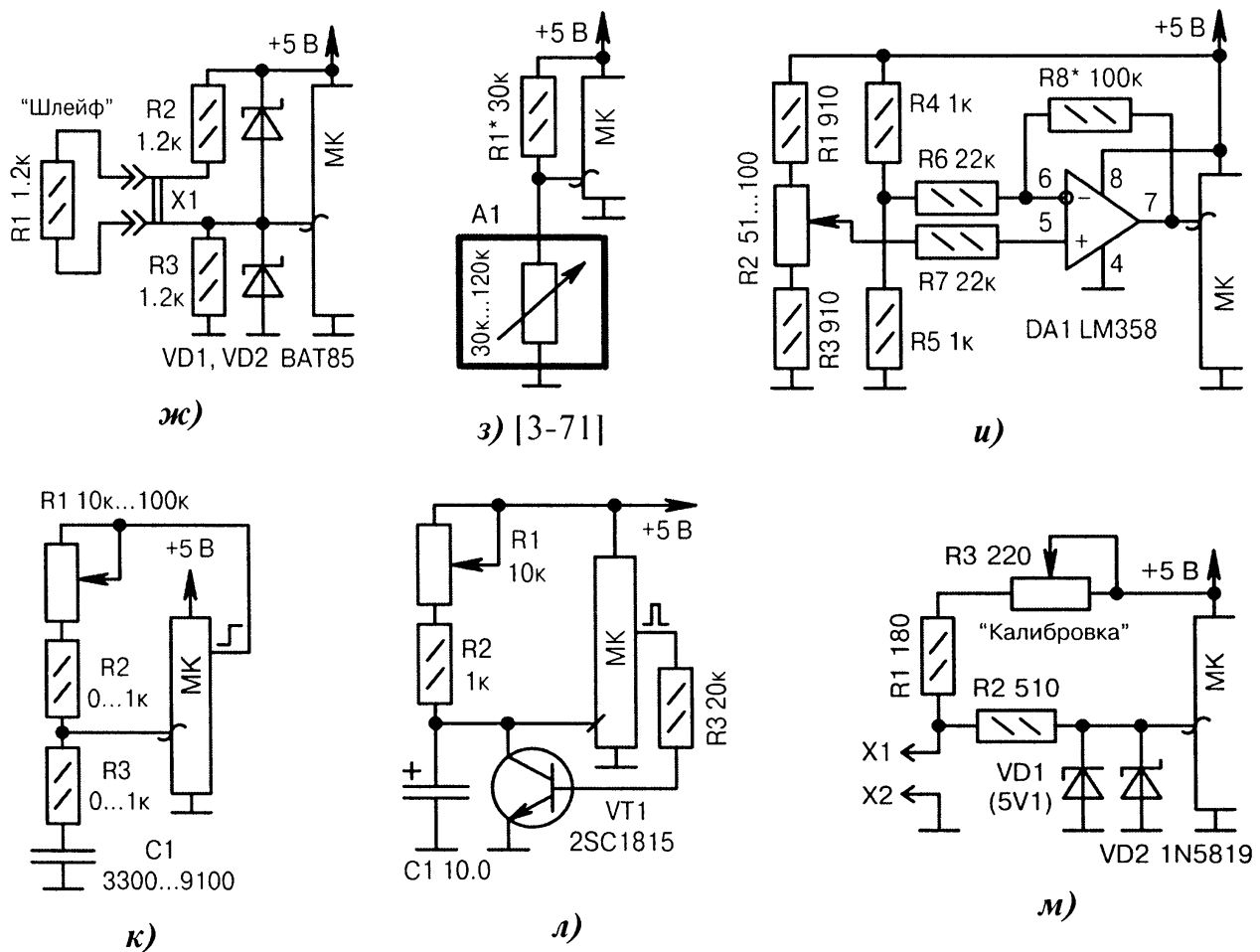
б) аналогично Рис. 3.29, а, но с подключением резистора  $R1$  к цепи питания;

в) конденсатор  $C1$  сначала быстро разряжается через диод  $VD1$  импульсом НИЗКОГО уровня с выхода МК. Затем он медленно заряжается через резисторы  $R1, R2$ . Время заряда до порога срабатывания МК будет пропорционально положению движка резистора  $R1$ ;

г) в исходном положении линия МК находится в режиме выхода с ВЫСОКИМ уровнем, конденсатор  $C1$  заряжен. Далее МК переводится в режим входа без «pull-up» резистора. По таймеру измеряется время разряда конденсатора до определённого порога. Используется АЦП МК или обычная линия порта. Время разряда зависит от положения движка резистора  $R1$ ;

д) резисторы  $R1, R2$  преднамеренно искажают линейную зависимость сопротивления от угла поворота переменного резистора  $R3$ . В крайних положениях его движка будет наблюдаться более резкое, а в середине — более плавное изменение сопротивления;

е) сбор информации о состоянии нескольких реостатных датчиков  $R1...Rn$  через АЦП; Ⓞ



● **Рис. 3.29.** Схемы подключения реостатных датчиков к МК (окончание):

ж) охранной шлейф нагружается на «ключ»  $R1$  с точно известным сопротивлением. При обрыве, закорачивании или внесении в шлейф другого сопротивления, напряжение на входе МК будет отличаться от расчётного. Поскольку «ключей» может быть несколько, то датчик  $R1$  можно условно отнести к классу реостатных с дискретным изменением сопротивления;

з)  $A1$  — самодельный датчик влажности на основе гигристора, который уменьшает своё сопротивление от 120 до 30 кОм при увеличении влажности от 20% до 55%. Конструкция датчика предложена В. Савыкиным и содержит вытравленные дорожки медной фольги на печатной плате, пропитанные раствором поваренной соли;

и) точный датчик  $R2$  с усилителем на микросхеме  $DA1$  (усиление задаётся резистором  $R8$ );

к) в исходном положении конденсатор  $C1$  разряжается НИЗКИМ уровнем с выхода МК. При появлении на выходе ВЫСОКОГО уровня конденсатор начинает заряжаться через резисторы  $R1...R3$ . Скорость заряда зависит от положения движка резистора  $R1$ . Время достижения заданного порога измеряется программным таймером. Для измерений можно использовать канал АЦП МК или обычную линию порта с фиксированным порогом срабатывания;

л) конденсатор  $C1$  имеет большую ёмкость, поэтому его разряжают через открытый транзистор  $VT1$ , а не через линию МК, настроенную как выход с НИЗКИМ уровнем. Логика работы аналогична **Рис. 3.29, к**;

м) измерение малых сопротивлений, подключаемых к контактам  $X1, X2$ . Поскольку измеряемое сопротивление заранее не известно, то его условно можно считать реостатным датчиком. Резистором  $R3$  производится калибровка показаний по образцовому сопротивлению. Элементы  $VD1, VD2$  защищают МК от случайного попадания на контакт  $X1$  высокого напряжения.

### 3.3.6. Датчики уровня жидкости

Датчики уровня жидкости бывают поплавковые, гидростатические, ёмкостные, оптические, термоэлектрические, кондуктометрические (зависящие от электропроводности среды погружения). Датчики последнего типа широко используются в любительских разработках ввиду простоты конструкции.

Принцип их работы. В резервуар с жидкостью помещается один или несколько электродов, закреплённых на разной высоте. Если между электродами нет жидкости, то сопротивление между контактами очень велико. По мере заполнения резервуара, контакты электродов погружаются в жидкость, сопротивление резко уменьшается, что фиксируется измерительными приборами.

Жидкость обязательно должна быть электропроводящей. Сопротивление между электродами (Табл. 3.9) напрямую зависит от расстояния (для воды примерно 20 кОм/см при +25°C), а также от количества растворённых солей и примесей.

Таблица 3.9. Ориентировочные сопротивления между погружёнными электродами

Сопротивление [кОм]	Состав жидкой среды
0.5...1.5	Кислота, щёлочь, расплавленные металлы
5...15	Вода техническая, молоко, пищевые продукты
50...150	Вода водопроводная, слабые растворы солей
400...600	Вода очищенная

Если резервуар с жидкостью является металлическим и соприкасается с грунтовой землёй, то настоятельно рекомендуется применять батарейное/аккумуляторное питание, но не сетевое. Если резервуар пластмассовый, то придётся увеличить на единицу число электродов, чтобы соединиться с общим проводом.

На Рис. 3.30, а...г показано подключение датчиков уровня жидкости к МК.

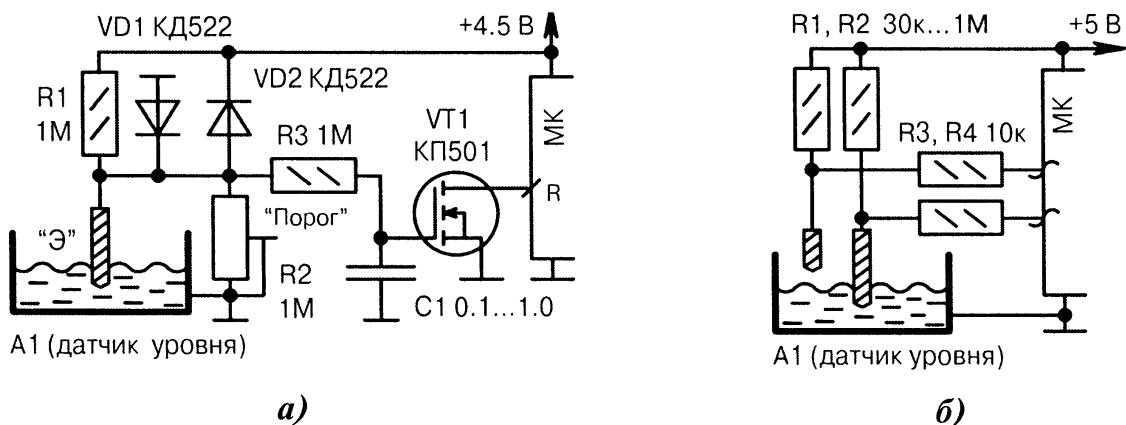
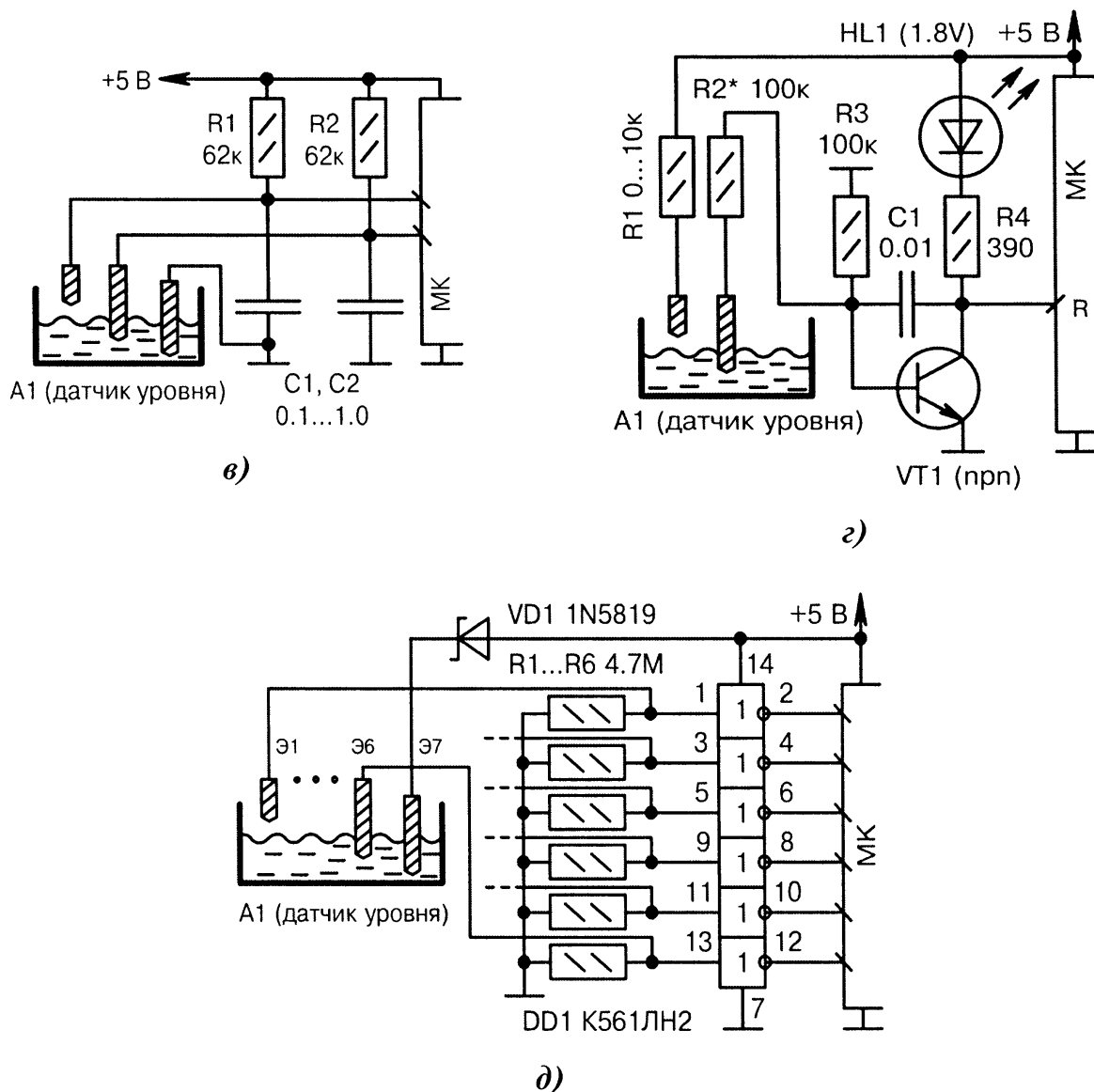


Рис. 3.30. Схемы подключения датчиков уровня жидкости к МК (начало):

а) в исходном состоянии транзистор  $VT1$  открыт. При увеличении уровня жидкости сверх порога, резистор  $R1$  соединяется с общим проводом через электрод «Э» и низкое сопротивление воды, при этом транзистор  $VT1$  закрывается. Диоды  $VD1$ ,  $VD2$  защищают устройство от всплесков напряжения. Конденсатор  $C1$  снижает «дребезг водяных контактов» от ветра и волн;

б) двухэлектродный датчик, применяемый в системах, которые автоматически поддерживают уровень жидкости между первым и вторым штырями. Резисторы  $R1$ ,  $R2$  подбираются в зависимости от электропроводности жидкой среды и служат для калибровки АЦП МК; Ⓞ



⊙ **Рис. 3.30.** Схемы подключения датчиков уровня жидкости к МК (окончание):

в) трёхэлектродный датчик для диэлектрического резервуара или для случая, когда металлический корпус напрямую не соединяется с общим («земляным») проводом. Конденсаторы  $C1$ ,  $C2$  снижают помехи, но не защищают входы МК от случайной подачи высокого напряжения;

г) между МК и датчиком уровня  $A1$  располагается защитный инвертор на транзисторе  $VT1$  со светодиодной индикацией достижения порога. Конденсатор  $C1$  служит интегратором и уменьшает колебательный процесс на фронтах сигналов;

д) многоэлектродный датчик с буферной микросхемой  $DD1$ . Диод Шоттки  $VD1$  защищает цепь питания  $+5$  В от случайного попадания извне высокого положительного напряжения. Резисторы  $R1...R6$  поддерживают НИЗКИЙ уровень на входах КМОП-микросхемы  $DD1$  при отсутствии жидкости в резервуаре.

### 3.3.7. Датчики вибрации

В качестве датчиков вибрации радиолюбители часто используют пьезокерамические излучатели серии ЗП, больше известные как звуковые «пищалки». Ошибки здесь нет. Пьезоизлучатели являются обратимыми приборами, т.е. они могут

генерировать звук (основная функция) или улавливать внешние звуковые колебания (дополнительная функция).

Если корпус «пьезопищалки» жёстко закрепить на шасси исследуемого объекта, то любые щелчки, удары, вибрация будут преобразовываться в переменное или импульсное электрическое напряжение. Полезный сигнал обычно имеет малую амплитуду, поэтому между МК и пьезодатчиком ставят предварительный усилитель. Кроме усиления он играет роль буферной защиты, поскольку резкий и сильный удар по пьезопластине может вызвать короткий импульс очень большой амплитуды, способный повредить МК.

Вместо «пищалок» также используют высокочувствительные промышленные пьезодатчики, применяемые в охранных сигнализациях. Кроме того, в чулане или на чердаке может залежаться старый проигрыватель грампластинок. Его пьезоголовка тоже подходит для экспериментов как хороший высокоомный датчик.

На Рис. 3.31, а...к показаны схемы подключения датчиков вибрации к МК.

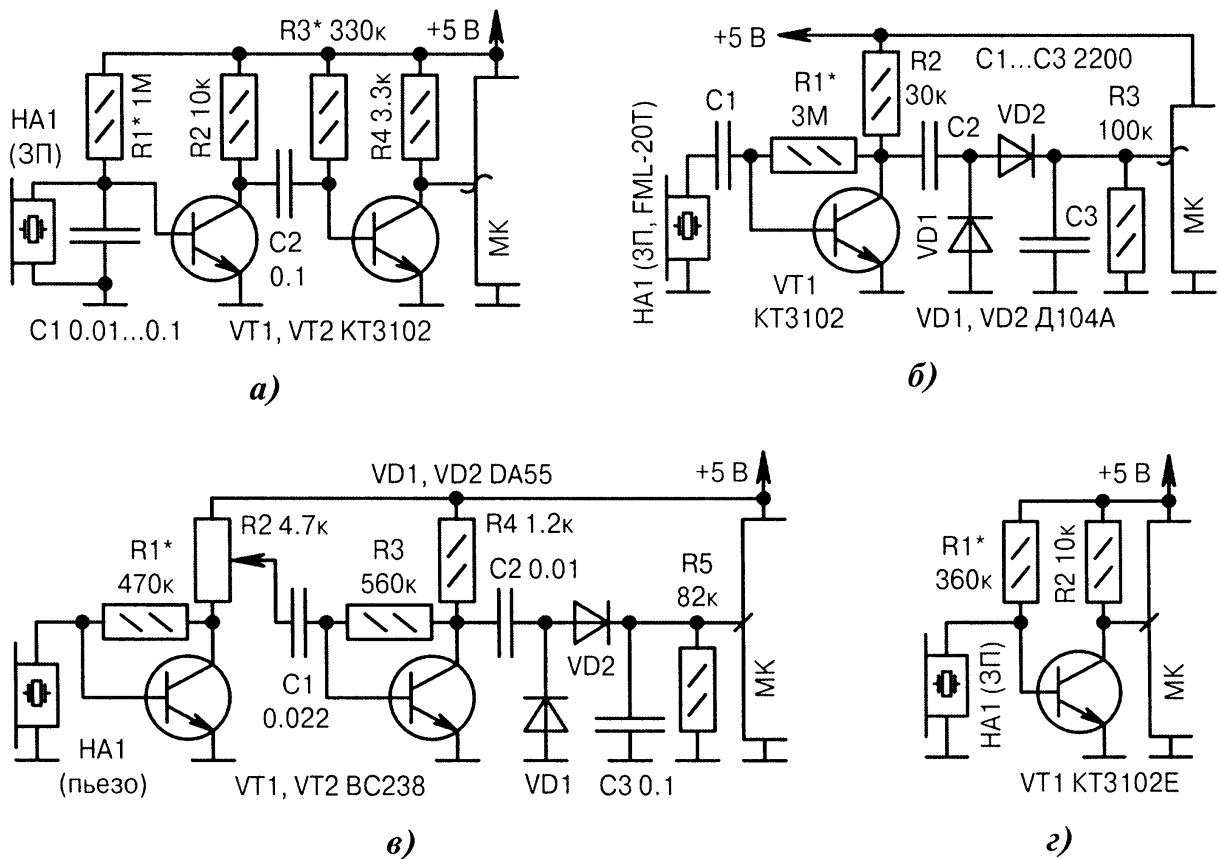


Рис. 3.31. Схемы подключения датчиков вибрации к МК (начало):

а) датчик вибрации *HA1* и МК соединяются между собой через двухкаскадный усилитель на транзисторах *VT1*, *VT2*. Резисторами *R1*, *R3* устанавливают максимальную чувствительность датчика при отсутствии самовозбуждения усилителя;

б) транзисторный усилитель с диодным детектором, удваивающим амплитуду сигнала. Резистором *R1* регулируют симметричность ограничения сигнала на коллекторе транзистора *VT1*;

в) аналогично Рис. 3.31, б, но с дополнительным транзисторным усилителем, с регулятором чувствительности *R2* и с другими номиналами радиоэлементов;

г) резистором *R1* подбирается рабочая точка транзистора *VT1* по максимальной достоверности срабатывания датчика вибрации *HA1* (например, если он слишком чувствительный); ☹

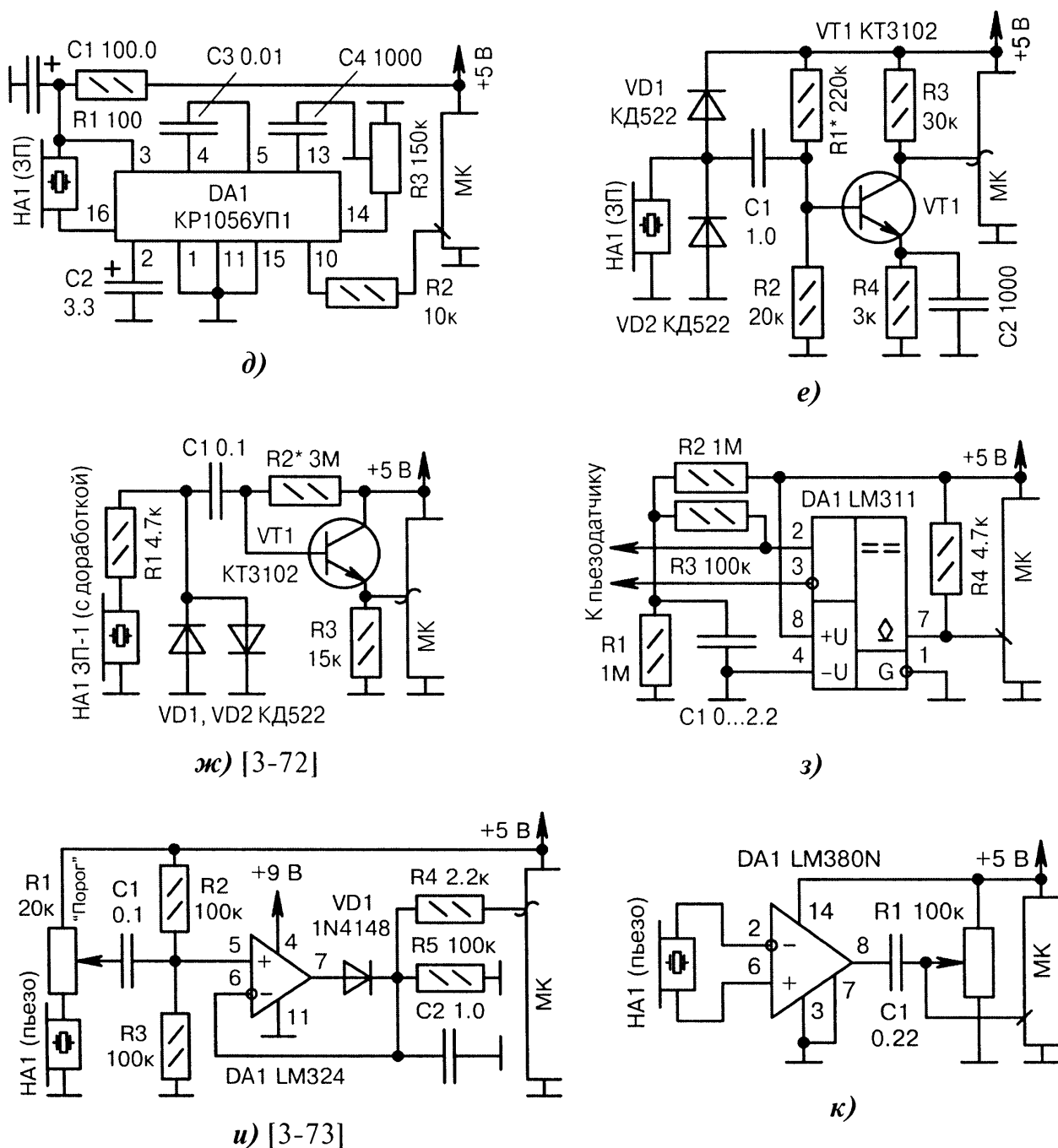


Рис. 3.31. Схемы подключения датчиков вибрации к МК (окончание):

- д) необычное применение телевизионной микросхемы *DA1* в качестве входного усилителя;
- е) диоды *VD1*, *VD2* защищают транзистор *VT1* от всплесков напряжения пьезодатчика *HA1*, а также от электростатических разрядов. Резистором *R1* задают оптимальный режим для АЦП;
- ж) датчик для автомобильного стетоскопа. Диоды *VD1*, *VD2* ограничивают входной сигнал на уровне  $\pm(0.7...0.9)$  В. Резистором *R2* выставляется рабочая точка АЦП МК примерно в середине передаточной характеристики. Доработка датчика *HA1* заключается в его утяжелении;
- з) подключение пьезодатчика к быстродействующему компаратору *DA1*, имеющему «цифровой» выход с открытым коллектором. Напряжение входного сигнала должно быть не более 5 В;
- и) *HA1* — это вибродатчик музыкальной ударной установки. Питание микросхемы *DA1* и МК осуществляется от разных напряжений. Вместо пьезодатчика может без изменения схемотехники использоваться оптодатчик с перекрывающимся световым каналом;
- к) резистором *R1* регулируют порог срабатывания сигнала от датчика вибрации *HA1*.



## 3.4. Ёмкостные датчики

### 3.4.1. Датчики внесения ёмкости

Датчики, реагирующие на внесение в измеряемую цепь дополнительной ёмкости, применяются в охранных системах и в автоматике. Чаще всего ёмкость вносится телом человека, хотя это может быть и другой достаточно массивный предмет.

На Рис. 3.32 показана абстрактная система сенсорного управления с ёмкостной связью, в которой присутствуют три базовых элемента. Во-первых, человек, прикасающийся пальцем или иной частью тела к контактной площадке ХТ1. Во-вторых, объект управления, с которым электрически соединяется площадка ХТ1. В-третьих, земляная поверхность, по отношению к которой рассчитываются монтажные ёмкости  $C1$ ,  $C4$ .

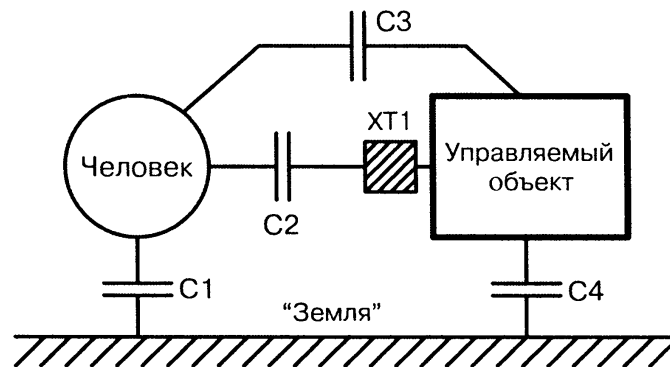


Рис. 3.32. Сенсорное управление объектом.

Ориентировочные значения:

- $C1$  — ёмкость тела человека по отношению к «земле» — 75...200 пФ;
- $C2$  — ёмкость «палец — сенсорная площадка» — 0.1...10 пФ;
- $C3$  — ёмкость «человек — управляемый объект» — 1...10 пФ;
- $C4$  — собственная ёмкость управляемого объекта по отношению к «земле» — 10...300 пФ.

Если учесть, что система должна реагировать не только на конкретного человека, но и на любого прохожего, то становится очевидным факт сложности идентификации показаний. Ёмкости, входящие в цепь управления, зависят от множества трудно учитываемых факторов, в том числе и от геометрических габаритов человека. Разброс составляет один-два порядка, из-за чего возникают проблемы, связанные с неустойчивостью срабатывания, с влиянием помех, с необходимостью периодической калибровки всей системы управления.

Слово «сенсорный», как правило, ассоциируется с ёмкостными датчиками. Однако, «сенсоры» могут использовать и другие физические явления, например, свойство кожи человека проводить электрический ток, отражение луча света, ультразвуковая локация и т.д. Общим для всех сенсорных датчиков является специальная чувствительная (сенсорная) площадка или поверхность.

На Рис. 3.33, а...р показаны схемы подключения датчиков внесения ёмкости к МК.

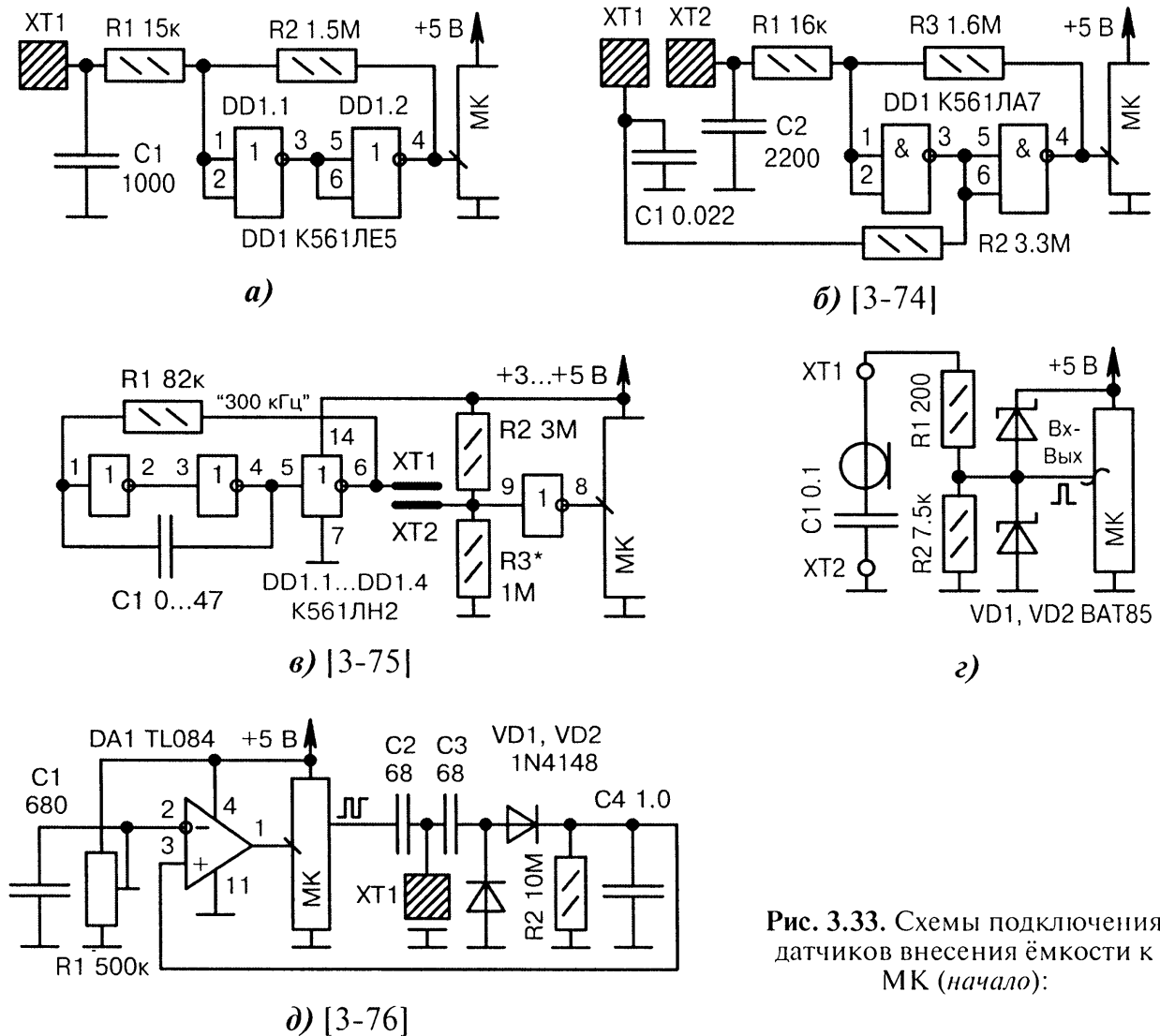


Рис. 3.33. Схемы подключения датчиков внесения ёмкости к МК (начало):

а) инверторы микросхемы *DD1* охвачены положительной обратной связью через резистор *R1*. Это приводит к тому, что небольшое возмущение на входе (например, прикосновение пальцем к «сенсору» *XT1*) вызывает изменение напряжения на выходе, которое регистрирует МК;

б) первоначально конденсатор *C2* заряжен. При замыкании пальцем контактных площадок *XT1* и *XT2*, заряд передаётся на вход триггера, собранного на двух инверторах микросхемы *DD1*, и он изменяет своё состояние до следующего прикосновения;

в) импульсы с частотой около 300 кГц поступают на контактную площадку *XT1* от генератора, собранного на трёх инверторах микросхемы *DD1*. Если замкнуть площадки *XT1* и *XT2* пальцем, то импульсы пониженной амплитуды будут поступать на вывод 9 микросхемы *DD1* и далее на вход МК. Резистором *R3* регулируется чувствительность. Конструкция «сенсоров» *XT1*, *XT2* может быть такой: две медные пластины 60 × 80 мм, расположенные на расстоянии 1...2 мм;

г) кабель охранного шлейфа нагружается не на резистор (как обычно), а на конденсатор *C1*. МК в режиме выхода с **ВЫСОКИМ** уровнем периодически заряжает его через резистор *R1*, а затем измеряет в режиме входа время разряда до определённого порога. Если ёмкость конденсатора будет отличаться от номинала, например, в результате обрыва или закорачивания охранного шлейфа, это отразится на времени разряда. Диоды *VD1*, *VD2* защищают вход МК от наводок;

д) *XT1* — это сенсорная панель, физически расположенная вблизи от общего провода. Благодаря усилителю *DA1* чувствительности датчика достаточно, чтобы прикасаться к площадке *XT1* пальцем через бумагу. Частота генерации «меандра» с выхода МК составляет 100...200 кГц; Ⓢ

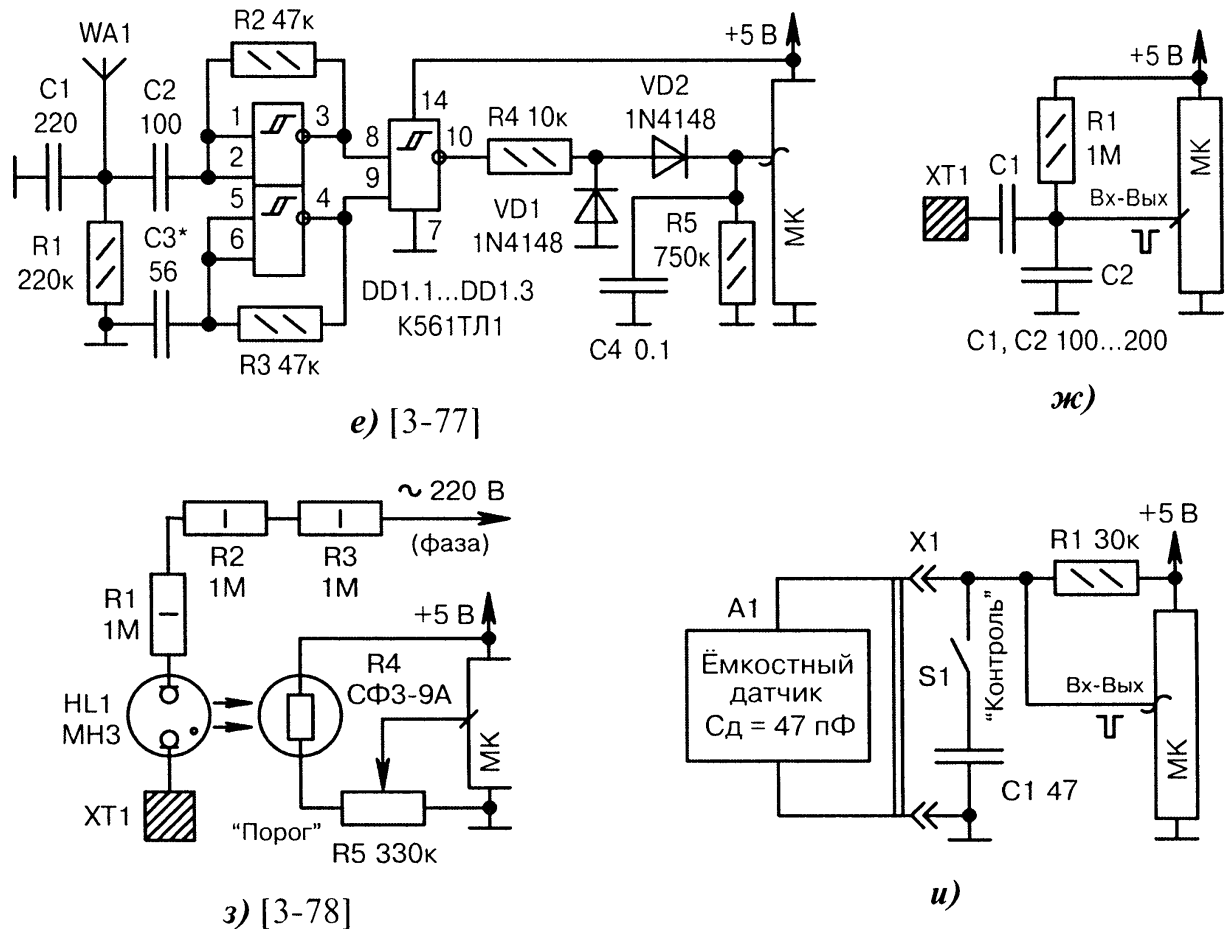


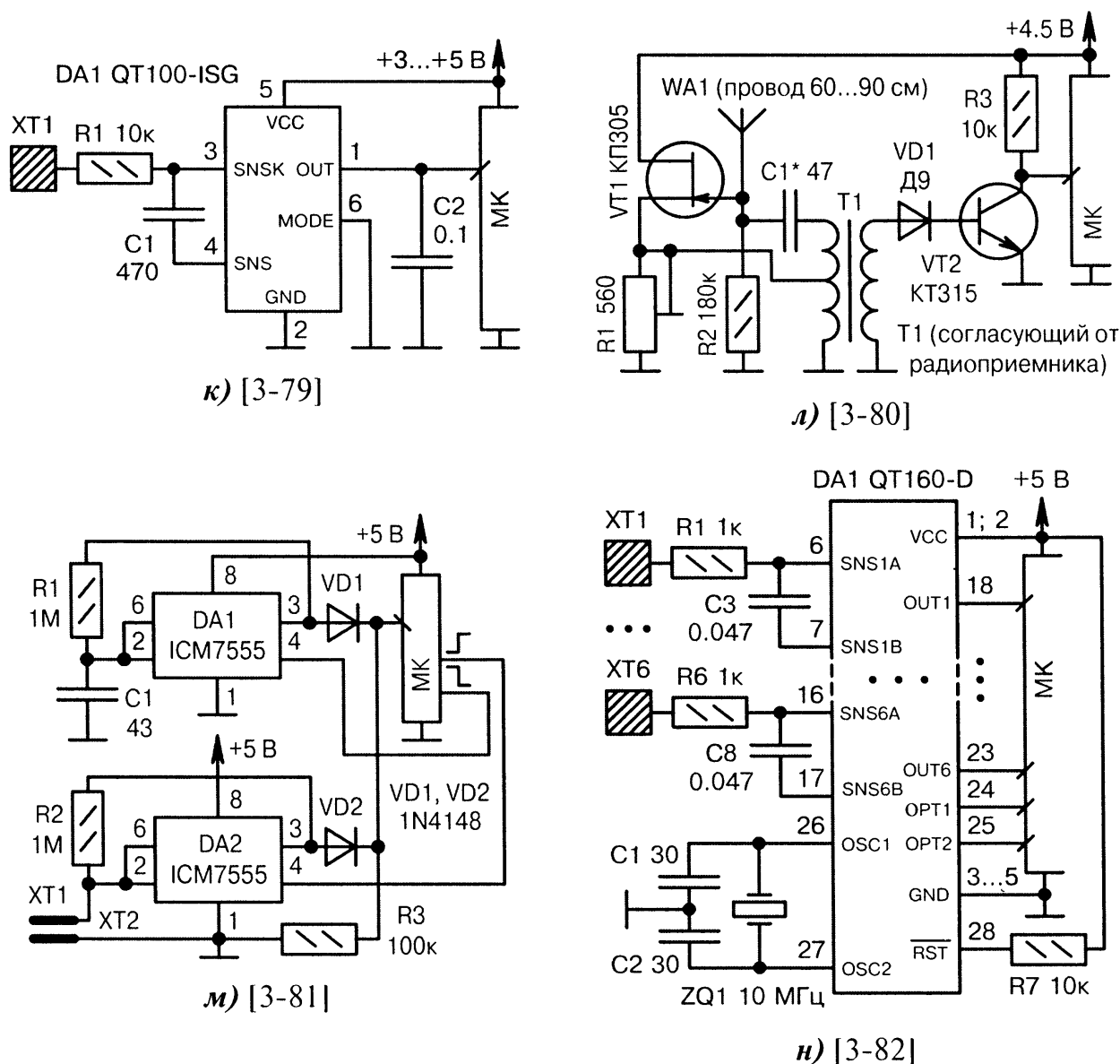
Рис. 3.33. Схемы подключения датчиков внесения ёмкости к МК (продолжение):

е) ёмкостный датчик приближения собран по схеме М.Цакова на двух высокочастотных генераторах (триггеры Шмитта микросхемы *DD1*) с задающими цепочками *R2*, *C1*, *C2* и *R3*, *C3*. Два сигнала частотой 200 кГц суммируются в логическом элементе «2И-НЕ» и детектируются диодами *VD1*, *VD2*. Подбором элементов *C3*, *R3* добиваются начального равенства частот двух генераторов. При приближении руки человека к телескопической антенне *WA1*, понижается частота верхнего генератора и на выходе детектора появляется положительное напряжение, которое измеряется через АЦП МК;

ж) сначала линия МК настраивается в режим выхода с НИЗКИМ уровнем. Затем эта же линия переводится в режим входа без внутреннего «pull-up» резистора. По таймеру МК измеряется длительность переднего фронта заряда конденсаторов *C1*, *C2*, которая зависит от вносимой ёмкости на сенсорной площадке *XT1*;

з) оптоизолированный сенсор с регулируемой чувствительностью. Прикосновение пальцем к контактной площадке *XT1* «зажигает» неоновую лампу *HL1*, которая в свою очередь освещает фоторезистор *R4* и приводит к изменению напряжения на входе МК. Порог срабатывания задаётся резистором *R5*. Резисторы *R1...R3* обеспечивают безопасность человека. Фазный провод сети 220 В легко найти экспериментально, изменив полярность включения вилки в розетку;

и) к разъёму *X1* подключается внешний ёмкостный датчик, например, датчик влажности, состоящий из двух стальных пластин с расстоянием между ними 1...10 мм. Сначала МК выставляет на линии НИЗКИЙ уровень, конденсатор датчика *Cд* разряжается. Затем МК переводит линию в режим входа и через АЦП и таймер измеряет время нарастания напряжения до заданного порога. Для калибровки используется переключатель *S1* и образцовый конденсатор *C1* повышенной точности, при этом основной датчик должен быть отключён; ◀



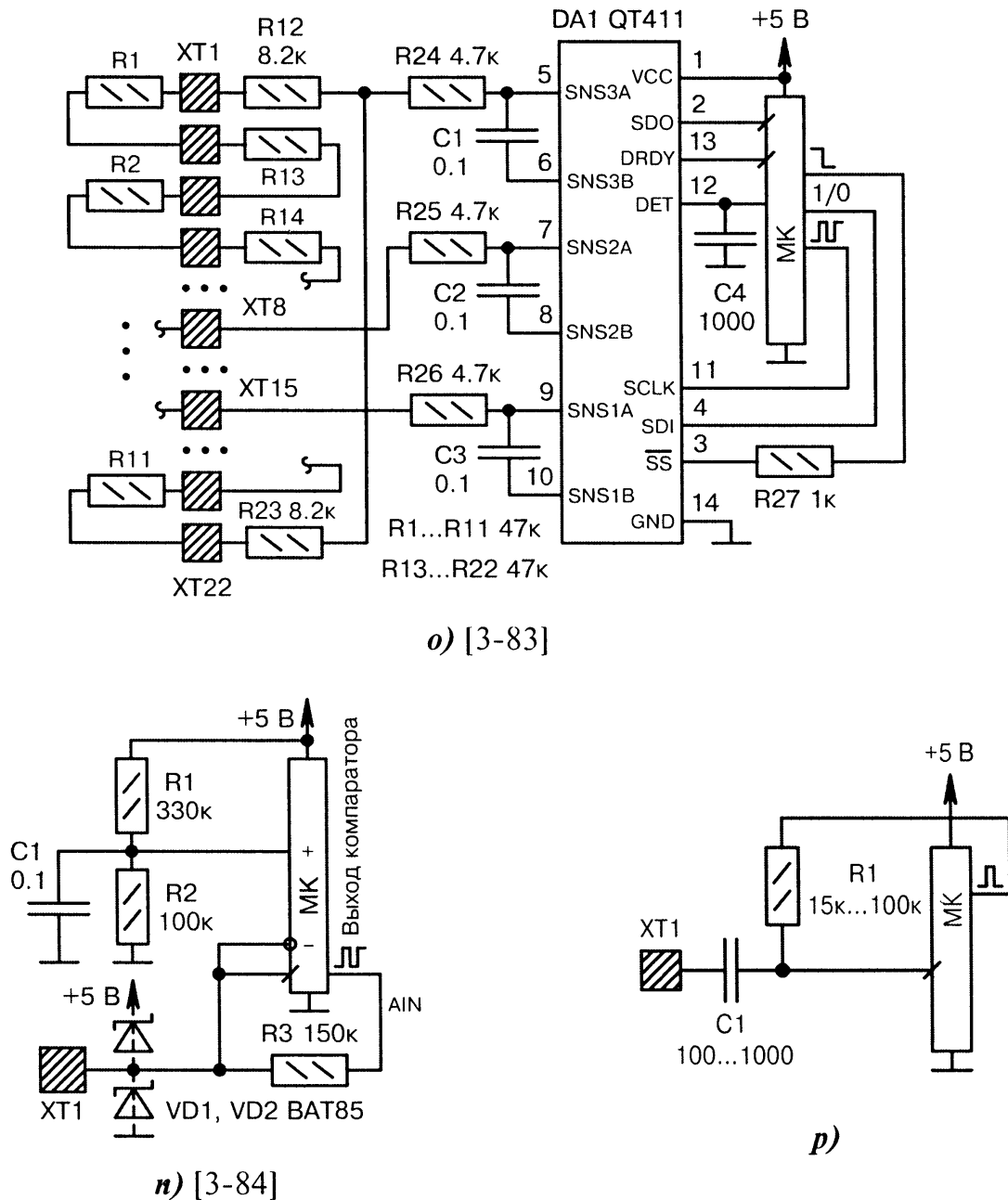
➡ **Рис. 3.33.** Схемы подключения датчиков внесения ёмкости к МК (продолжение):

к) специализированная микросхема *DA1* (фирма Quantum Research Group) принимает сигнал от сенсорной площадки *XT1*, проводит предварительную фильтрацию помех и выдаёт результат *OUT*. Высокая достоверность показаний гарантируется режимом самокалибровки. Прикосновение пальцем может быть через небольшой слой стекла, пластика, камня, керамики, дерева;

л) датчик приближения к антенне *WA1* массивного объекта на расстояние около 50 см. Принцип работы: внесение дополнительной ёмкости в цепь затвора транзистора *VT1* срывает колебания автогенератора, транзистор *VT2* закрывается, после чего сигнал на входе МК изменяет уровень с НИЗКОГО на ВЫСОКИЙ. Питание +4.5 В обязательно батарейное;

м) к контактным площадкам *XT1*, *XT2* подключается любой датчик с диапазоном изменения ёмкости 30...60 пФ. Эта ёмкость определяет частоту генератора на таймере *DA2*. Аналогичный генератор собран на таймере *DA1* и образцовом конденсаторе *C1*. Разность измеренных МК частот пропорциональна вносимой ёмкости. Активизация таймеров проводится поочерёдно установкой противофазных уровней на двух выходах МК. Диоды *VD1*, *VD2* — развязывающие;

н) шестиканальный чувствительный сенсор на специализированной микросхеме *DA1* (фирма Quantum Research Group), которая имеет хорошую помехоустойчивость и обеспечивает высокую достоверность результатов. Рекомендуется для профессиональных применений; ➡



⊖ Рис. 3.33. Схемы подключения датчиков внесения ёмкости к МК (окончание):

o) цифровой «скользящий» потенциометр на базе специализированной микросхемы DA1 фирмы Quantum Research Group. Контакты сенсорных площадок XT1...XT22 должны быть расположены в линию, чтобы к ним удобно было прикасаться. Резисторы R1...R23, соединяющие площадки, желательно применить малогабаритные безвыводные (чип-резисторы);

n) внутренний аналоговый компаратор МК должен работать в режиме «SR Latch» и иметь отдельную линию AIN (Рис. 2.30) с выхода компаратора. Так сделано, например, в МК PIC16F887. Прикосновение пальцем к сенсорной площадке XT1 затягивает передний и задний фронты импульсов, что фиксируется МК. Для защиты линий портов от внешних наводок и статического электричества могут потребоваться диоды VD1, VD2 (показаны пунктиром);

p) МК на своём выходе генерирует импульс положительной полярности и через резистор R1 его же принимает на цифровом входе. Прикосновение пальцем к сенсорной площадке XT1 затягивает фронты импульса. Разница во времени между фронтами идеального (генерируемого) и реального (принимаемого) сигналов пропорциональна вносимой ёмкости.

### 3.4.2. Датчики сетевых наводок

В повседневной жизни нас окружают источники разнообразных электромагнитных полей. В городских условиях самым «всеохватывающим» является излучение сети промышленного переменного тока частотой 50 Гц (60 Гц в некоторых странах дальнего зарубежья). К счастью, сверхнизкочастотные волны малой мощности человеку вреда не приносят, по крайней мере, обратное наукой пока что не доказано.

Сетевые наводки «концентрируются» в помещениях внутри зданий, где проложена электрическая проводка. Для их регистрации применяют простые датчики, приёмным узлом которых служат штыревые антенны и сенсорные площадки. Входное сопротивление датчиков большое, поэтому регистрируется ёмкостная составляющая электромагнитного поля. Примеры устройств — искатели скрытой электропроводки, сенсорные выключатели, датчики присутствия (Рис. 3.34, а...о).

Важный нюанс — в удалённых от цивилизации местах (лес, горы, пустыни), а также на больших открытых местностях датчики сетевых наводок бесполезны.

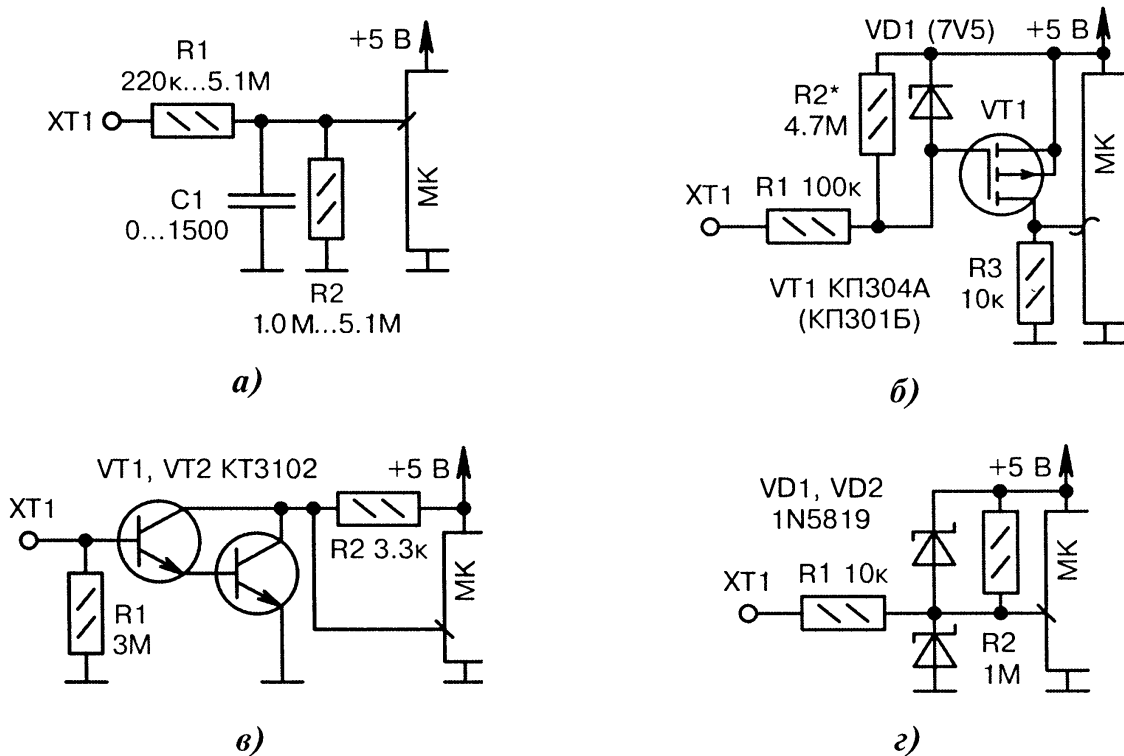


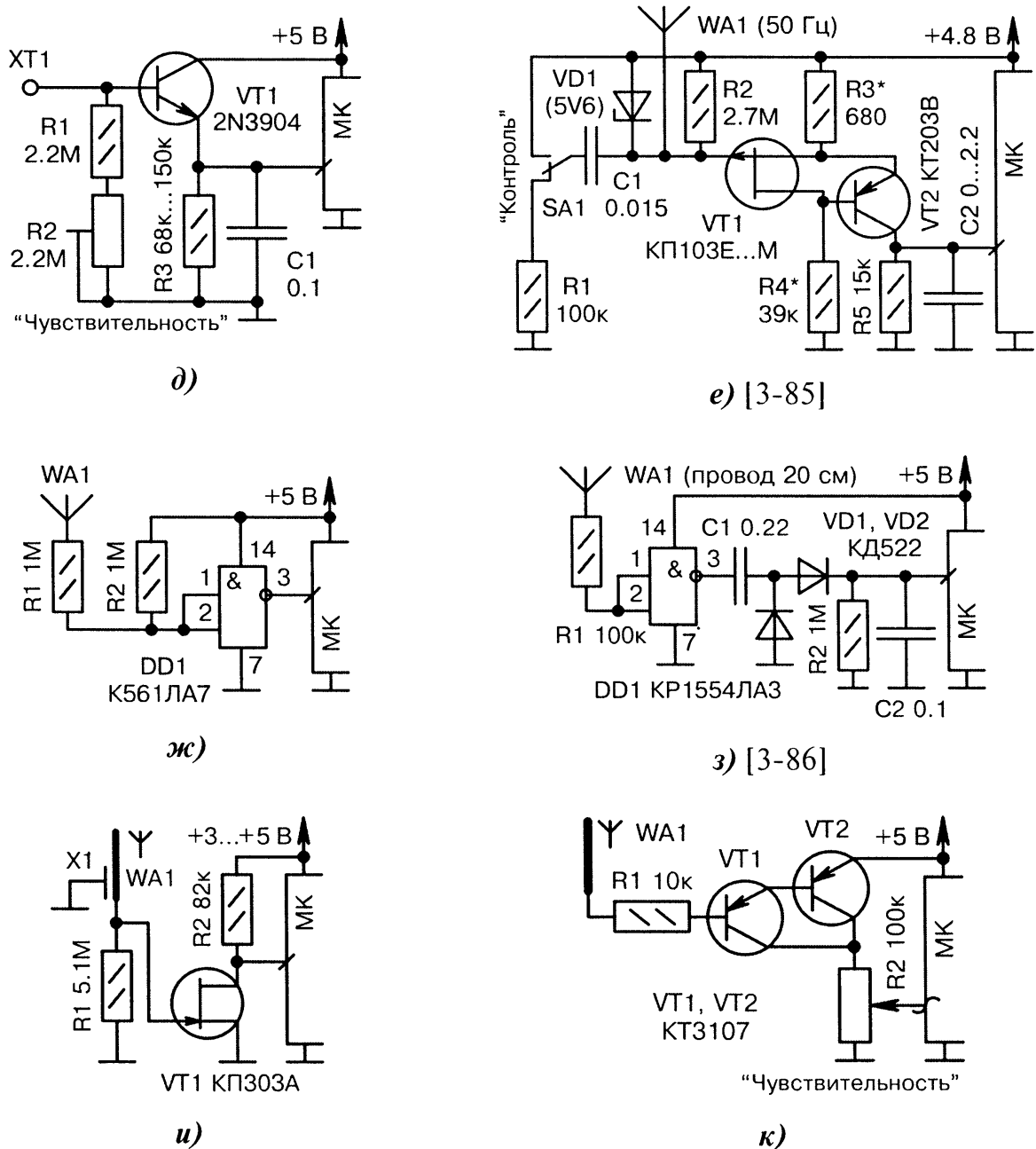
Рис. 3.34. Схемы приёма сигналов от датчиков сетевых наводок (начало):

а) резистор  $R2$  «привязывает» вход МК к общему проводу и, совместно с защитным резистором  $R1$ , обеспечивает большое входное сопротивление устройства;

б) буферный усилитель на полевом транзисторе  $VT1$  имеет высокое входное и низкое выходное сопротивление. При сильном сигнале вместо АЦП можно использовать обычный вход МК;

в) два транзистора  $VT1$ ,  $VT2$  соединяются последовательно, чтобы увеличить входное сопротивление устройства. Для повышения устойчивости рекомендуется включить резистор сопротивлением 47...100 кОм между базой и эмиттером транзистора  $VT2$ ;

г) резистор  $R2$  в данной схеме обязателен. Его нельзя заменить внутренним «pull-up» резистором МК, поскольку резко снижается входное сопротивление (до 30...100 кОм) и ухудшается чувствительность датчика; ☹



⊕ **Рис. 3.34.** Схемы приёма сигналов от датчиков сетевых наводок (*продолжение*):

д) размеры контактной площадки  $XI$  — 4 x 4 см. Эмиттерный повторитель на транзисторе  $VT1$  имеет большое входное и низкое выходное сопротивление;

е) сигнализатор приближения человека к высоковольтной линии электропередачи с частотой 50 Гц. Антенна  $WA1$  выполняется из медной фольги размерами 12 x 120 мм. Переключателем  $SA1$  формируется короткий импульс для проверки исправности устройства;

ж) искатель скрытой проводки или датчик присутствия человека вблизи антенны  $WA1$ ;

з) особенность схемы — выделение огибающей входных импульсов частотой 50 Гц на элементах  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $C1$ ,  $C2$ . Микросхема  $DD1$  имеет большое входное сопротивление;

и) искатель скрытой проводки. Антенна  $WA1$  выполняется из провода длиной 3...10 см. К клемме  $XI$ , соединённой с «землёй», при измерениях прикасаются рукой для повышения чувствительности датчика;

к) разновидность простого искателя скрытой проводки на двух транзисторах проводимости  $p-n-p$ . Антенна  $WA1$  выполняется из провода ПЭВ-1.0 длиной 30 см; ⊕

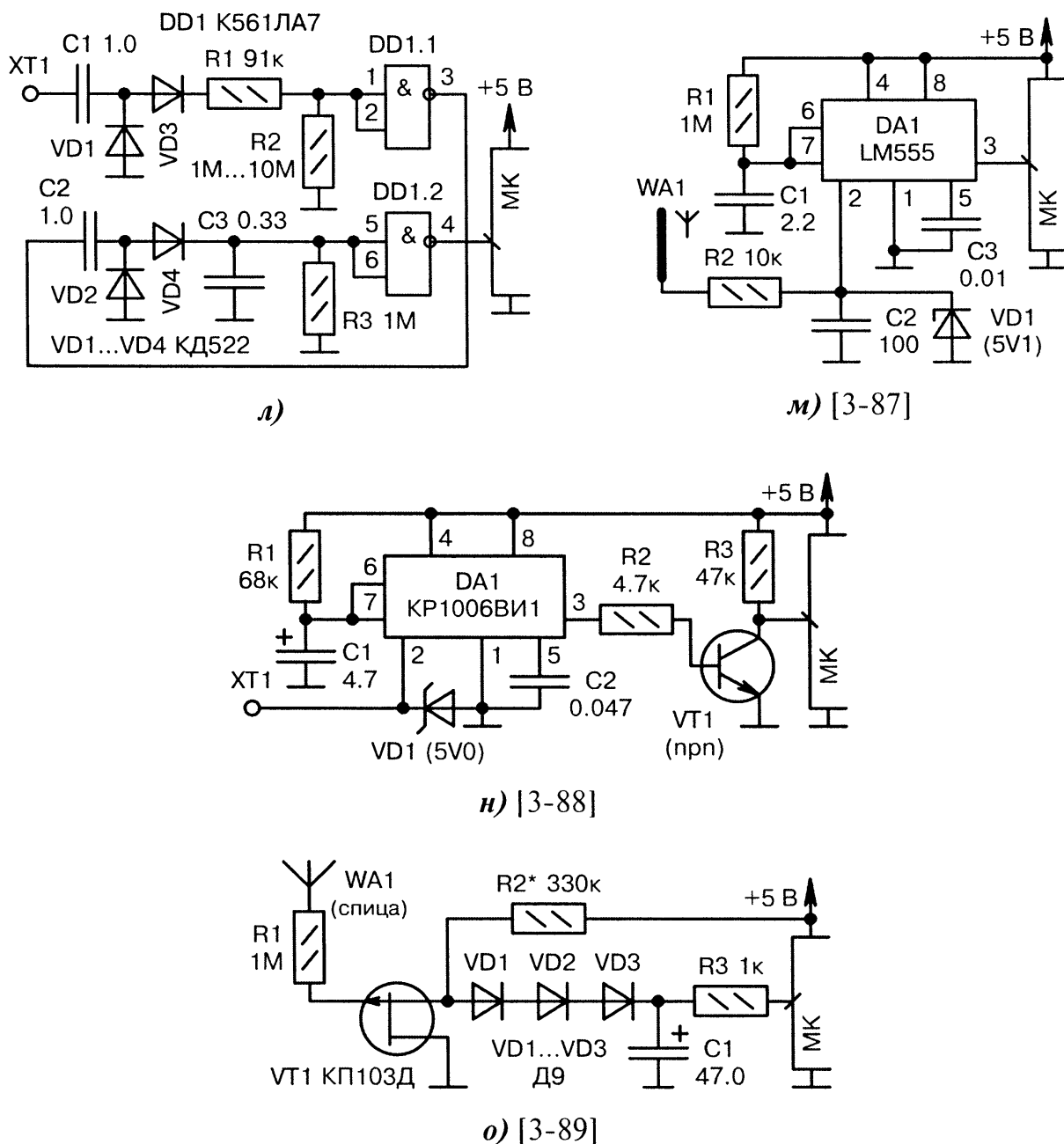


Рис. 3.34. Схемы приёма сигналов от датчиков сетевых наводок (окончание):

л) назначение элементов:  $C1$ ,  $VD1$ ,  $VD3$  — детектор входного сигнала;  $DD1.1$  — преобразователь сигнала в прямоугольную форму;  $C2$ ,  $C3$ ,  $VD2$ ,  $VD4$  — выделитель огибающей;  $DD1.2$  — формирователь сигнала КМОП-уровня для подачи на вход МК;

м) на таймере  $DA1$  собран одновибратор, который формирует на входе МК положительный импульс длительностью 2.4 с. Это происходит всякий раз при касании рукой штыревого датчика в виде антенны  $WA1$ . Стабилитрон  $VD1$  ограничивает напряжение на входе микросхемы  $DA1$ . Конденсатор  $C2$  защищает от радиочастотных помех;

н)  $XT1$  — это металлическая дверная ручка. Прикосновение к ней запускает одновибратор, собранный на таймере  $DA1$ . Ключевой транзистор  $VT1$  увеличивает степень «прямоугольности» сигнала. TVS-диод  $VD1$  защищает устройство от внешних наводок;

о) диоды  $VD1...VD3$  улучшают помехоустойчивость и детектируют входной сигнал. Антенна  $WA1$  выполняется в виде загнутой металлической спицы и устанавливается в удобном по конструкции месте, например, за спинкой кресла.



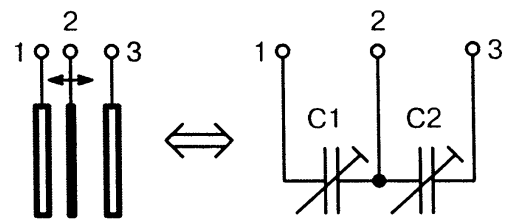
### 3.4.3. Датчики ускорения

Акселерометр — это прибор для измерения ускорений, перегрузок, угла крена. Используется он в авиации, автомобильной промышленности, медицине, системах автоматики и т.д. Главной частью акселерометра является датчик ускорения. До недавнего времени это был технически сложный и дорогостоящий узел, который в радиолюбительской практике не применялся.

Научный прорыв, осуществлённый фирмой Analog Devices, позволил изготавливать датчики ускорения в виде малогабаритных дешёвых интегральных микросхем серии ADXL. Технология получила название iMEMS (integrated Micro Electro Mechanical Systems — интегральные микроэлектромеханические системы). Физический принцип работы системы основан на изменении ёмкости двух конденсаторов, образованных двумя неподвижными и одной подвижной пластиной (Рис. 3.35).

Датчики ADXL (и подобные им датчики производства других фирм) сейчас широко используются при измерениях силы инерции, ударов, вибрации. По сравнению с пьезоэлектрическими акселерометрами, они позволяют измерять не только динамическое, но и постоянное во времени ускорение.

Электронная начинка датчиков ускорения сложная, но на выходе обычно формируются сигналы одного из двух видов: постоянное аналоговое напряжение или импульсы с переменной частотой/скважностью. Различают одно-, двух- и трёхосевые датчики ускорения, соответственно, для контроля линейных перемещений, для движения по ровной поверхности и для полной ориентации в пространстве (Рис. 3.36, а...д).



Датчик ускорения

Рис. 3.35. Эквивалентная схема датчика ускорения.

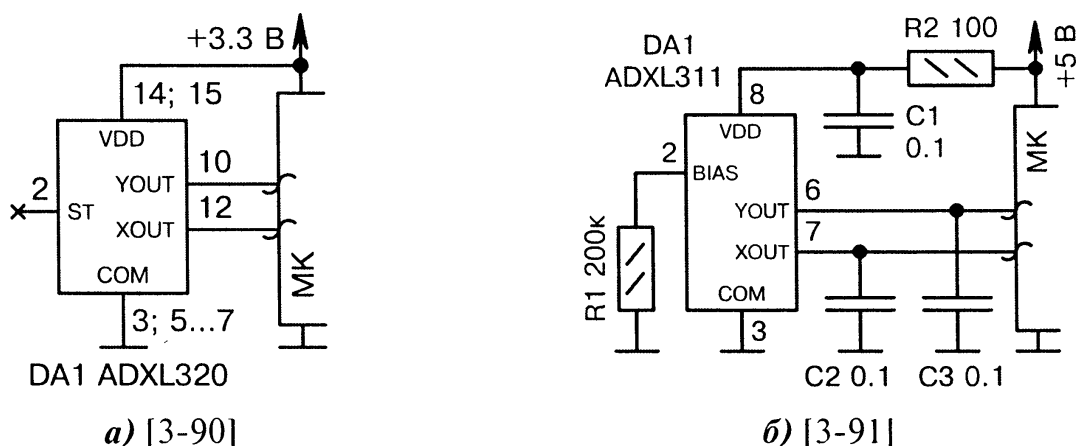


Рис. 3.36. Схемы подключения датчиков ускорения к МК (начало):

а) DA1 — двухосевой акселерометр фирмы Analog Devices (ускорение  $\pm 5$  g). Начальное постоянное напряжение выходных сигналов XOUT, YOUT составляет половину питания. Оно уменьшается/увеличивается пропорционально ускорению по двум осям «X» и «Y»;

б) DA1 — двухосевой акселерометр фирмы Analog Devices (ускорение  $\pm 2$  g). Конденсаторы C2, C3 ограничивают сверху спектр выходных сигналов XOUT, YOUT в диапазоне 0...50 Гц; ⚡

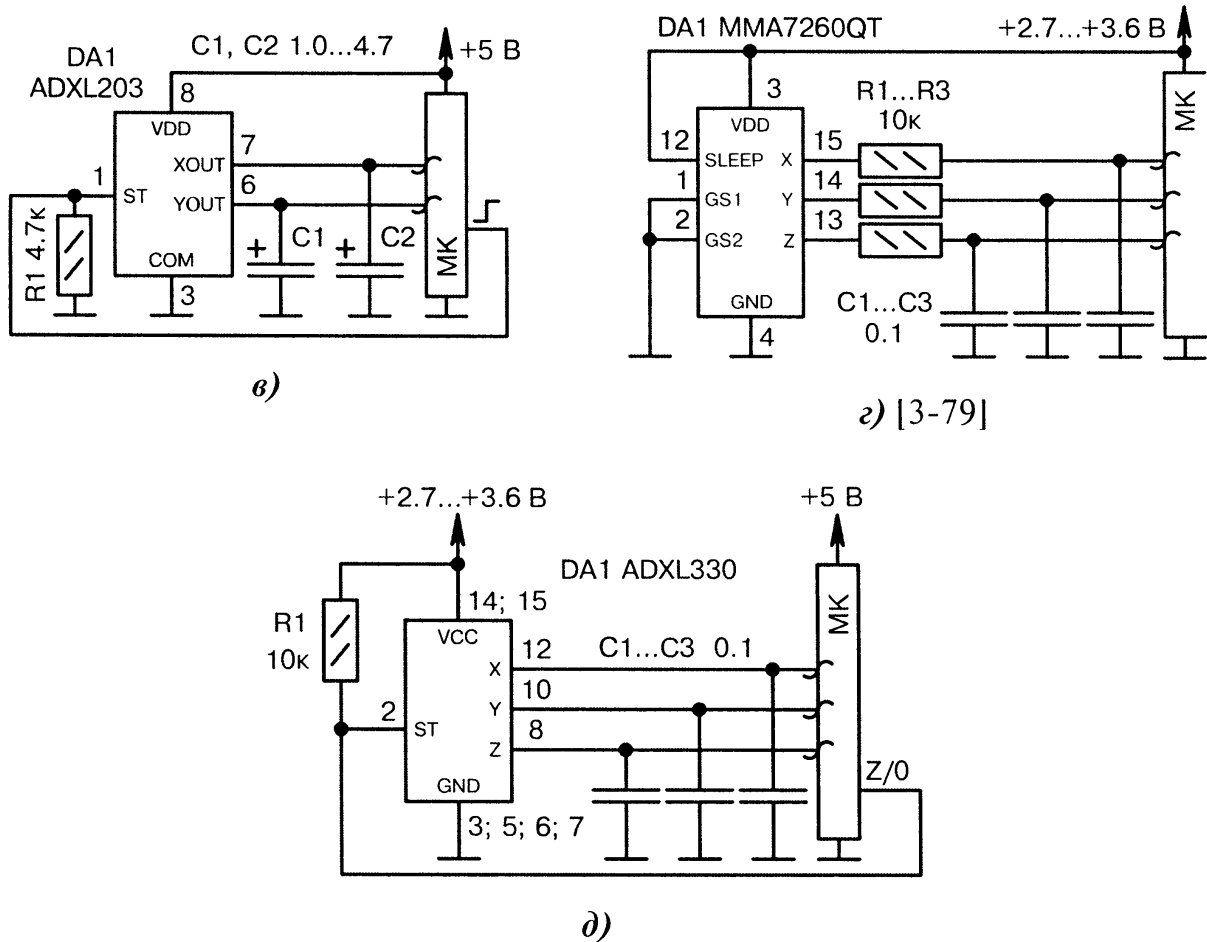


Рис. 3.36. Схемы подключения датчиков ускорения к МК (окончание):

в) подключение двухосевого акселерометра *DA1* фирмы Analog Devices (ускорение  $\pm 1.7$  g). Конденсаторы *C1*, *C2* используются как ФНЧ, каждый в своём канале XOUT, YOUT. Их ёмкости могут быть одинаковыми или разными. Верхняя частота фильтра определяется по формуле  $F_{\text{В}}[\text{Гц}] = 5 / C_{1,2}[\text{мкФ}]$ . Например, если  $C_1 = 1$  мкФ, то полоса частот составляет 0...5 Гц, при этом сглаживаются быстрые колебания амплитуды выходного сигнала. МК может самостоятельно проконтролировать калибровку и исправность микросхемы *DA1*, выставив на её входе ST ВЫСОКИЙ уровень, после чего выходные напряжения становятся равными 750 мВ. Двухосевой датчик *DA1* можно без изменения цоколёвки выводов заменить одноосевым датчиком ADXL103, у которого ось «Y» отсутствует и вывод YOUT никуда не подключается;

г) трёхосевой акселерометр *DA1* (фирма Freescale Semiconductor) обеспечивает измерение ускорений в диапазоне  $\pm 1.5$  g. Если отсоединить выводы *GS1*, *GS2* микросхемы *DA1* от общего провода и подать на них логические уровни в разной комбинации, то можно расширить диапазон измерений ускорения до  $\pm 2$ ;  $\pm 4$ ;  $\pm 6$  g. Ток потребления микросхемы *DA1* не более 500 мкА в рабочем режиме и не более 3 мкА в ждущем режиме;

д) МК и трёхосевой акселерометр *DA1* (фирма Analog Devices) питаются от разных напряжений. Согласование уровней по сигналам X, Y, Z не требуется, поскольку МК измеряет входные напряжения через внутренний АЦП. Резистор *R1* необходим, поскольку на вход тестирования ST нельзя подавать напряжение, большее, чем  $V_{\text{CC}} + 0.3$  В. В связи с этим МК переводит выходную линию в режим входа с Z-состоянием и выставляет на ней только НИЗКИЙ уровень. Конденсаторы *C1...C3* определяют полосу ФНЧ, в данном случае 0...50 Гц. Изменяя их ёмкости в пределах 0.01...4.7 мкФ, можно установить диапазон соответственно от 0...500 Гц до 0...1 Гц.

## 3.5. Акустические датчики

### 3.5.1. Электретные микрофоны

Микрофоны служат для преобразования энергии звуковых колебаний в переменное электрическое напряжение. Согласно классификации, акустические микрофоны делятся на две большие группы:

- высокоомные (конденсаторные, электретные, пьезоэлектрические);
- низкоомные (электродинамические, электромагнитные, угольные).

Микрофоны первой группы условно можно представить в виде эквивалентных переменных конденсаторов, а микрофоны второй группы — в виде катушек индуктивности с подвижными магнитами или в виде переменных резисторов.

Среди высокоомных более доступными являются электретные микрофоны. Их параметры нормируются в стандартном диапазоне звуковых частот, который имеет народное название «два по двадцать» (20 Гц ... 20 кГц). Другие особенности: высокая чувствительность, широкая полоса пропускания, узкая диаграмма направленности, малые искажения, низкий уровень шумов.

Различают двух- и трёхвыводные электретные микрофоны (Рис. 3.37, а, б). Чтобы легче было идентифицировать выходящие из микрофона провода, их намеренно делают разноцветными, например, белый, красный, синий.

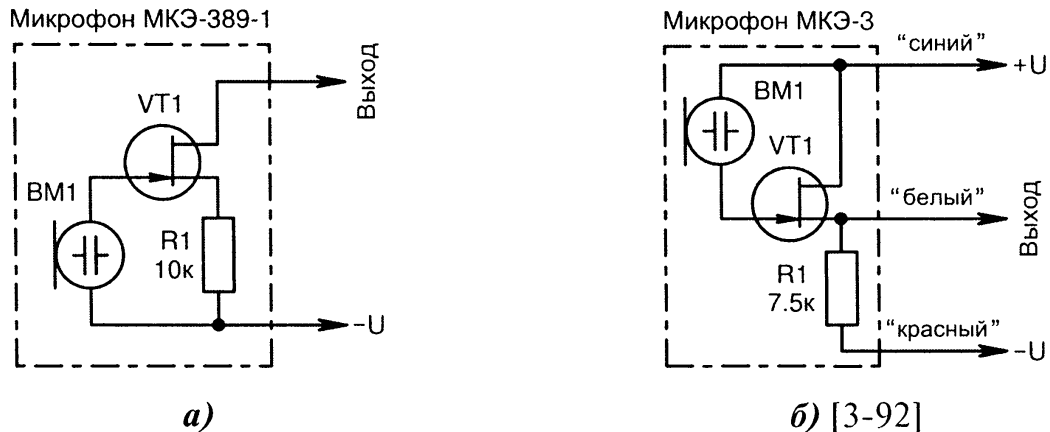


Рис. 3.37. Внутренние схемы электретных микрофонов:  
а) два провода связи; б) три провода связи.

Несмотря на имеющиеся внутри микрофона транзисторы, подавать сигнал с него прямо на вход МК нецелесообразно. Нужен предварительный звуковой усилитель. При этом без разницы, встроен ли усилитель в канал АЦП МК или он является отдельным внешним узлом, собранным на транзисторах или микросхемах.

Электретные микрофоны похожи на пьезодатчики вибрации, но в отличие от последних имеют линейную передаточную и более широкую частотную характеристики. Это позволяет без искажений обрабатывать звуковые сигналы человеческой речи, в чём, собственно, и состоит прямое назначение микрофона.

Если рассортировать электретные микрофоны производства стран СНГ в порядке улучшения их параметров, то получится следующий ряд: МД-38, МД-59,

МК-5А, МКЭ-3, МКЭ-5Б, МКЭ-19, МК-120, КМК-51. Диапазон рабочих частот составляет от 20...50 Гц до 15...20 кГц, неравномерность амплитудно-частотной характеристики 4...12 дБ, чувствительность на частоте 1 кГц — 0.63...10 мВ/Па.

На Рис. 3.38, а, б показаны схемы непосредственного подключения электретных микрофонов к МК. На Рис. 3.39, а...к показаны схемы с транзисторными усилителями, а на Рис. 3.40, а...п — с усилителями на микросхемах.

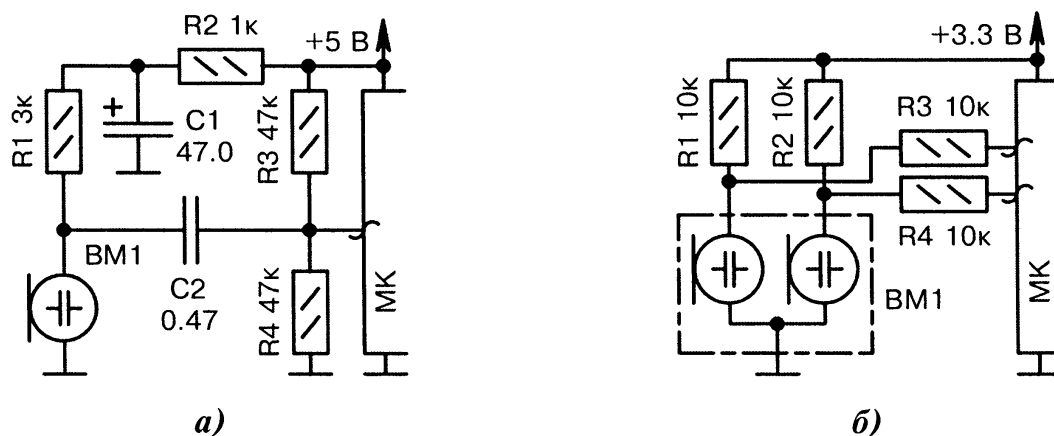


Рис. 3.38. Схемы непосредственного подключения электретных микрофонов к МК:

а) прямое подключение микрофона *BM1* к МК возможно в том случае, если канал АЦП имеет внутренний усилитель сигнала с коэффициентом не менее 100. Фильтр *R2, C1* уменьшает низкочастотный фон от пульсаций питающего напряжения +5 В;

б) подключение стереомикрофона *BM1* к двухканальному АЦП МК, который имеет внутренний усилитель. Резисторы *R3, R4* ограничивают ток через диоды МК при сильных ударах по корпусу микрофона или по самой пьезопластине.

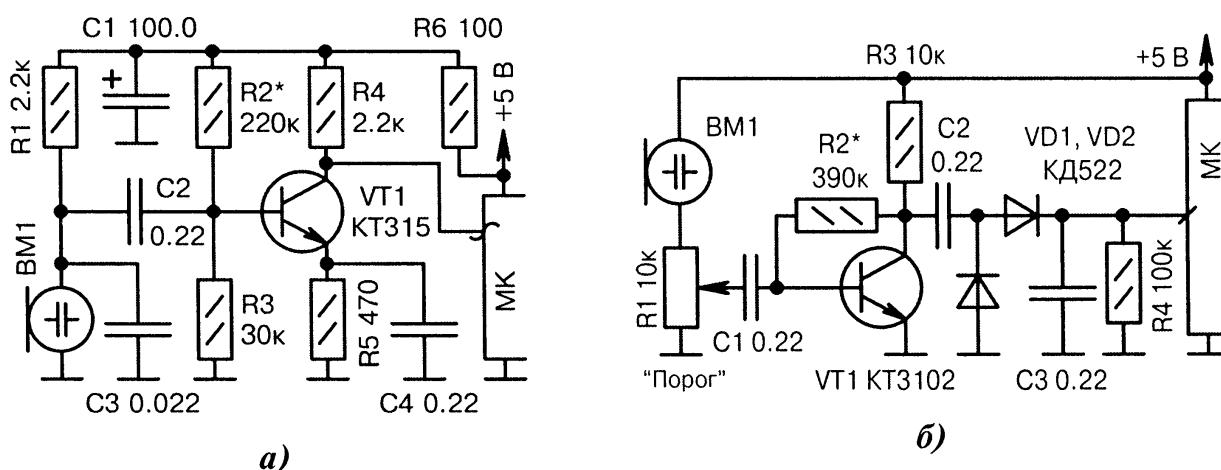
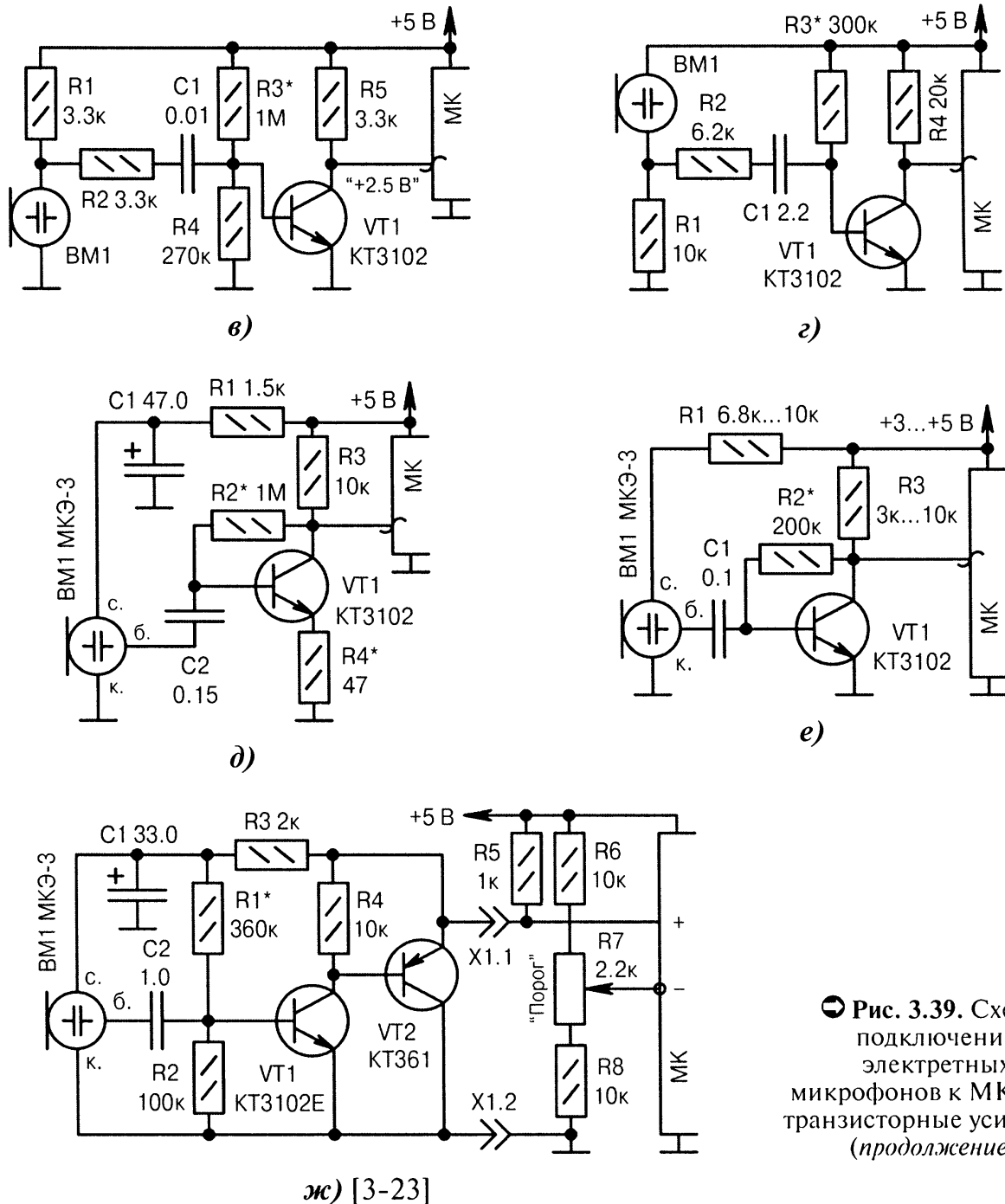


Рис. 3.39. Схемы подключения электретных микрофонов к МК через транзисторные усилители (начало):

а) улучшенная стабилизация рабочей точки транзистора *VT1* за счет резисторов *R2...R5*. Резистором *R2* устанавливают симметричность ограничения звукового сигнала, поступающего на вход АЦП МК от микрофона *BM1*;

б) пороговый акустический сигнализатор с детектором на диодах *VD1, VD2*. Резистор *R1* и микрофон *BM1* можно поменять местами. Резистором *R2* устанавливают на коллекторе транзистора *VT1* постоянное напряжение, близкое к +2.5 В (половина питания); ☉



● Рис. 3.39. Схемы подключения электретных микрофонов к МК через транзисторные усилители (продолжение):

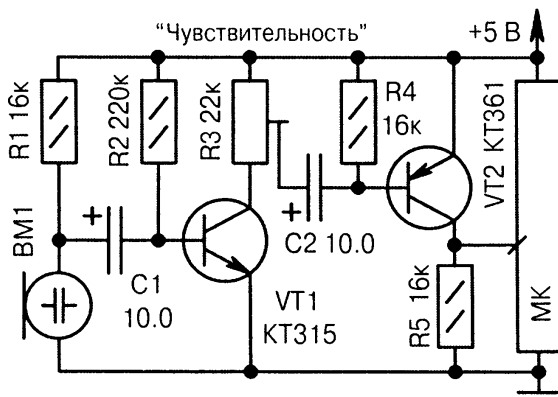
в) транзистор  $VT1$  должен иметь как можно более высокое усиление (коэффициент  $h_{21Э}$ );

г) резистором  $R3$  подбирают напряжение на коллекторе транзистора  $VT1$ , близкое к половине питания (для симметричного ограничения сигнала от микрофона  $BM1$ );

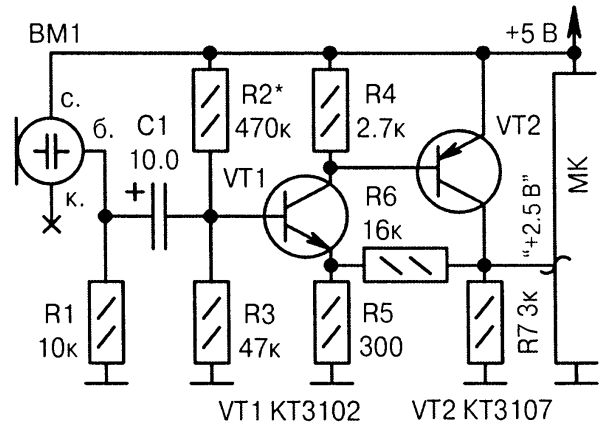
д) цепочка  $R1, C1$  снижает амплитуду сетевых пульсаций от источника питания  $+5\text{ В}$ , в связи с чем уменьшается нежелательный «рокот» с частотой  $50/100\text{ Гц}$ . Здесь и в дальнейшем буквы «с», «б», «к» будут обозначать цвет проводов микрофона «синий», «белый», «красный»;

е) упрощённое подключение трёхвыводного микрофона  $BM1$ . Отсутствие резистора в эмиттере транзистора  $VT1$  уменьшает входное сопротивление каскада;

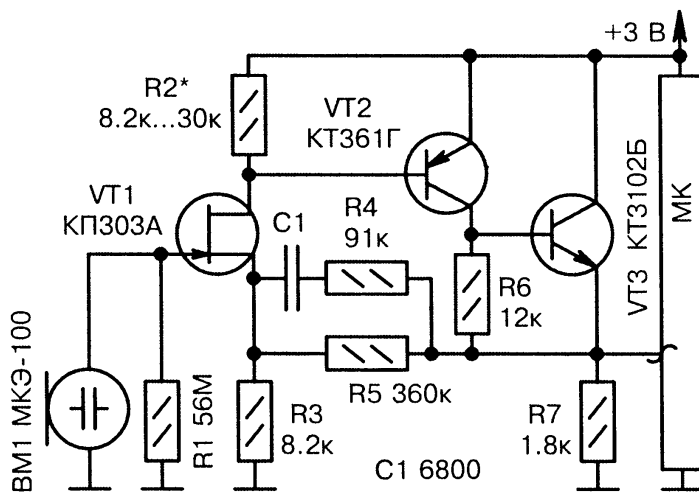
ж) удалённый «микрофон-двухполюсник» с фантомным питанием транзисторов  $VT1, VT2$  через резистор  $R5$ . Резистором  $R1$  подбирают напряжение  $+2.4\dots+2.6\text{ В}$  на эмиттере транзистора  $VT2$ . Аналоговый компаратор МК фиксирует моменты, когда сигнал от микрофона больше определённого порога, который задаётся резистором  $R7$ ; ●



з)



u) [3-93]



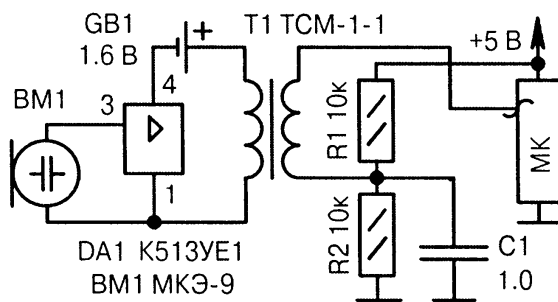
к) [3-94]

Рис. 3.39. Схемы подключения электретных микрофонов к МК через транзисторные усилители (окончание):

з) транзистор  $VT2$  работает в режиме отсечки, в связи с чем синусоидальные звуковые сигналы от микрофона  $BM1$  становятся прямоугольными импульсами;

и) подключение трёхвыводного микрофона  $BM1$  по двухпроводной схеме. Микрофон  $BM1$  и резистор  $R1$  можно поменять местами. Резистором  $R2$  подбирают напряжение на входе МК, близкое к половине питания;

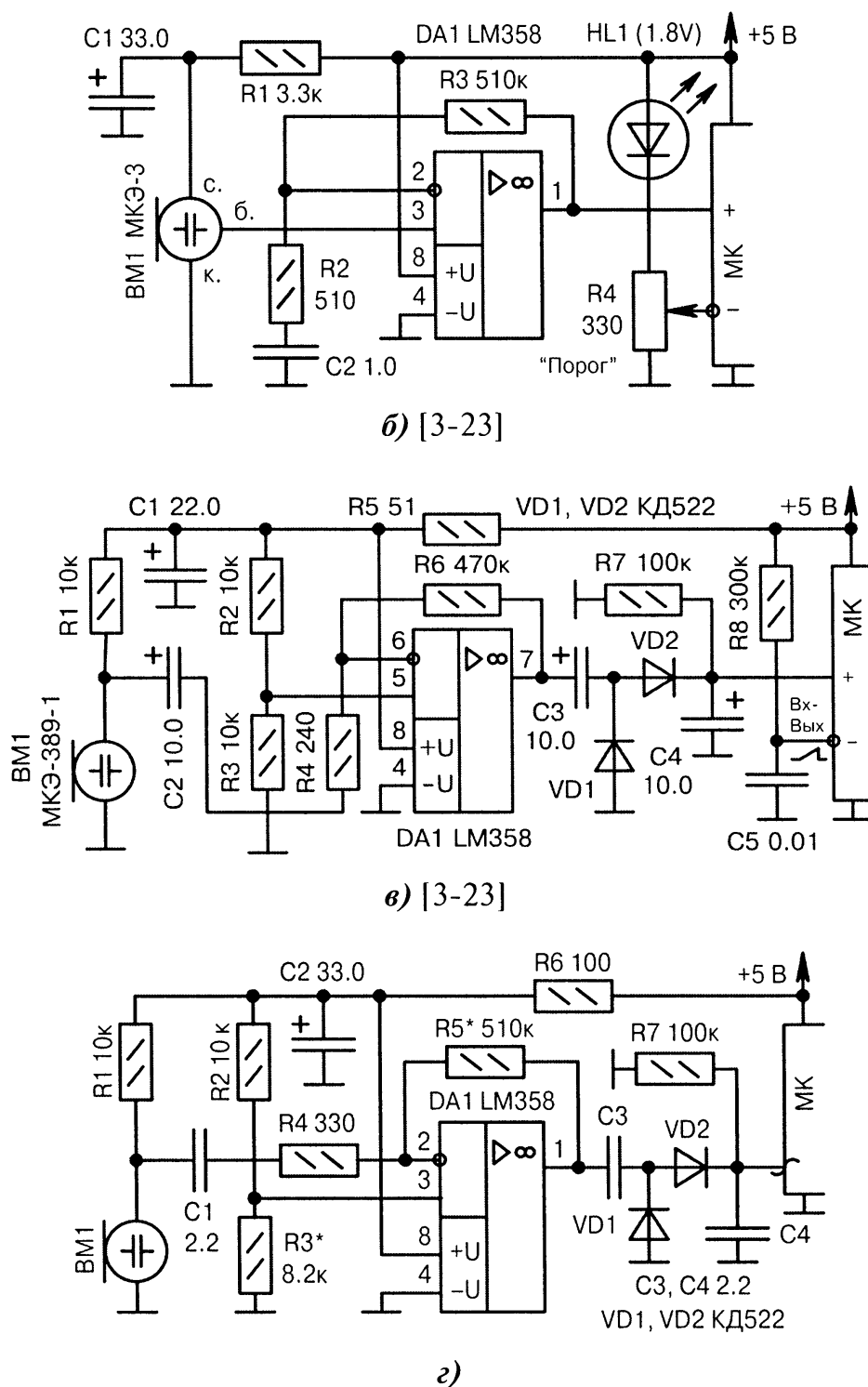
к) резистором  $R2$  подбирают напряжение на входе МК, близкое к +1.5 В.



а)

Рис. 3.40. Схемы подключения электретных микрофонов к МК через усилители на микросхемах (начало):

а) трансформаторная развязка позволяет вынести элементы  $BM1$ ,  $DA1$ ,  $GB1$ ,  $T1$  на большое расстояние, при этом следует защитить вход МК диодами Шоттки. Ток потребления микросхемы  $DA1$  сверхнизкий, что позволяет не ставить выключатель в цепь батареи  $GB1$ ; Ⓞ



➊ Рис. 3.40. Схемы подключения электретных микрофонов к МК через усилители на микросхемах (продолжение):

б) усилитель для микрофонной «светомузыки». Резистором  $R_4$  устанавливают порог срабатывания аналогового компаратора МК в пределах  $0...+3$  В;

в) «электронный шумомер». На положительный вывод аналогового компаратора МК поступает сглаженное напряжение, пропорциональное среднему уровню сигнала от микрофона  $BM1$ . На отрицательном выводе аналогового компаратора программно формируется «пила»;

г) резистором  $R_3$  регулируется симметрия сигнала, а резистором  $R_5$  — коэффициент усиления ОУ  $DA1$ . Протектированный сигнал (элементы  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $C3$ ,  $C4$ ) поступает на вход МК. Измерение среднего уровня звука проводится внутренним АЦП; ➋

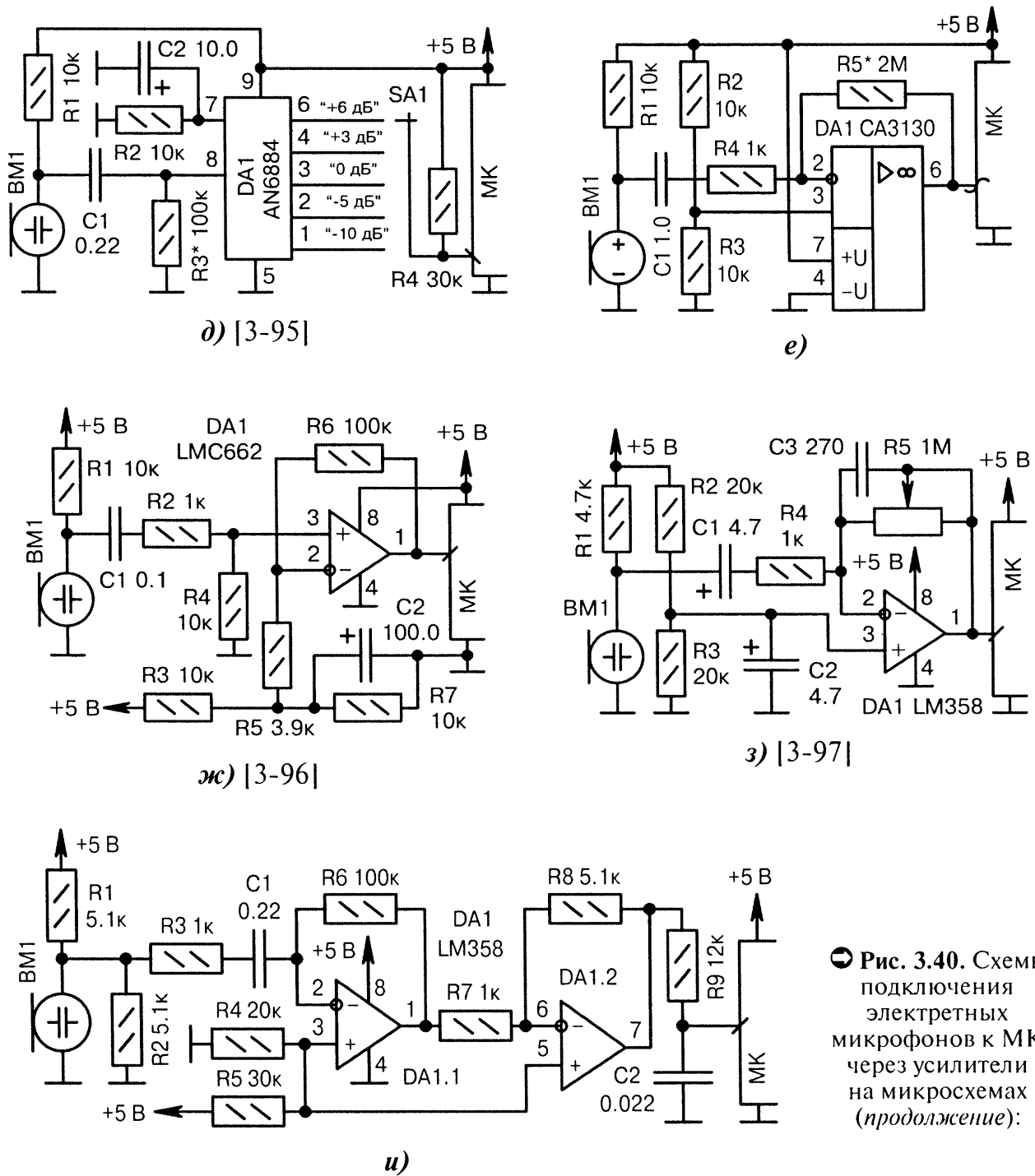


Рис. 3.40. Схемы подключения электретных микрофонов к МК через усилители на микросхемах (продолжение):

д) нестандартное применение «светодиодной» микросхемы *DA1* фирмы Panasonic. Возможные замены — LB1423N, LB1433N (фирма Sanyo), BA6137 (фирма ROHM). Переключателем *SA1* задаётся чувствительность в пяти градациях по логарифмической шкале: -10; -5; 0; +3; +6 дБ;

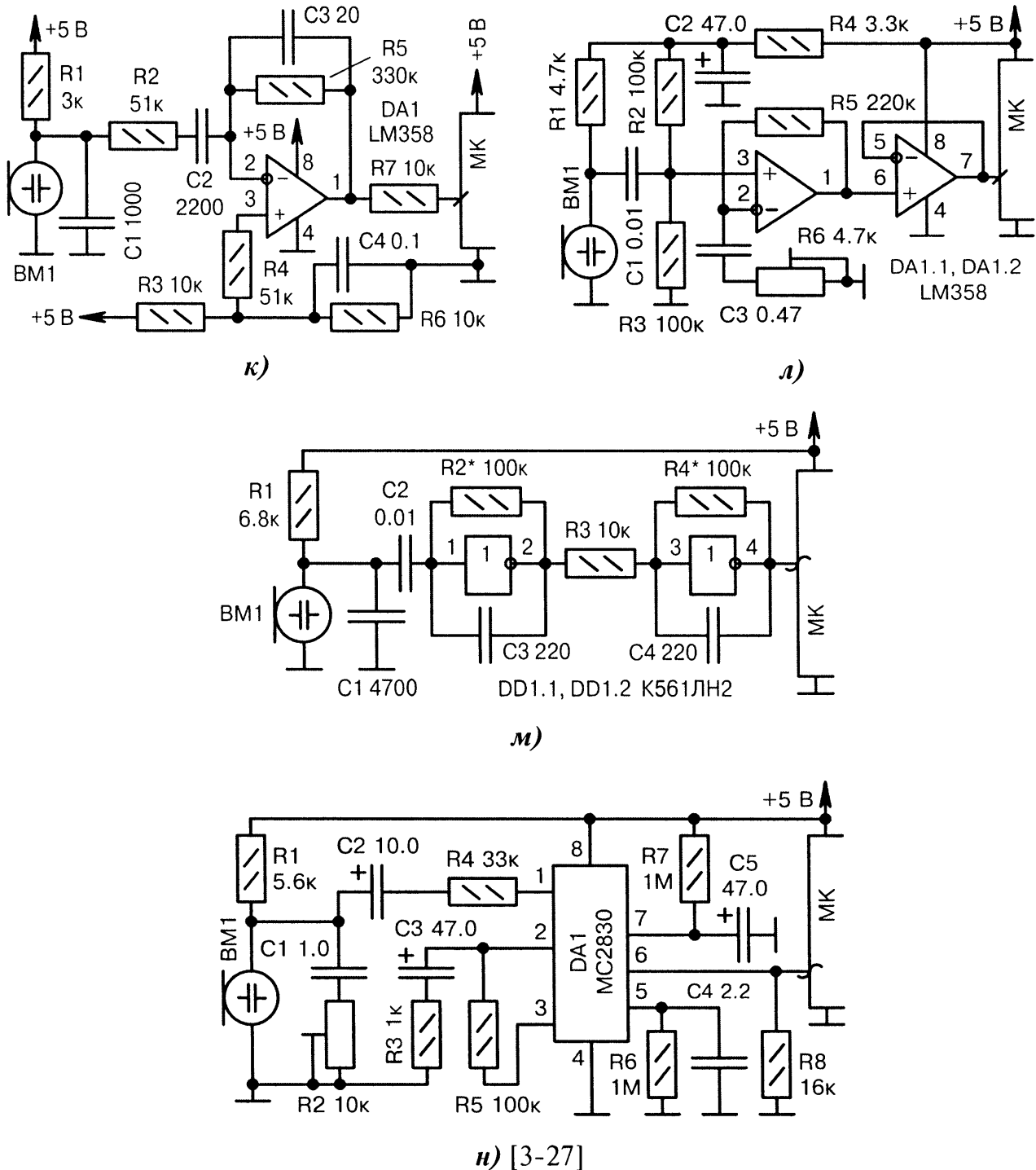
е) коэффициент усиления каскада на ОУ *DA1* зависит от отношения сопротивлений резисторов *R4*, *R5*. АЧХ в области низких частот определяется конденсатором *C1*;

ж) коэффициент усиления каскада на ОУ *DA1* задаётся отношением сопротивлений резисторов *R5*, *R6*. Симметричность ограничения сигнала зависит от отношения резисторов *R3*, *R7*;

з) микрофонный усилитель с плавной регулировкой уровня звука резистором *R5*;

и) двухкаскадный усилитель с распределённым коэффициентом передачи:  $K_y = 100$  (*DA1.1*),  $K_y = 5$  (*DA1.2*). Делитель на резисторах *R4*, *R5* задаёт смещение, которое немного меньше, чем половина питания. Это связано с тем, что ОУ *DA1* не имеет характеристику «rail-to-rail»;





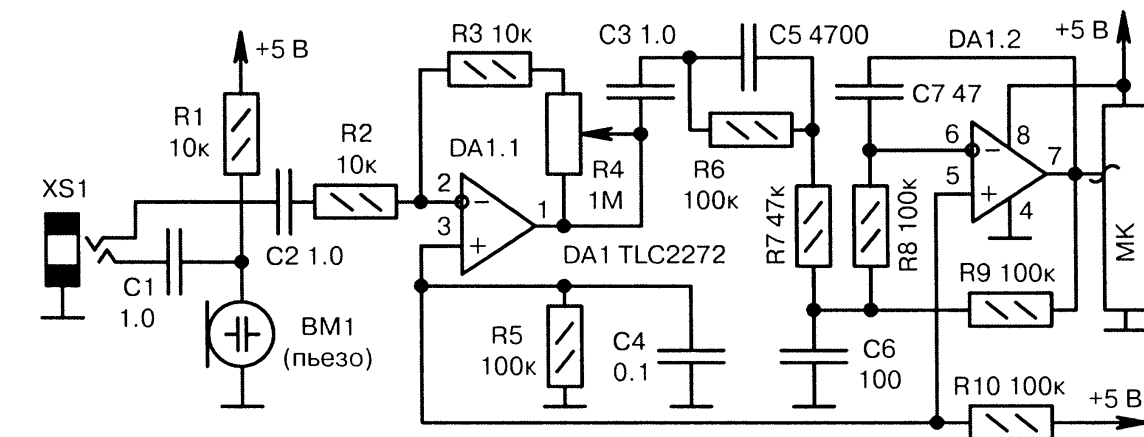
⊖ Рис. 3.40. Схемы подключения электретных микрофонов к МК через усилители на микросхемах (продолжение):

к) ёмкость конденсатора  $C4$  в некоторых схемах увеличивают до 10...47 мкФ (улучшение параметров проверяется экспериментально);

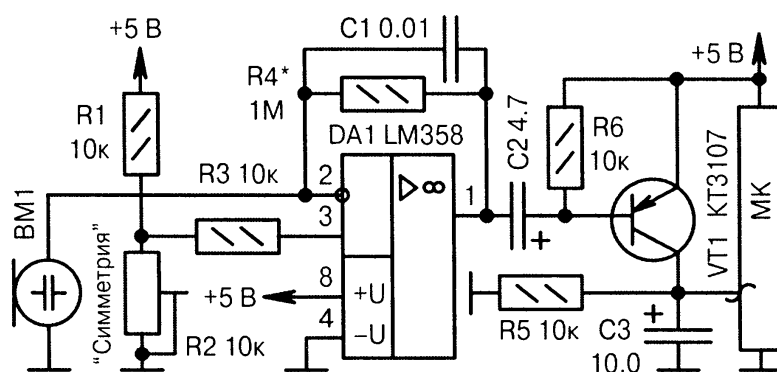
л) «левая» половина ОУ  $DA1$  усиливает сигнал, а «правая» половина включена по схеме повторителя напряжения. Такое решение обычно применяется, когда МК находится на значительном удалении от усилителя или требуется разветвить сигнал на несколько направлений;

м) резисторы  $R2$ ,  $R4$  переводят инверторы логической микросхемы  $DD1$  в усилительный режим. Резистор  $R3$  можно заменить конденсатором ёмкостью 0.15 мкФ;

н) специализированная микросхема  $DA1$  (фирма Motorola) реагирует только на звуковые сигналы голоса человека; ⊖



o) [3-98]



n)

● Рис. 3.40. Схемы подключения электретных микрофонов к МК через усилители на микросхемах (окончание):

o) штеккер, вставляемый в гнездо *XS1*, автоматически разрывает связь между конденсаторами *C1* и *C2*, при этом внутренний микрофон *BM1* отключается, а внешний звуковой сигнал подаётся на вход *DA1.1*. Оба усилителя микросхемы *DA1* имеют выходные уровни «rail-to-rail»;

п) резистором *R2* устанавливается симметричность ограничения сигнала на выводе 1 микросхемы *DA1*. Транзистор *VT1* совместно с элементами *R5*, *C3* выполняет функцию детектора,

### 3.5.2. Микрофоны электродинамические

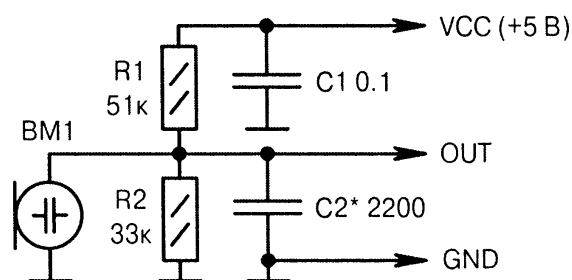
Основными элементами конструкции электродинамических микрофонов являются катушка индуктивности, диафрагма и магнит. Диафрагма микрофона под воздействием звуковых колебаний приближает/отдаляет магнит от катушки, в связи с чем в последней возникает переменное напряжение. Всё, как в школьных опытах по физике.

Сигнал от электродинамического микрофона слишком слабый, поэтому для сопряжения с МК обычно ставят усилитель. Его входное сопротивление может быть низким. Соединительные провода от микрофона к входному усилителю надо экранировать или уменьшать по длине до 10...15 см. Для устранения ложных срабатываний рекомендуется обернуть капсулю поролоном и не прикручивать микрофон жёстко к стенке корпуса.

Типовые параметры электродинамических микрофонов: сопротивление обмотки 680...2200 Ом, максимальное рабочее напряжение 1.5...2 В, рабочий ток 0.5 мА. Важное практическое следствие — электродинамические микрофоны

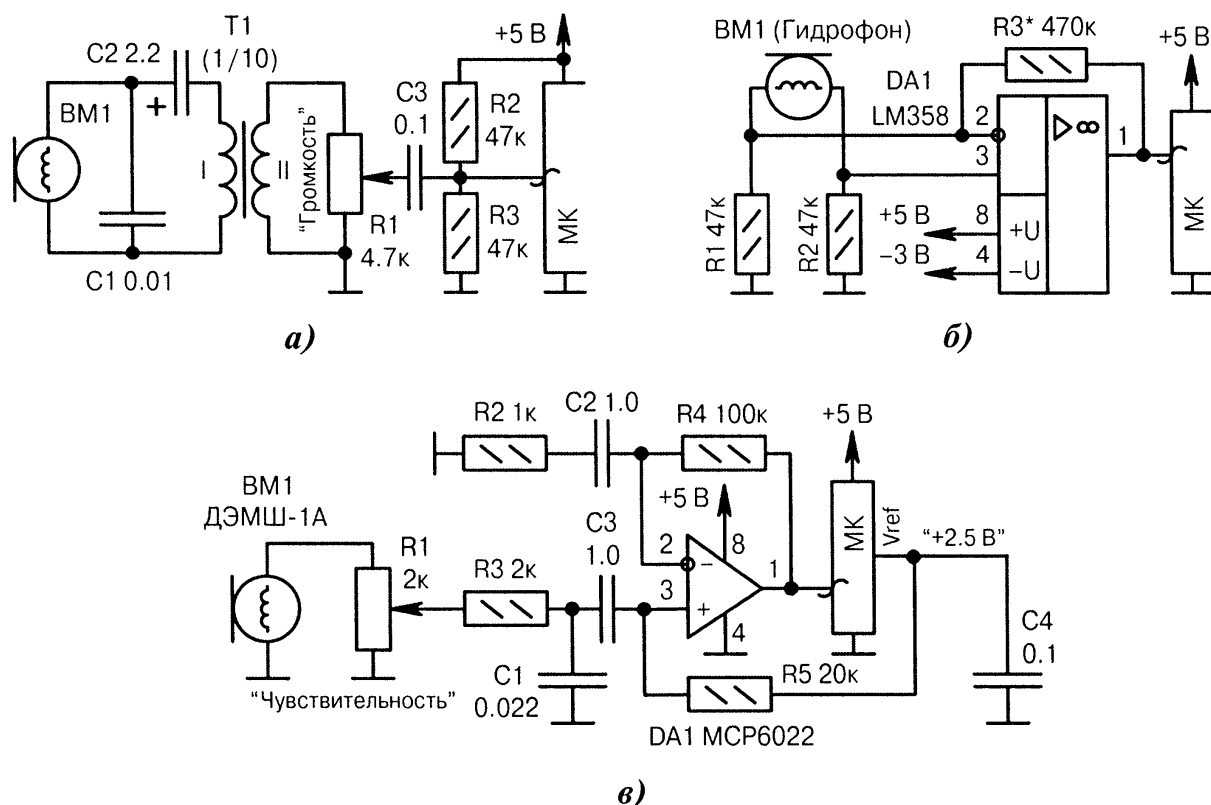
легко отличить от электретных (конденсаторных, пьезокерамических) по наличию омического сопротивления между выводами. Исключение из правила составляют промышленные микрофонные модули, содержащие внутри корпуса транзисторный или интегральный усилитель.

Заменить электродинамический микрофон можно электретным через переходник, изображённый на **Рис. 3.41**. Конденсатор  $C2$  корректирует АЧХ в области верхних частот. Делитель на резисторах  $R1$ ,  $R2$  создаёт рабочее напряжение для микрофона  $BM1$ . Конденсатор  $C1$  служит фильтром по питанию.



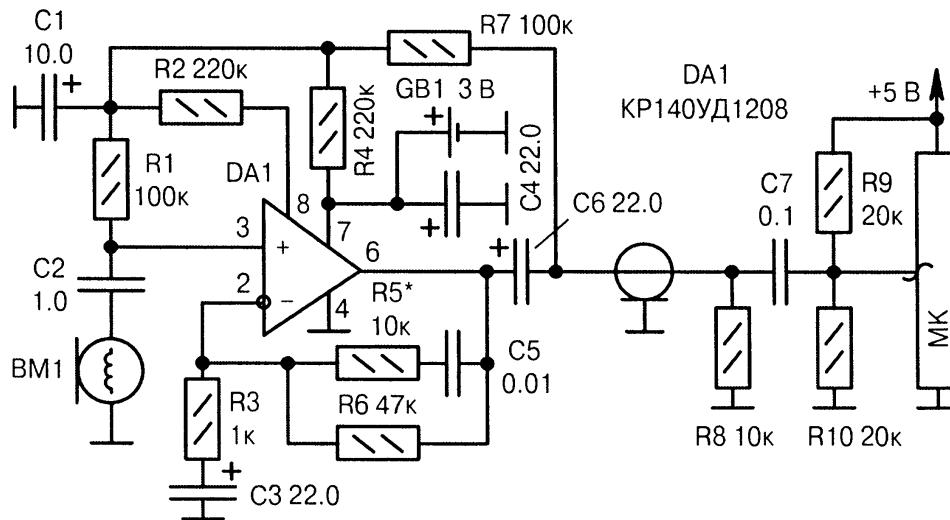
**Рис. 3.41.** Схема включения электретного микрофона вместо электродинамического [3-99].

На **Рис. 3.42, а...д** показаны схемы подключения электродинамических микрофонов к МК.

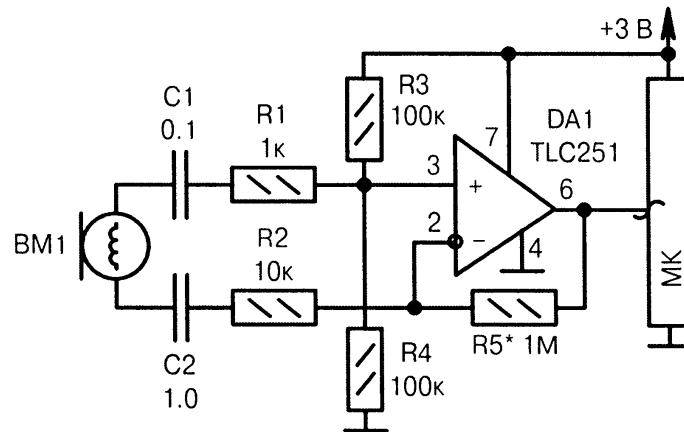


**Рис. 3.42.** Схемы подключения электродинамических микрофонов к МК (начало):

- а) гальваническая развязка микрофона  $BM1$  и МК через повышающий трансформатор  $T1$ ;
- б) несимметричное двухполярное питание ОУ  $DA1$ . Вместо гидрофона  $BM1$  можно использовать электродинамический микрофон;
- в) микрофонный усилитель на «rail-to-rail» микросхеме  $DA1$  с регулятором чувствительности  $R1$ . Среднее напряжение на положительный вывод ОУ подаётся от МК через резистор  $R5$ ; Ⓢ



а) [3-100]



б)

● **Рис. 3.42.** Схемы подключения электродинамических микрофонов к МК (окончание):

г) двухпроводное кабельное соединение микрофонного усилителя ОУ *DA1* с МК. Литиевую батарею *GB1* можно не отключать из-за малого тока потребления микросхемы *DA1*;

д) микрофон *BM1* подключается к ОУ *DA1* через две разные *RC*-цепочки *R1, C1* и *R2, C2*.

### 3.5.3. Громкоговорители динамические

Громкоговорители предназначены в первую очередь для воспроизведения звука. Но они обладают электромагнитной системой, похожей на имеющуюся у динамических микрофонов. Следовательно, теоретически можно использовать громкоговорители не только для излучения, но и для приёма звуковых колебаний. Чувствительность у них, конечно, низкая, однако в некоторых случаях это может стать даже плюсом, например, для датчиков ударов большой силы.

Ещё одна интересная область применения «микрофонов-громкоговорителей» видится в создании универсальной гарнитуры для различных переговорных устройств. Миниатюрный динамик, работающий то на приём, то на передачу, иногда может оказаться по конструкции удобнее и компактнее, чем стандартная промышленная микрофонно-телефонная гарнитура.

На Рис. 3.43, а...г показаны схемы подключения динамических громкоговорителей к входу МК в качестве микрофонов.

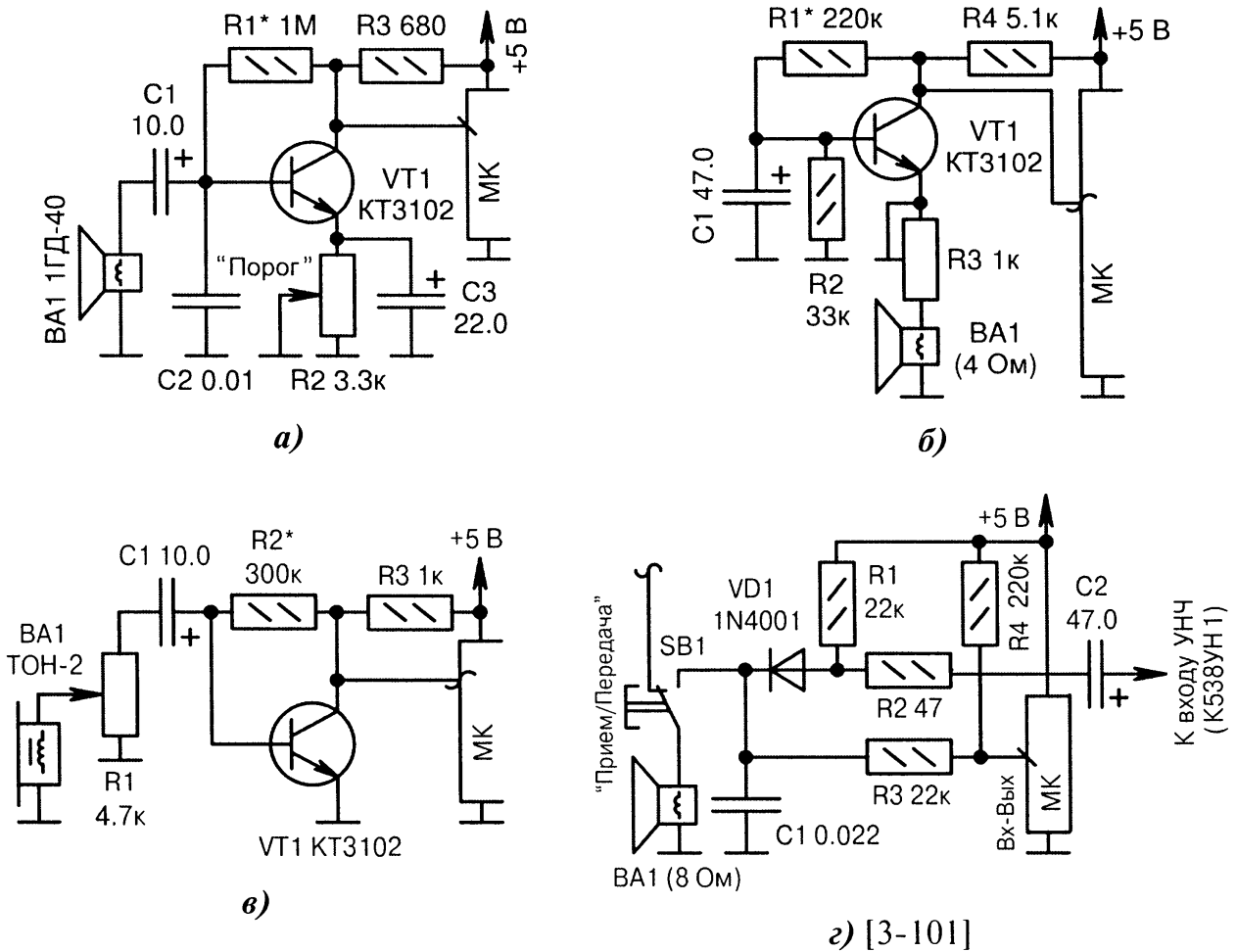


Рис. 3.43. Схемы подключения динамических громкоговорителей к входу МК:

а) транзисторный усилитель датчика ударов с применением громкоговорителя *BA1*. Чувствительность регулируется резисторами *R1*, *R2*. Конденсатор *C2* сглаживает пики сигналов. Конденсатор *C1* необходим, чтобы база транзистора *VT1* не соединялась с общим проводом через низкое сопротивление громкоговорителя *BA1*;

б) транзистор *VT1* является усилителем с общей базой. Его особенность состоит в низком входном сопротивлении, которое хорошо согласуется с параметрами громкоговорителя *BA1*. Резистором *R1* задают рабочую точку транзистора *VT1* (напряжение на его коллекторе), чтобы получить симметричное или асимметричное ограничение сигнала. Резистором *R3* регулируют порог (чувствительность, усиление);

в) функцию микрофона выполняет головной телефон *BA1*. Он имеет более высокое сопротивление обмотки, чем низкоомный громкоговоритель, что увеличивает чувствительность и облегчает его подключение к МК. Резистором *R1* регулируется амплитуда сигнала;

г) часть схемы переговорного устройства, в котором громкоговоритель *BA1* попеременно выполняет функцию микрофона и динамика. МК определяет состояние «Приём/Передача» по НИЗКОМУ/ВЫСОКОМУ уровню на линии входа (ВЫСОКИЙ уровень от резистора *R4*, а НИЗКИЙ — от *R3* и *BA1*). Если МК имеет АЦП с внутренним усилителем, то можно «прослушать» разговор в тракте. Кроме того, если линия МК будет переведена в режим выхода, то с её помощью можно генерировать различные звуковые сигналы в УНЧ (через *R3*, *VD1*, *R2*, *C2*).

## 3.6. Оптические датчики

### 3.6.1. Фоторезисторы

Фоторезисторы изготавливают из полупроводниковых материалов, которые изменяют своё сопротивление в зависимости от степени освещённости. Основное их отличие от других фотоэлектрических приборов заключается в высокой стабильности параметров и линейности изменения сопротивления в достаточно широком диапазоне. Последнее свойство позволяет использовать фоторезисторы не только в цифровой автоматике, но и в аналоговой технике, например, в качестве гальванически изолированных регуляторов громкости звука.

Фоторезисторы являются относительно инерционными элементами с гораздо более низким (единицы килогерц) быстродействием по сравнению с фотодиодами и фототранзисторами. После резких перепадов освещённости, их сопротивление изменяется не скачком, а «плывёт» в течение некоторого времени. Это надо учитывать в практической работе и выдерживать для адаптации к свету небольшие паузы. Насколько «небольшие», подскажет эксперимент.

В зависимости от спектральной чувствительности фоторезисторы делятся на две большие группы: для работы в видимой и инфракрасной части спектра. Электрические схемы включения у них совпадают (Рис. 3.44, а...м). Единственное, что надо предварительно узнать по даташиту, — это максимально допустимое рабочее напряжение. В частности, на фоторезисторы СФ2-5, СФ3-4А/Б, СФ3-5 нельзя подавать питание больше, чем 1.3...2 В. Подавляющее же большинство фоторезисторов могут работать при напряжениях 5...50 В. Их темновое сопротивление составляет 1...200 МОм, а в освещённом состоянии — на два-три порядка меньше.

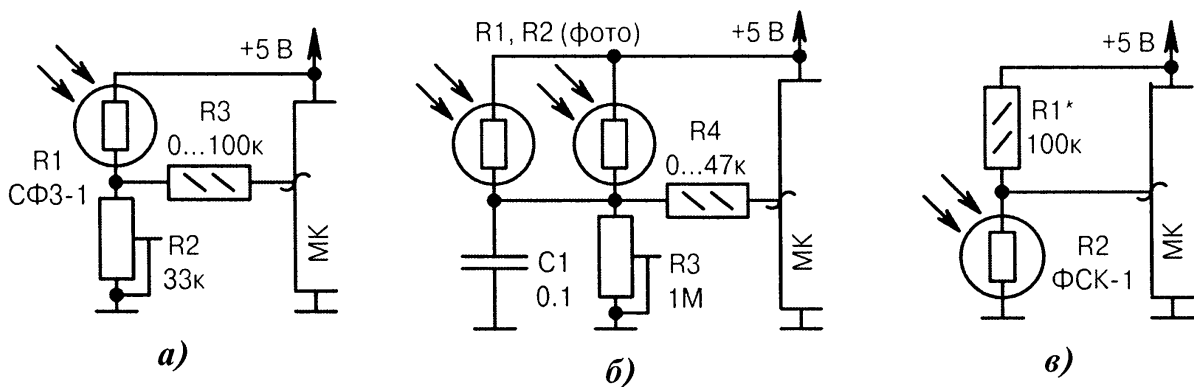


Рис. 3.44. Схемы подключения фоторезисторов к МК (начало):

а) резисторы  $R1$ ,  $R2$  образуют делитель напряжения. При освещении фоторезистора  $R1$  его сопротивление уменьшается. Резистор  $R3$  служит защитой на случай полного замыкания подстроечного резистора  $R2$  и ошибочного перевода линии МК в режим выхода с ВЫСОКИМ уровнем. Если резистор  $R2$  постоянный, то резистор  $R3$  можно заменить перемычкой;

б) повышение чувствительности за счёт параллельного включения двух фоторезисторов. Конденсатор  $C1$  снижает помехи, вызванные паразитной модуляцией светового потока или импульсными скачками внешней освещённости;

в) подключение фоторезистора  $R2$  к МК с привязкой к общему проводу, а не к цепи питания. При освещении фоторезистора  $R2$  напряжение на входе МК снижается; ☹

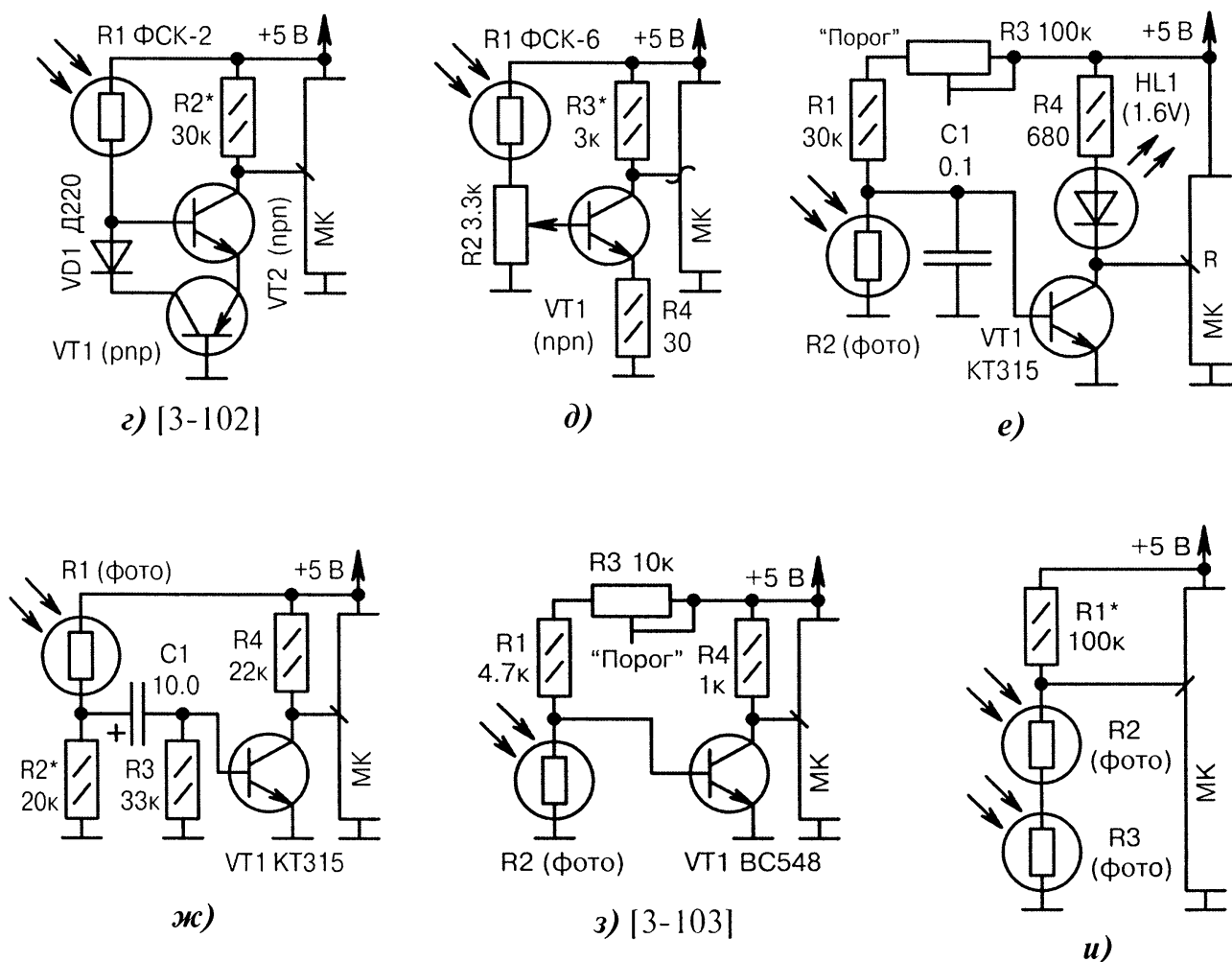


Рис. 3.44. Схемы подключения фоторезисторов к МК (продолжение):

г) экономичное «реле Турченкова» на германиевых транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$  разной проводимости. Резистором  $R2$  устанавливают порог срабатывания;

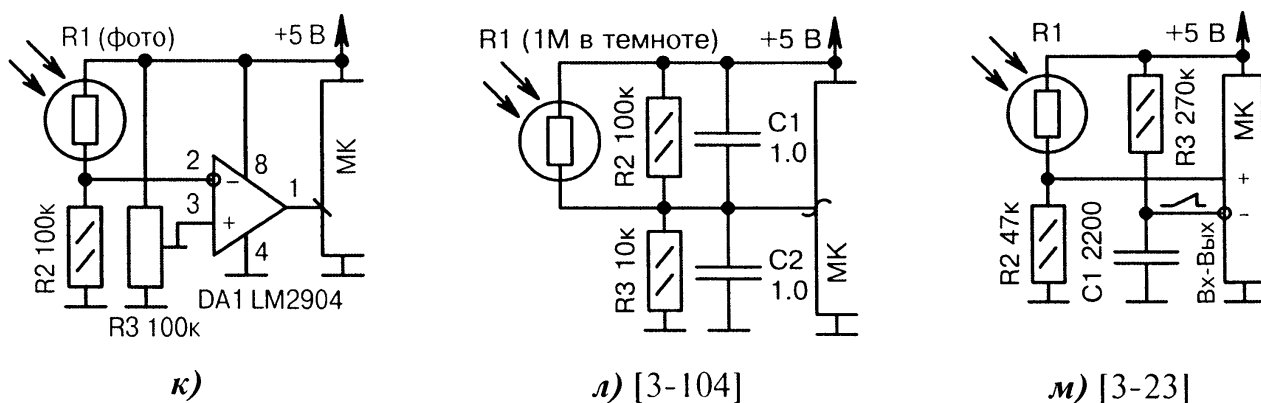
д) фоторезистор  $R1$  определяет ток базы транзистора  $VT1$ , поскольку он входит в верхнее плечо делителя  $R1$ ,  $R2$ . Следует установить движок переменного резистора  $R2$  в такое положение, чтобы ток базы транзистора  $VT1$  не превысил норму при яркой освещённости фоторезистора;

е) в исходном состоянии фоторезистор  $R2$  освещён, транзистор  $VT1$  закрыт, светодиод  $HL1$  погашен. Когда уровень освещённости фоторезистора понизится до определённого порога (регулируется резистором  $R3$ ), то транзистор открывается, светодиод загорается и на входе МК устанавливается НИЗКИЙ уровень;

ж) регистратор коротких вспышек света или приёмник импульсно-модулированных сигналов. Транзистор  $VT1$  находится в режиме отсечки. Конденсатор  $C1$  устраняет ложные срабатывания от медленных изменений освещённости фона, например, при смене дня ночью;

з) транзистор  $VT1$  повышает чувствительность фотодатчика  $R2$ , что позволяет использовать обычную линию порта МК, а не только вход АЦП. Резистор  $R3$  задаёт положение рабочей точки транзистора  $VT1$ ;

и) если оба фоторезистора  $R2$ ,  $R3$  освещены, то на входе МК присутствует НИЗКИЙ уровень (регулируется резистором  $R1$ ). Если один (любой) из фоторезисторов будет затемнён, то суммарное «фотосопротивление» резко увеличится и на входе МК появится ВЫСОКИЙ уровень. Фоторезисторы выполняют логическую функцию «световое И»; ☉



⊙ Рис. 3.44. Схемы подключения фоторезисторов к МК (окончание):

к) резистором  $R3$  регулируют порог срабатывания ОУ  $DA1$  (компаратор напряжений). Сопротивление резистора  $R2$  выбирается примерно таким же, как  $R1$  в «неактивном» состоянии. При значительном удалении фоторезистора следует экранировать его соединительные провода;

л) конденсаторы  $C1, C2$  повышают стабильность измерений, устраняют импульсные помехи и создают небольшой гистерезис при резких колебаниях освещённости;

м) внутренний аналоговый компаратор МК используется для оценки уровня освещённости. Используется метод сравнения измеряемого напряжения с «пилой», которую вырабатывает сам МК на отрицательном выводе компаратора (линия входа временно становится выходом).

### 3.6.2. Фотодиоды

Фотодиоды относятся к классу полупроводниковых приборов, в основе работы которых лежит внутренний фотоэффект. При облучении  $p-n$ -перехода фотонами возникает генерация носителей тока внутри полупроводника. Изменение тока эквивалентно изменению сопротивления, что легко зафиксировать и измерить.

Фотодиоды широко применяются для регистрации световых излучений. Их достоинство, по сравнению с фоторезисторами и фототранзисторами, заключается в высоком быстродействии и хорошей чувствительности.

Различают два основных режима работы фотодиодов:

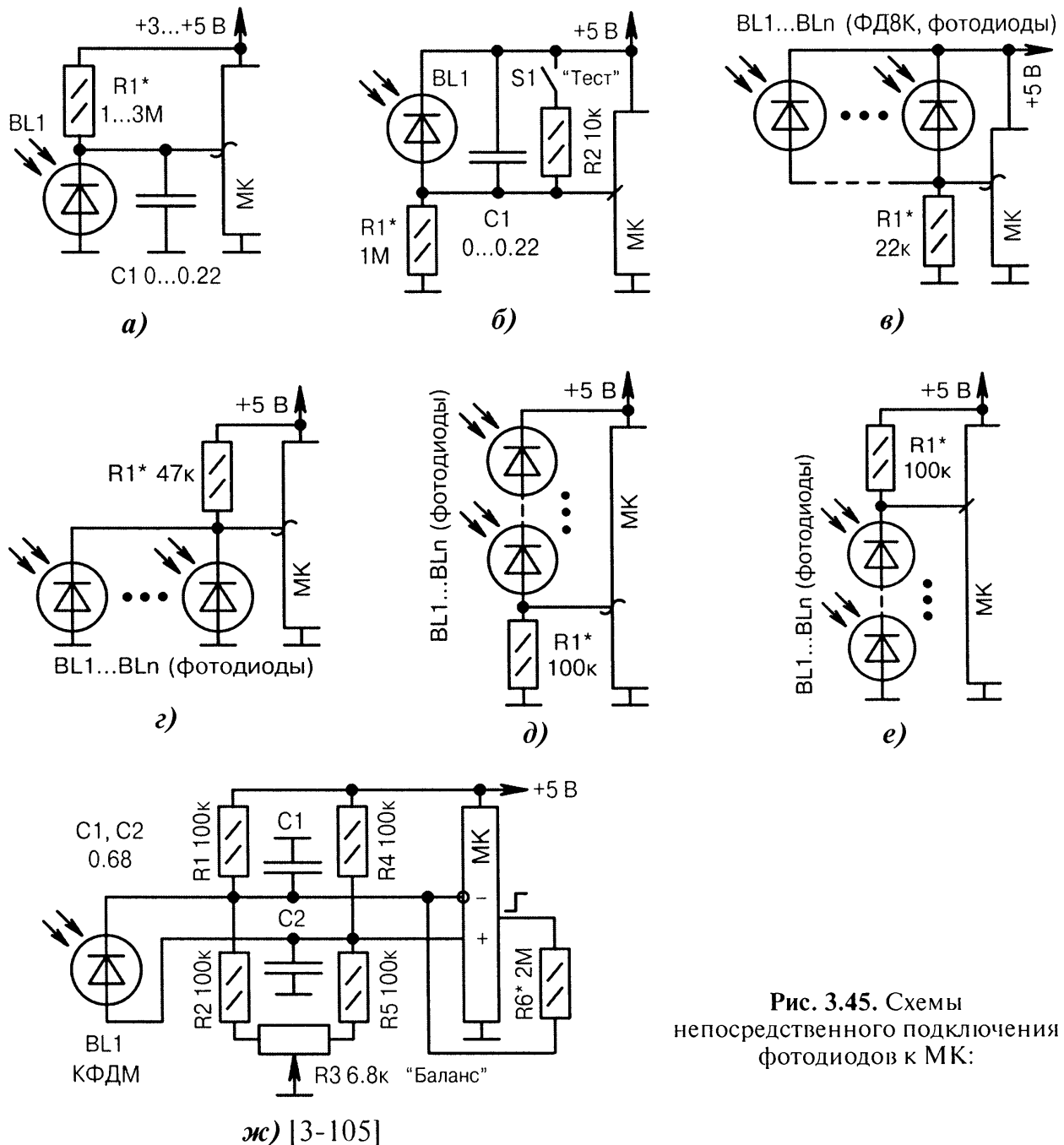
- диодный (фотодиодный, фоторезисторный) с обратным смещением;
- генераторный (фотогальванический, фотовольтаический) без смещения.

Диодный режим используется чаще и характеризуется широким диапазоном изменения обратного сопротивления и хорошим быстродействием. Генераторный режим имеет следующие недостатки: большая эквивалентная ёмкость и высокая инерционность. Достоинство — малый уровень собственных шумов.

Фотодиоды выпускают фирмы: Vishay, OSRAM, Hamamatsu Photonics, «Кварц» и др. Типовые параметры: длина волны 850...950 нм, токовая чувствительность 10...80 мкА, ширина диаграммы направленности 15...65°, время нарастания/спада 2...100 нс, рабочая температура  $-55...+100^{\circ}\text{C}$ . Чувствительность фотодиодов снижается с повышением температуры и напряжения. Темновой ток возрастает в 2...2.5 раза на каждые  $10^{\circ}\text{C}$ , из-за чего в схему часто вводят термокомпенсацию.

На Рис. 3.45, а...ж показаны схемы непосредственного подключения фотодиодов к МК. На Рис. 3.46, а...е показаны схемы с усилителями на транзисторах. На Рис. 3.47, а...о — с усилителями на микросхемах.





**Рис. 3.45.** Схемы непосредственного подключения фотодиодов к МК:

а) фотодиод  $BL1$  соединяется с общим проводом, в связи с чем при его освещении напряжение на входе МК уменьшается. Резистором  $R1$  регулируется чувствительность. Конденсатор  $C1$  устраняет помехи от паразитной модуляции светового потока;

б) соединение фотодиода  $BL1$  с цепью питания. Нажатие переключателя  $S1$  имитирует освещённое состояние фотодиода при тестовых проверках;

в) повышение общей чувствительности за счёт параллельного включения нескольких фотодиодов  $BL1...BLn$ . Фотодиоды выполняют логическую функцию «световое ИЛИ»;

г) параллельное включение нескольких фотодиодов с привязкой к общему проводу;

д) последовательное включение фотодиодов по схеме «световое И». Позволяет обнаружить момент затемнения одного из нескольких освещённых фотоприёмников на конвейере;

е) последовательное включение нескольких фотодиодов с привязкой к общему проводу;

ж) мостовая схема включения фотодиода  $BL1$ , обладающая повышенной чувствительностью и гистерезисом ( $R6$ ). Требуется предварительное симметрирование моста резистором  $R3$ .

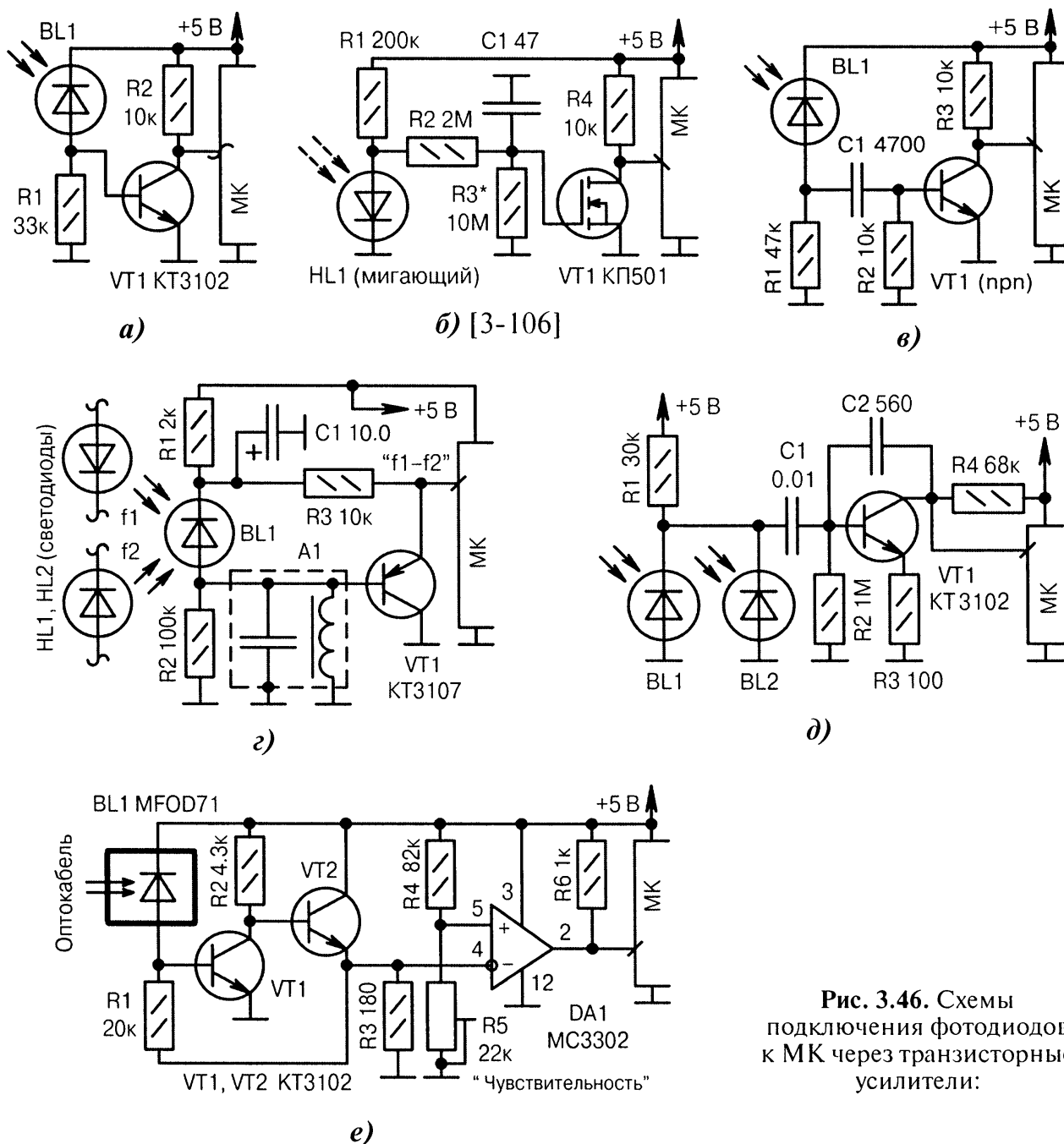


Рис. 3.46. Схемы подключения фотодиодов к МК через транзисторные усилители:

- а) фотодиод *BL1* замещает базовый резистор транзисторного усилителя;
- б) мигающий светодиод *HL1* служит ... фотоприёмником. В исходном состоянии *HL1* генерирует электрические (не световые!) импульсы с частотой «мигания» около 2 Гц. При внешнем освещении генерация срывается, что и фиксирует МК через транзистор *VT1*;
- в) ключ на транзисторе *VT1* повышает помехоустойчивость и увеличивает крутизну фронтов сигнала от фотодатчика *BL1*. Конденсатор *C1* устраняет помехи от колебаний освещённости;
- г) оптоизолированный частотный смеситель. На вход МК поступает сигнал с разностной «световой» частотой модуляции  $\langle f_1 - f_2 \rangle$  от двух светодиодов *HL1* ( $f_1$ ) и *HL2* ( $f_2$ ). Контур *A1* должен быть настроен на разностную частоту;
- д) повышение чувствительности за счёт параллельного включения двух фотодиодов *BL1*, *BL2*. Транзистор *VT1* находится в отсечке и не реагирует на медленный дрейф освещённости;
- е) вместо ОУ *DA1* можно использовать аналоговый компаратор МК. Скорость приёма «лазерного» фотодиода *BL1* — до 5 Мбит/с по оптоволоконному кабелю длиной 10 м ... 1 км.

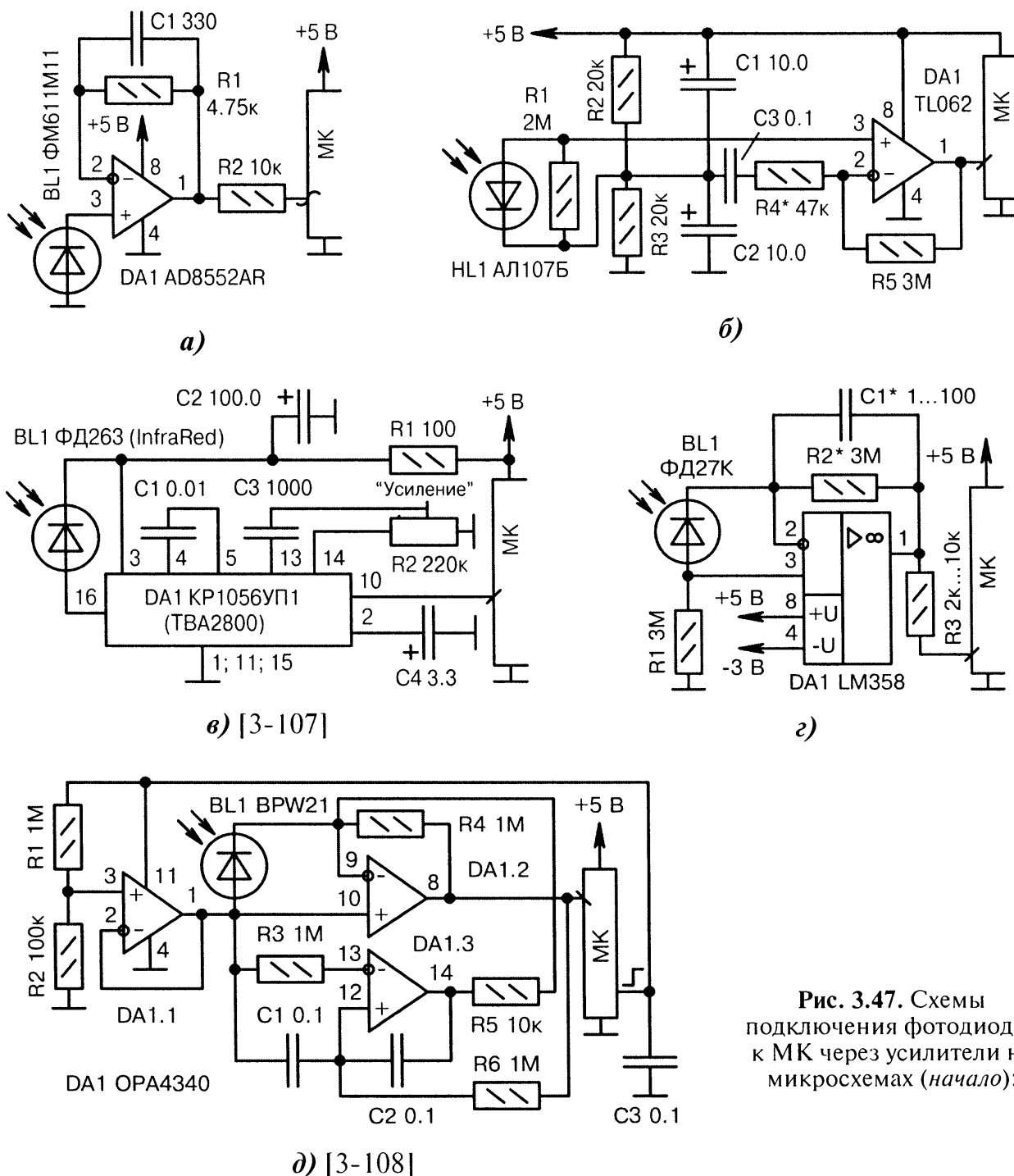


Рис. 3.47. Схемы подключения фотодиодов к МК через усилители на микросхемах (начало):

а) использование прецизионного усилителя *DA1* (фирма Analog Devices) для обеспечения долговременной стабильности сигналов от фотодатчика *BL1*;

б) нестандартное включение ИК-светодиода *HL1* в качестве фотоприёмника инфракрасного диапазона длин волн. Резистором *R4* регулируется усиление каскада на ОУ *DA1*;

в) усилитель-формирователь на «телевизионной» микросхеме *DA1*. Резистором *R2* регулируется чувствительность фотодатчика *BL1*;

г) двухполярное питание ОУ *DA1*. Конденсатор *C1* устраняет «звон» на фронтах сигнала, возникающий при резкой смене освещённости. Это стандартный приём и для других схем;

д) для уменьшения внешних помех трансимпедансный усилитель *DA1.2* (это преобразователь «ток-напряжение») охвачен обратной связью через интегратор *DA1.3*. Питание на ОУ подаётся от выходной линии МК. опорное напряжение 0.5 В формирует повторитель *DA1.1*; ⊕

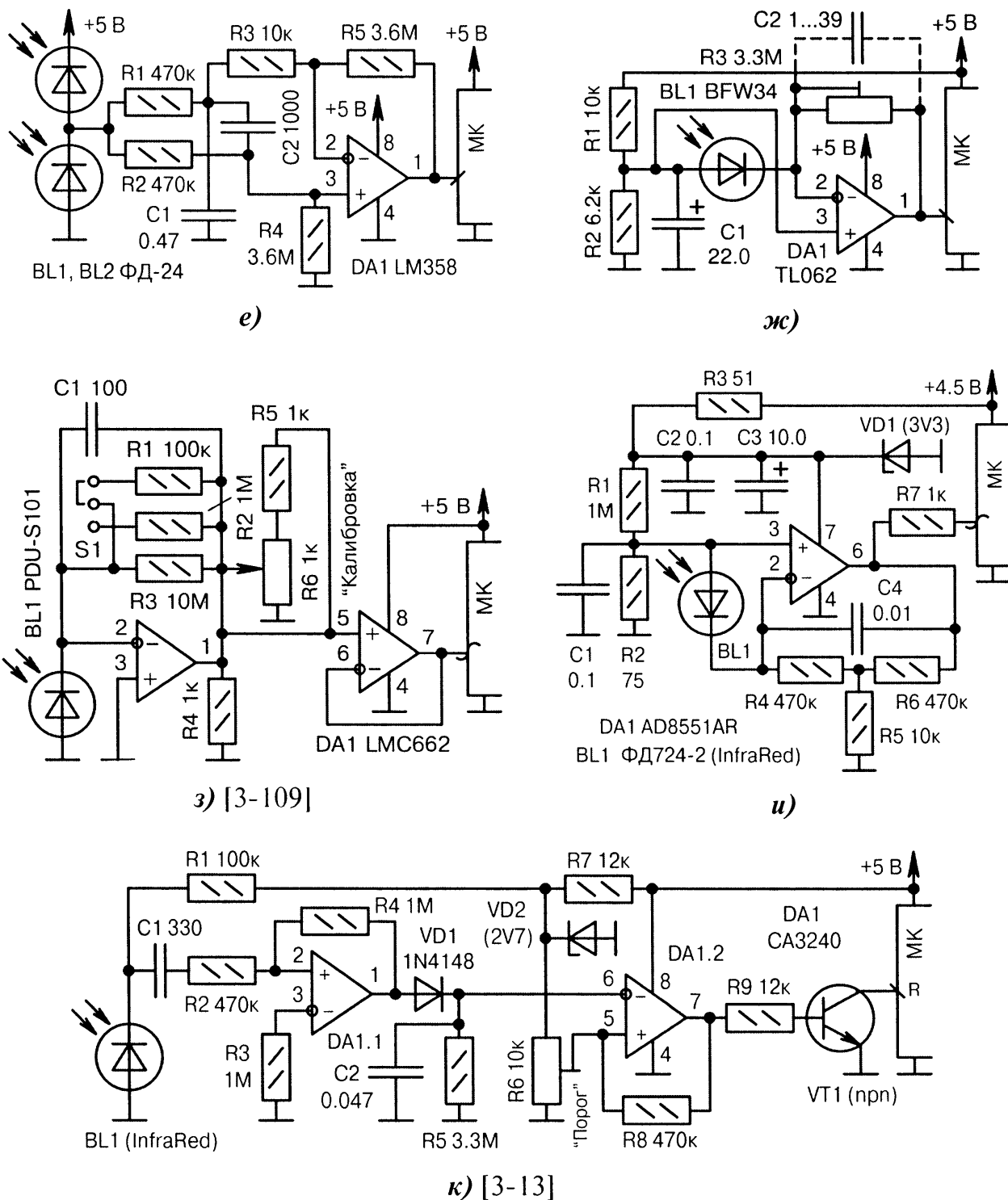


Рис. 3.47. Схемы подключения фотодиодов к МК через усилители на микросхемах (продолжение):

- е) фотодиоды *BL1*, *BL2* должны освещаться поочерёдно, иначе их суммарное сопротивление может получиться столь низким, что сработает перегрузка по току источника питания;
- ж) конденсатор *C2* устраняет «звон» при большой собственной ёмкости фотодиода *BL1*;
- з) измеритель цвета на фотодиоде *BL1* (фирма *Advances Photonics*), который имеет «колоколообразную» чувствительность в диапазоне 150...400 нм. Перемычкой *S1* задаётся усиление;
- и) стабильные параметры фотоприёма в инфракрасном диапазоне обеспечиваются прецизионной микросхемой *DA1* (фирма *Analog Devices*), фильтром *C4*, *R4...R6* и стабилитроном *VD1*.
- к) связка «усилитель-детектор-формирователь» на ОУ *DA1* с регулировкой порога (*R6*);

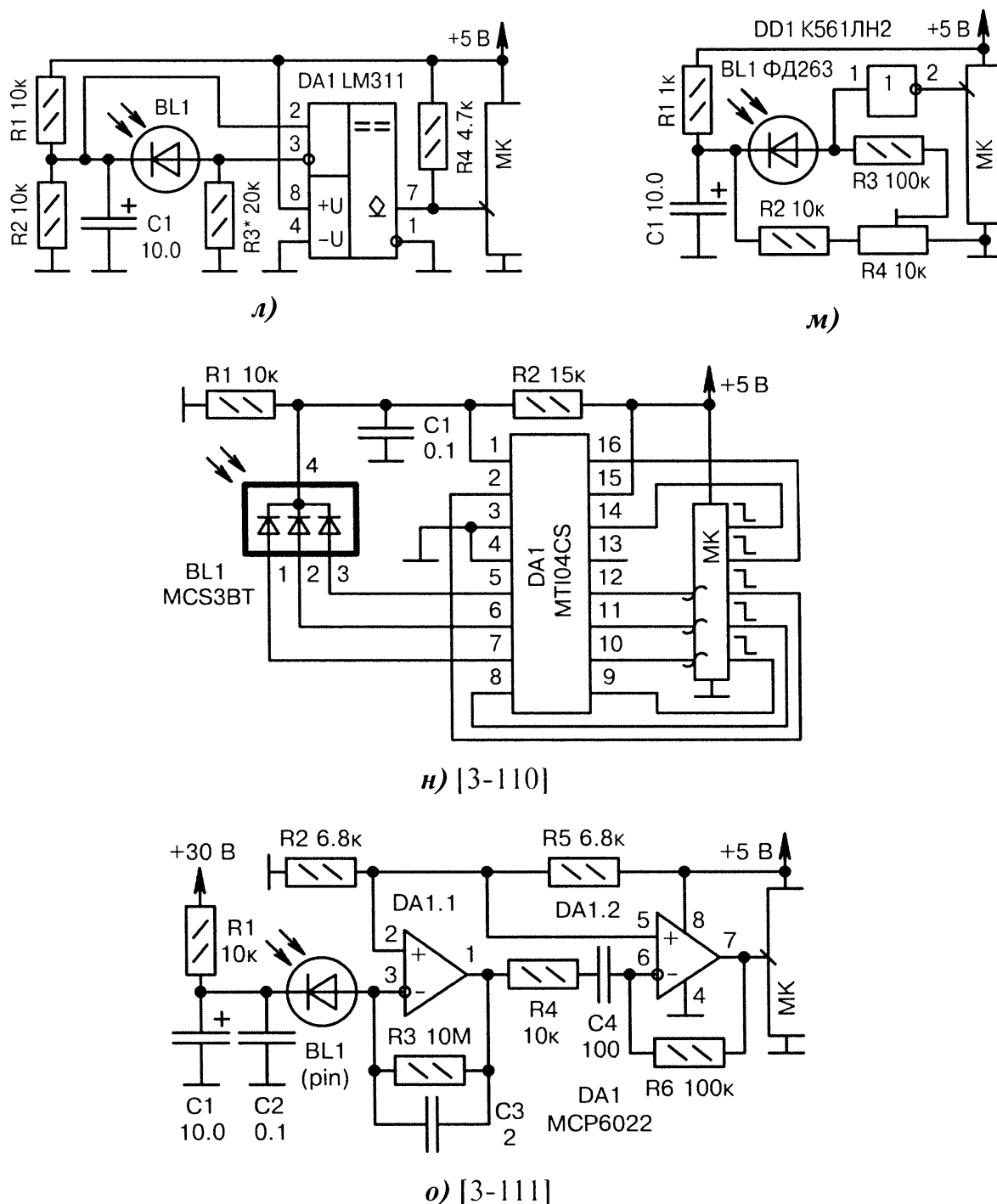


Рис. 3.47. Схемы подключения фотодиодов к МК через усилители на микросхемах (окончание):

л) компаратор на микросхеме *DA1* обеспечивает высокую чувствительность и помехоустойчивость. Резистором *R3* регулируется «световой» порог под конкретный тип фотодиода *BL1*;

м) резистором *R4* регулируется чувствительность и выставляется рабочая точка логического элемента *DD1* (желательно с характеристикой триггера Шмитта, например, *K561ТЛ2*);

н) *BL1* — трёхцветный RGB-сенсор (фирма Laser Components), *DA1* — четырёхканальный трансимпедансный усилитель (фирма Promis Electro Optics). Один из четырёх аналоговых каналов усилителя не используется. Сигналы с выходов МК задают режимы работы и усиление *DA1*;

о) высокочувствительный регистратор фото- или радиационного излучения на специализированном pin-фотодиоде *BL1* (подобные изготавливаются фирмой Hamamatsu Photonics). Элемент *DA1.1* выполняет функцию трансимпедансного, а *DA1.2* — обычного усилителя сигналов.

### 3.6.3. Фототранзисторы

Фототранзистор — это фоточувствительный полупроводниковый прибор, по структуре подобный биполярному или полевому транзистору. Разница заключается в том, что в его корпусе предусмотрено прозрачное окно, через которое световой поток попадает на кристалл. В отсутствии внешнего освещения, транзистор закрыт, ток коллектора ничтожно мал. При попадании лучей света на  $p-n$ -переход базы, транзистор открывается и резко возрастает его коллекторный ток.

Фототранзисторы, в отличие от фоторезисторов, обладают высоким быстродействием, а в отличие от фотодиодов — усилительными свойствами (Табл. 3.10).

Таблица 3.10. Сравнение параметров фотодиодов и фототранзисторов

Фотоприбор	$I_{К РАБ}$ [мА]	$U_{К РАБ}$ [В]	$U_{КЭ НАС}$ [В]	$I_{ЗАКР}$ [нА]	$U_{К МАХ}$ [В]	$t_{ВКЛ}$ [нс]
Фототранзистор L-31PT	2	5	0.4	100 (20 В)	20	15
Фотодиод (зарубежный)	—	—	—	30	30	40

Фототранзистор, в первом приближении, можно представить в виде эквивалентного фотодиода, включённого параллельно коллекторному переходу обычного транзистора. Коэффициент усиления фототока прямо пропорционален  $h_{21Э}$ , следовательно, во столько же раз чувствительность фототранзистора выше, чем у фотодиода.

Главным параметром, за которым надо следить при разработке схем на фототранзисторах, является коллекторный ток. Чтобы не превысить его норму, надо ставить в коллекторе/эмиттере достаточно большие сопротивления.

Фототранзисторы выпускают фирмы: Vishay, Kingbright, Avago Technologies и др. Типовые параметры: длина волны 550...570 или 830...930 нм, ток коллектора в освещённом состоянии 0.5...10 мА, угол половинной чувствительности 15...60°, время нарастания/спада 2...6 мкс, рабочая температура  $-55...+100^{\circ}\text{C}$ , проводимость  $n-p-n$ .

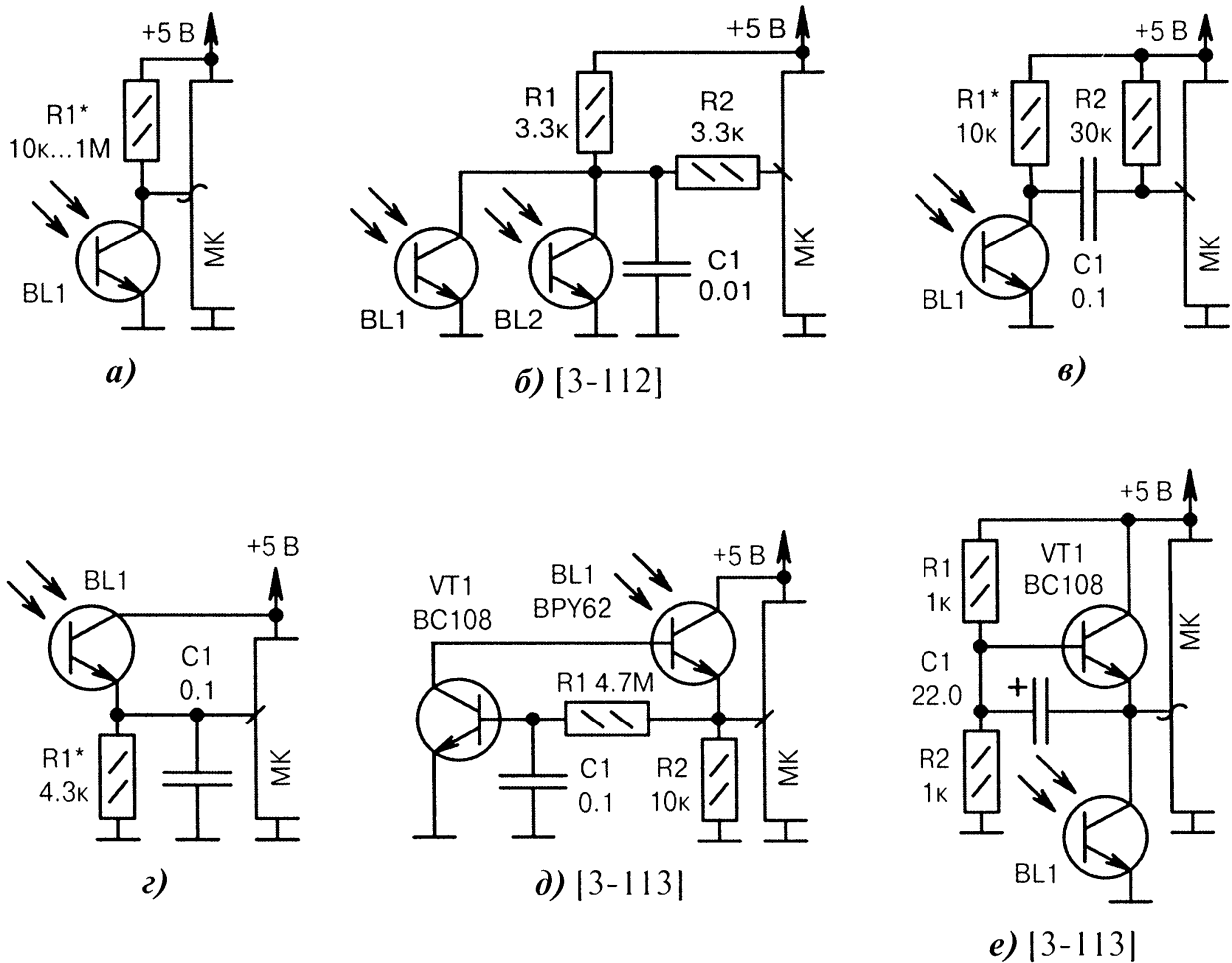
Существуют двух- и трёхвыводные фототранзисторы. Различаются они между собой в первую очередь отсутствием/наличием отвода от базы.

В двухвыводных фототранзисторах извне имеется доступ только к коллектору и эмиттеру. Это затрудняет стабилизацию рабочей точки и делает фотоприбор зависимым от температуры окружающей среды, особенно при слабом освещении.

Двухвыводные фототранзисторы и малогабаритные фотодиоды визуально похожи как «близнецы-братья». Выяснить, «что есть что», помогает прозвонка выводов омметром. Испытательное напряжение на его зажимах должно быть не менее 0.7 В. Если сопротивление в одном направлении значительно больше, чем в другом, значит это фотодиод. Если большое сопротивление прозванивается в двух направлениях, значит это фототранзистор (или вышедший из строя фотодиод).

Трёхвыводные фототранзисторы встречаются реже двухвыводных. Для их подключения применяют обычную транзисторную схемотехнику, а именно, стабилизируют рабочую точку при помощи делителей на резисторах, вводят обратные связи, термокомпенсацию и т.д.

На Рис. 3.48, а...е показаны схемы непосредственного подключения фототранзисторов к МК. На Рис. 3.49, а...з показаны схемы с транзисторными усилителями, на Рис. 3.50, а...г — с усилителями на микросхемах.



**Рис. 3.48.** Схемы непосредственного подключения фототранзисторов к МК:

а) фототранзистор *BL1* включается по схеме усилителя с общим эмиттером. Допускается его работа в режиме микротоков коллектора (большое сопротивление резистора *R1*), но при этом ухудшается температурная стабильность. Вместо входа АЦП МК часто используют обычную цифровую линию порта с пороговой фиксацией состояния «есть свет»/«нет света»;

б) параллельное включение фототранзисторов *BL1*, *BL2* увеличивает световую чувствительность. Фототранзисторы выполняют логическую функцию «ИЛИ» для сигналов от разных источников света. Конденсатор *C1* снижает импульсные помехи. Запаралеленных фототранзисторов может быть больше, чем два;

в) фотоприёмник импульсных и модулированных световых сигналов. На медленные изменения освещённости устройство не реагирует из-за разделительного конденсатора *C1*. Вместо резистора *R2* можно использовать внутренний «pull-up» резистор МК;

г) фототранзистор *BL1* включается по схеме эмиттерного повторителя. Конденсатор *C1* снижает импульсные «световые» помехи и мощные электрические наводки, которые могут «просачиваться» на вход МК, когда фототранзистор находится в закрытом состоянии;

д) в трёхвыводном фототранзисторе *BL1* отвод базы используется для организации обратной связи через транзистор *VT1*. Фильтр *R1*, *C1* блокирует сигналы светового потока с частотой модуляции ниже 100 Гц (для устранения срабатывания датчика от «мерцания» ламп накаливания);

е) конденсатор *C1* и транзистор *VT1* организуют «световой ФВЧ» для подавления сигналов светового потока с частотой модуляции ниже 80 Гц. Это препятствует прохождению на вход МК помех, вызванных «мерцанием» ламп накаливания сети 50 Гц.

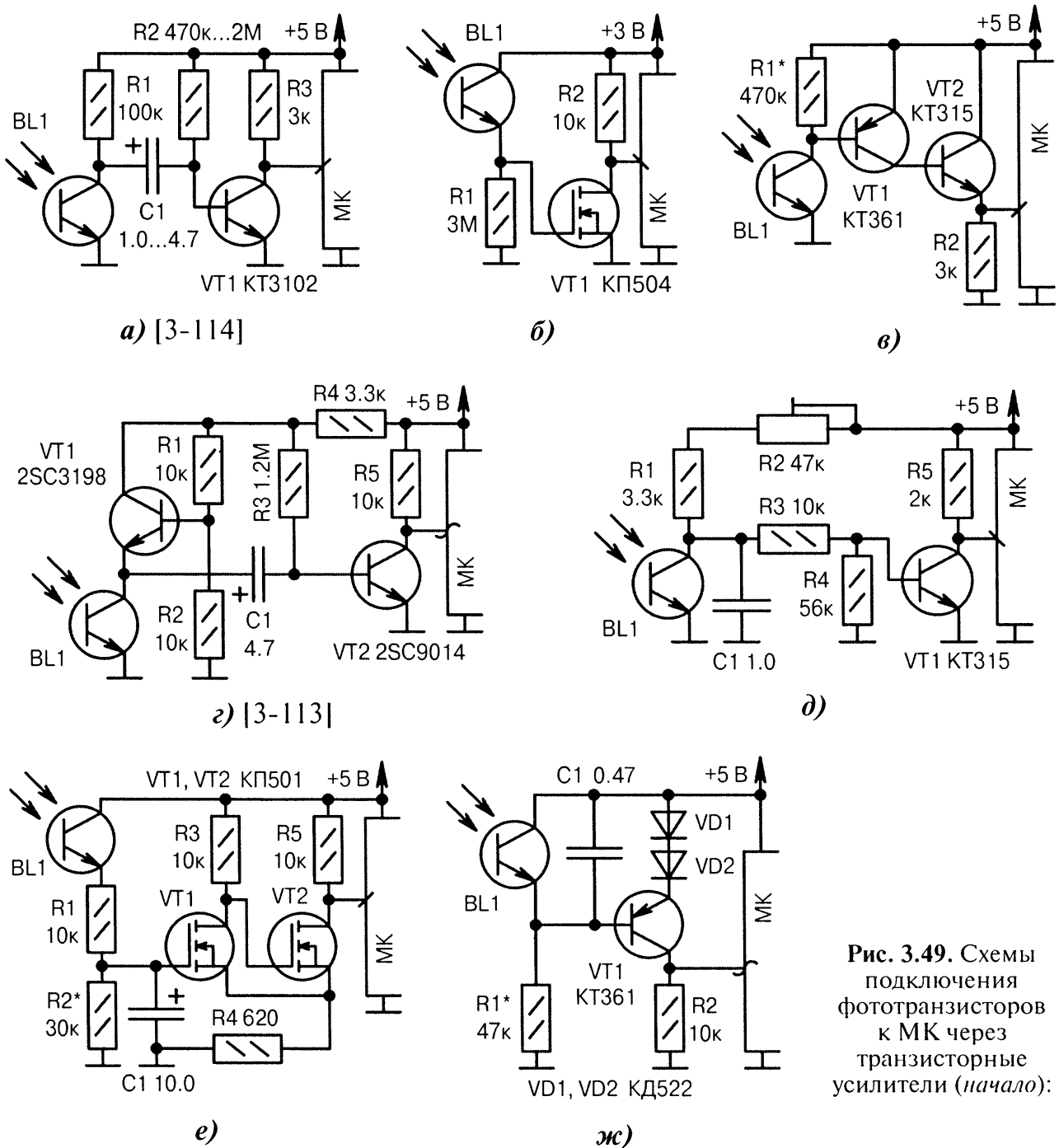
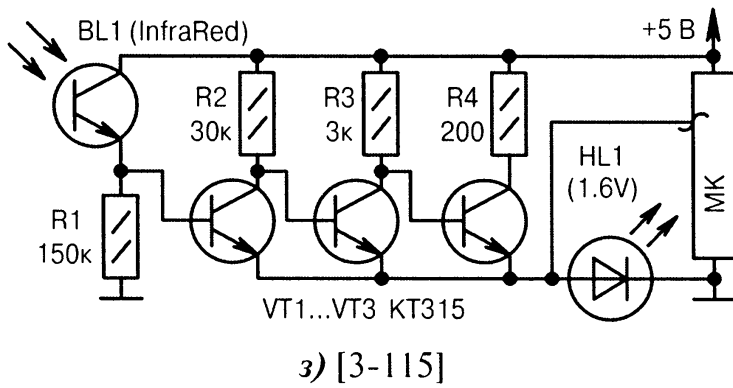


Рис. 3.49. Схемы подключения фототранзисторов к МК через транзисторные усилители (начало):

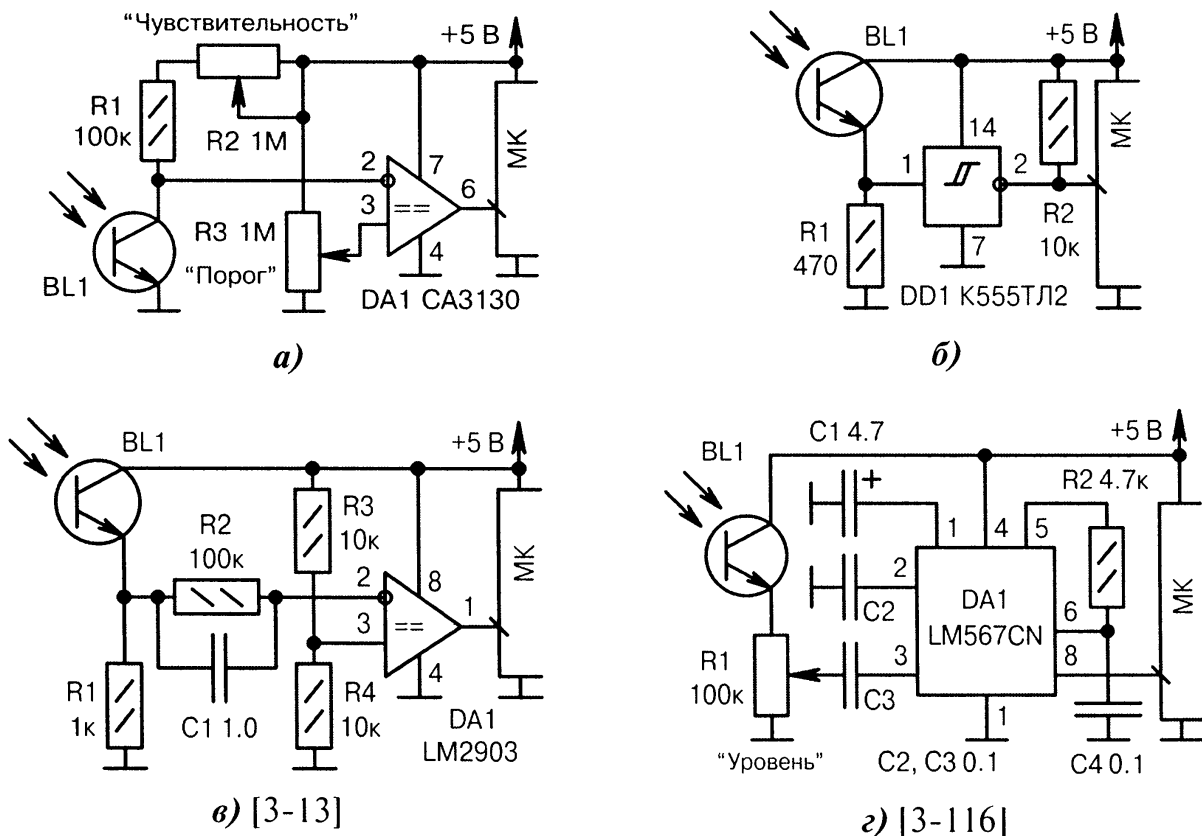
- а) входной узел «светового пистолета» от игровой видеоприставки «Dendy». Фототранзистор *BL1* направляется на экран телевизора. Резистором *R2* регулируют дальность приёма;
- б) полевой транзистор *VT1* осуществляет согласование сопротивлений *R1* и *R2*;
- в) двухкаскадный усилитель на транзисторах разной проводимости *VT1*, *VT2* обеспечивает повышенную чувствительность фотодатчика *BL1*;
- г) улучшенный вариант фотодатчика для «светового пистолета» с автоподстройкой под разную яркость фона. Элементы *VT1*, *R1*, *R2*, *R4* образуют динамический стабилизатор тока;
- д) резистором *R2* подбирается такое положение, чтобы транзистор *VT1* был открыт при отсутствии освещения фототранзистора *BL1*. Конденсатор *C1* фильтрует помехи;
- е) триггер Шмитта на полевых транзисторах *VT1*, *VT2* определяет порог срабатывания фотодатчика *BL1*. Конденсатор *C1* устраняет импульсные «световые» помехи;
- ж) диоды *VD1*, *VD2* повышают помехоустойчивость усилителя на транзисторе *VT1*; ☹





● **Рис. 3.49.** Схемы подключения фототранзисторов к МК через транзисторные усилители (окончание):

з) трёхкаскадный усилитель на транзисторах  $VT1...VT3$  с визуальной индикацией приёма посылок от инфракрасного датчика  $BL1$  светодиодом  $HL1$ .



**Рис. 3.50.** Схемы подключения фототранзисторов к МК через усилители на микросхемах:

- а) фототранзисторный датчик  $BL1$  с интегральным компаратором  $DA1$  и с широким диапазоном регулирования параметров при помощи двух переменных резисторов  $R2, R3$ ;
- б) триггер Шмитта на логической микросхеме  $DD1$  улучшает помехоустойчивость и увеличивает крутизну фронтов сигналов, поступающих от фототранзистора  $BL1$ ;
- в) фототранзистор  $BL1$  для повышения точности срабатывания подключается к внешнему интегральному компаратору  $DA1$ . Конденсатор  $C1$  увеличивает крутизну фронтов сигналов;
- г) полосовой фильтр на микросхеме тонального декодера  $DA1$  (фирма National Semiconductor) обрабатывает импульсно-модулированные световые сигналы, принимаемые фототранзистором  $BL1$ . Центральная частота фильтра определяется по формуле  $F_0[\text{кГц}] = 1 / (R_2[\text{кОм}] \cdot C_4[\text{мкФ}])$ . Полоса пропускания фильтра обратно пропорциональна ёмкости конденсатора  $C2$ . Резистором  $R1$  устанавливается оптимальный уровень входного сигнала для  $DA1$  в диапазоне 100...200 мВ.

### 3.6.4. Интегральные фотомодули

Интегральные фотомодули применяются в системах дистанционного управления (ДУ) и устанавливаются внутри телевизоров, видеомагнитофонов, аудиоккомплексов, домашних кинотеатров и т.д. На вид это трёхвыводные радиоэлементы (размерами как транзистор КТ817) с прозрачным окошком для приёма световых сигналов (Рис. 3.51).

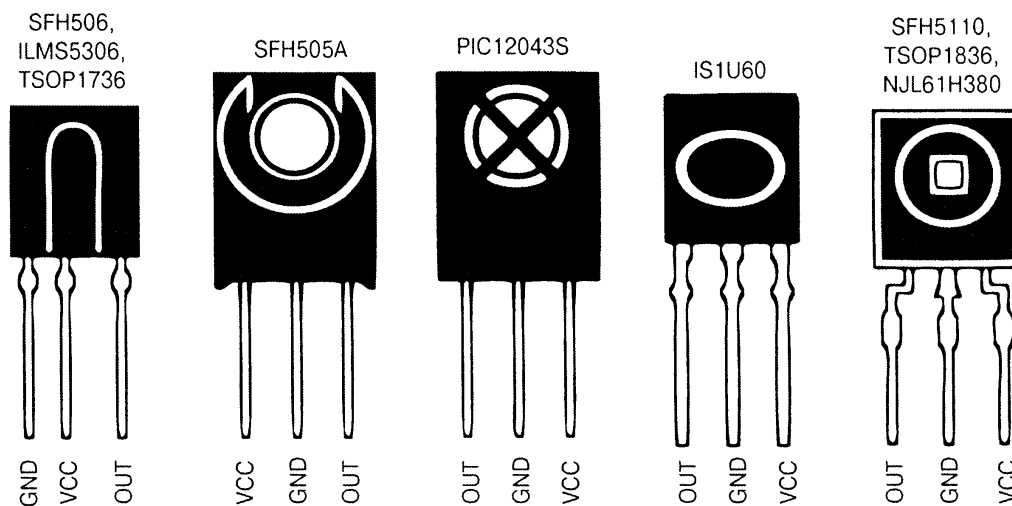


Рис. 3.51. Внешний вид интегральных фотомодулей.

Типовые параметры фотомодулей: ток потребления 0.5...1 мА, максимальная нагрузка по выходу 5 мА, напряжение питания 4.5...5.5 В. Чувствительность достаточна для уверенного приёма сигналов от пульта ДУ с расстояния до 6 м.

На Рис. 3.52 показана функциональная схема стандартного фотомодуля. Импульсные световые посылки принимаются ИК-фотодиодом BL1, затем усиливаются, фильтруются и инвертируются. Фильтр выделяет частоту 36 кГц (бывает 38 и 40 кГц), что позволяет устранить помехи от «мерцания» ламп накаливания и медленных колебаний яркости светового фона. Ключевой транзистор VT1 нагружен на высокоомный резистор R1, что следует учитывать при подключении внешних цепей. Выходные импульсы OUT содержат информацию, которую должен расшифровывать МК по составленной пользователем программе [3-117].

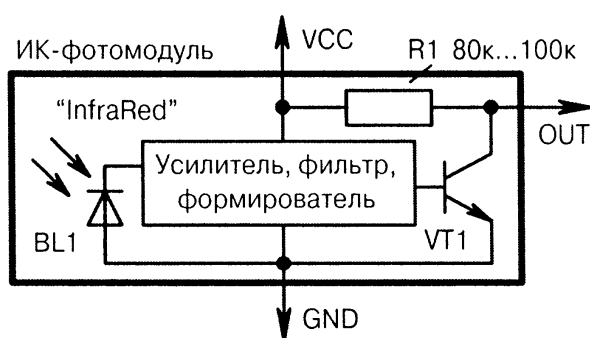


Рис. 3.52. Внутреннее устройство интегрального фотомодуля.

Протокол кодирования импульсов и частота модуляции определяются пультом ДУ, с которого ведётся управление. Чаще всего применяется система кодирования RC-5, разработанная фирмой Philips, хотя существуют и другие, например, RC-6, SIRC, JVC.

Детальный анализ кодов RC-5 требуется далеко не во всех случаях. Иногда важно установить сам факт нажатия кнопки на пульте ДУ. Это легко осуществить аппаратным выделением огибающей импульсов без их программной обработки.

На Рис. 3.53, а...и показаны схемы подключения интегральных фотомодулей.

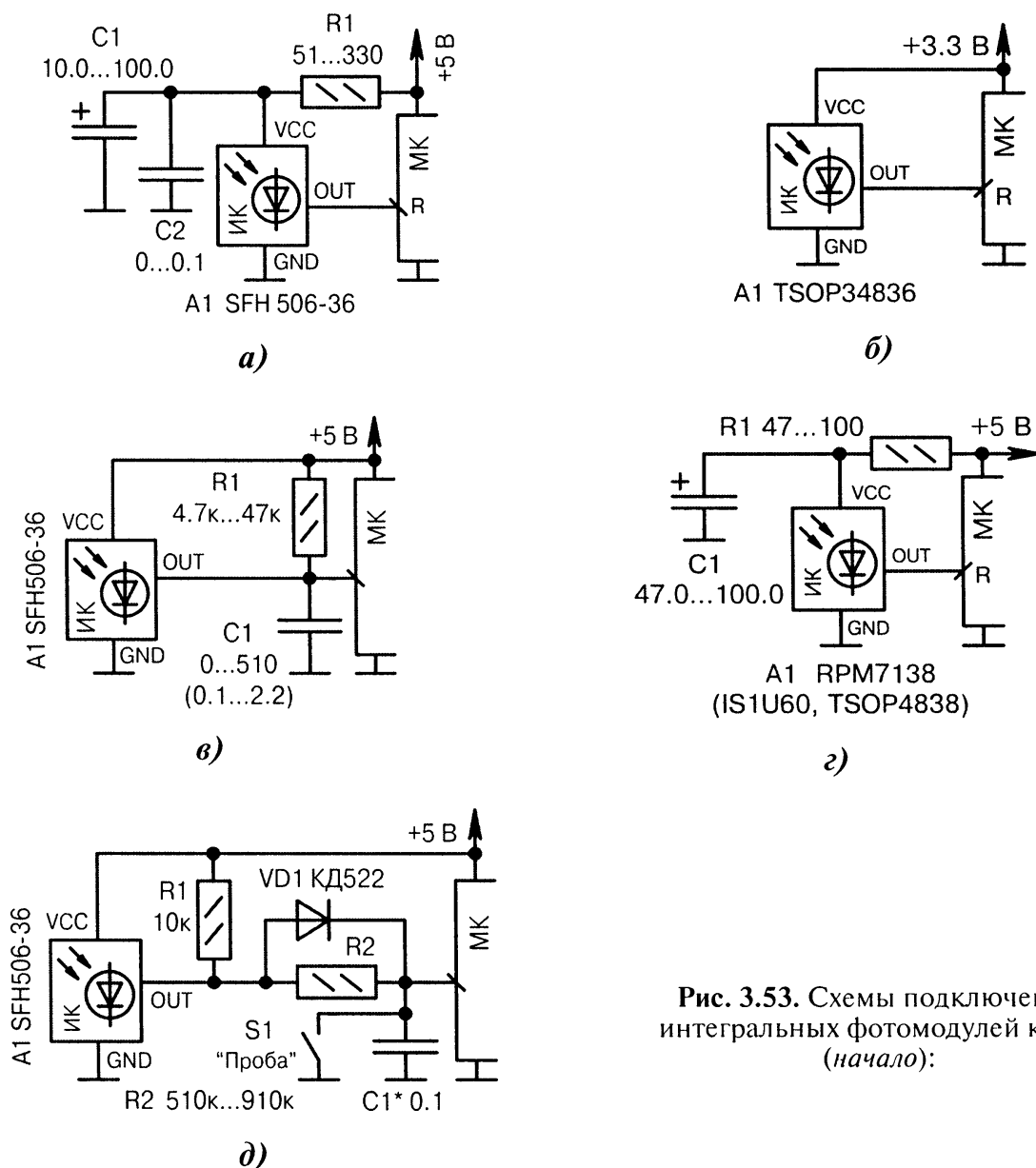


Рис. 3.53. Схемы подключения интегральных фотомодулей к МК (начало):

а) типовая схема подключения интегрального фотомодуля *A1*. Элементы *C1*, *C2*, *R1* сглаживают пульсации по питанию. В некритичных случаях они могут отсутствовать. Нагрузкой выхода *OUT* фотомодуля служит параллельное соединение двух резисторов: один находится внутри МК, другой — внутри *A1*. Цоколёвка выводов фотомодуля определяется по **Рис. 3.51**;

б) при пониженном питании +3.3 В требуется специальный тип ИК-приёмника *A1* (обычные фотоприёмники в большинстве случаев рассчитаны на напряжение +4.5...+5.5 В). Для повышения помехоустойчивости желательно применить *RC*-фильтр по питанию;

в) конденсатор *C1* малой ёмкости (сотни пикофард) ставят для снижения импульсных помех при расшифровке кода *RC-5*. Конденсатор *C1* большой ёмкости (единицы микрофард) ставят для выделения огибающей пачек световых импульсов без расшифровки их содержания;

г) *A1* — это интегральный фотомодуль, рассчитанный на приём сигналов с частотой модуляции 38 кГц (а не 36 кГц). Как видно, схемотехника идентичная;

д) детектор нажатия любой кнопки на пульте ДУ, луч которого направлен на фотомодуль *A1*. Детектором служат элементы *VD1*, *C1*. Высокоомный резистор *R2* обеспечивает ускоренный разряд конденсатора *C1* в паузах. Содержимое пачек ИК-импульсов не анализируется. Переключатель *S1* в замкнутом положении имитирует успешный приём сигнала; ●

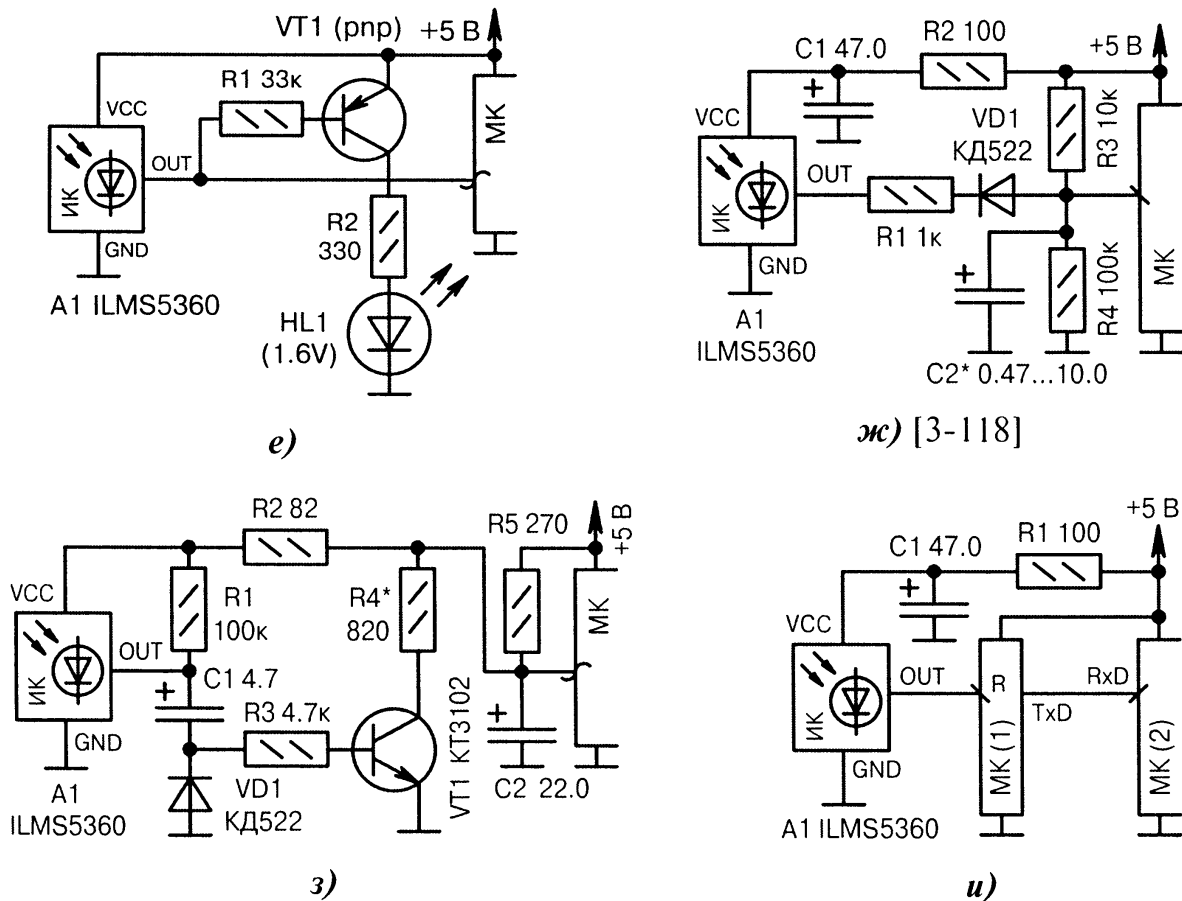


Рис. 3.53. Схемы подключения интегральных фотомодулей к МК (окончание):

е) к стандартной схеме включения (Рис. 3.53, б) добавляется визуальная индикация пачек световых импульсов (*VT1*, *HL1*), принимаемых от интегрального фотомодуля *A1*;

ж) в исходном состоянии конденсатор *C2* заряжается до 4.5 В через резисторы *R3*, *R4*. При подаче на фотомодуль *A1* световых импульсов напряжение на конденсаторе *C2* снижается (элементы *VD1*, *R1*) и на входе МК устанавливается НИЗКИЙ уровень;

з) «двухполюсное» соединение фотомодуля *A1* и МК. Информационные сигналы и питание передаются по одной и той же цепи. В исходном состоянии конденсатор *C2* заряжается через резистор *R5* до напряжения, близкого к +5 В, транзистор *VT1* закрыт, питание *VCC* поступает на фотомодуль *A1* через резистор *R2*. При появлении пачек световых импульсов транзистор *VT1* открывается, напряжение на конденсаторе *C2* (а значит и питание фотомодуля) снижается. Перепад уровней на конденсаторе *C2* измеряется при помощи АЦП МК;

и) МК(2) «общается» с интегральным фотомодулем *A1* через промежуточный сопроцессор МК(1) по интерфейсу UART (сигналы *RxD*, *TxD*). В связи с этим упрощается программная часть МК(2) и увеличивается быстродействие его работы, поскольку теперь не надо «отвлекаться» на расшифровку кода импульсов RC-5, принимаемых фотомодулем *A1*.

### 3.6.5. Фотоприёмники в оптопарах

Оптопары (оптроны) применяются для гальванической развязки устройств. Информация в оптопарах передаётся световым потоком от внутреннего излучателя к внутреннему фотоприёмнику в инфракрасном диапазоне длин волн. Поскольку в оптопарах имеется чёткое разделение на входную и выходную часть, то сопряжение с входом МК производится через фотоприёмник.

Встречаются следующие разновидности оптопар:

- диодные оптопары (Рис. 3.54, а) — высокое быстродействие;
- транзисторные оптопары (Рис. 3.54, б, в) — высокая чувствительность;
- интегральные оптопары (Рис. 3.54, г) — высокое быстродействие и чувствительность, наличие цифрового выхода;
- релейные оптопары (Рис. 3.54, д) — низкое сопротивление замкнутого ключа, большой коммутируемый ток.

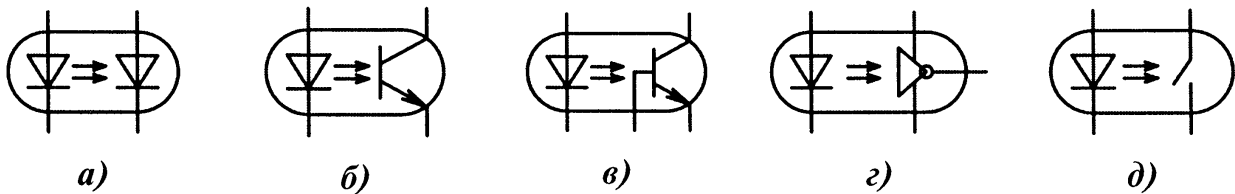


Рис. 3.54. Условные обозначения оптопар:

а) с диодным выходом; б) с транзисторным выходом; в) с транзисторным выходом и отводом от базы; г) с цифровым выходом; д) с электронным ключом на замыкание (оптореле).

Схемы подключения фотоприёмников транзисторных (Рис. 3.55, а...в), диодных (Рис. 3.56, а...д), релейных и интегральных оптопар (Рис. 3.57, а, б) к МК в целом похожи друг на друга, хотя и имеют различия.

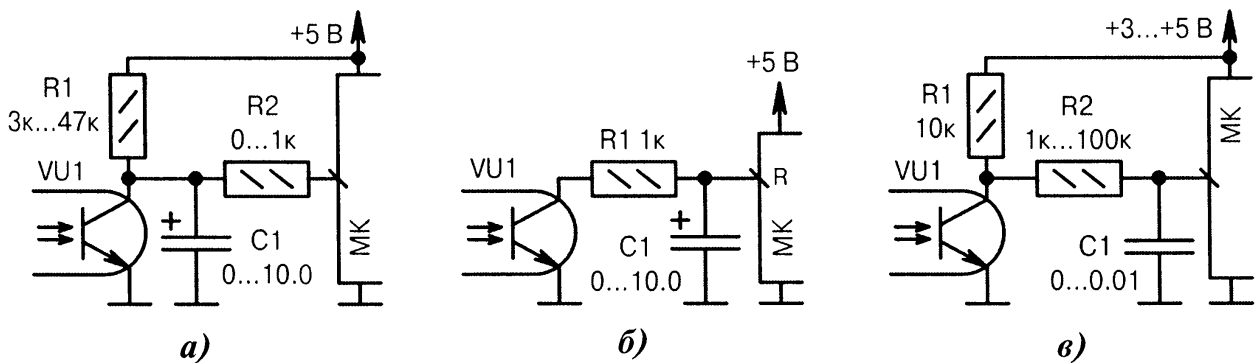


Рис. 3.55. Схемы подключения фотоприёмников транзисторных оптопар к МК (начало):

а) типовая схема подключения транзисторной оптопары к МК. Резистор  $R1$  ограничивает коллекторный ток. Конденсатор  $C1$  фильтрует короткие импульсы ложных срабатываний и устраняет «звон» на фронтах сигналов. Резистор  $R2$  выполняет две функции. Во-первых, служит защитой МК от ошибок в программе, когда линия порта переключается с входа на выход с ВЛ-СОКИМ уровнем. Во-вторых, ограничивает ток разряда конденсатора  $C1$  (если он имеет большую ёмкость 6.8...22 мкФ) через внутренний диод МК при снятии питания;

б) коллекторный ток транзистора оптопары  $VU1$  протекает через резистор  $R1$  и внутренний «pull-up» резистор МК. Ток очень низкий, поэтому транзистор должен быть надёжно закрыт, что достигается при полном отсутствии напряжения на излучательном диоде оптопары. Фильтр  $R1$ ,  $C1$  устраняет импульсные помехи. При большой ёмкости конденсатора  $C1$  (микрофарады) надо поставить ограничительный резистор сопротивлением 1 кОм прямо на входе МК;

в) схема применяется, если МК не имеет внутреннего «pull-up» резистора или требуется обеспечить стабильный и достаточно большой коллекторный ток через транзистор оптопары, не зависящий от разброса параметров МК. Фильтр  $R2$ ,  $C1$  подавляет короткие импульсные помехи, «просачивающиеся» через проходную ёмкость оптопары  $VU1$ ; ☉

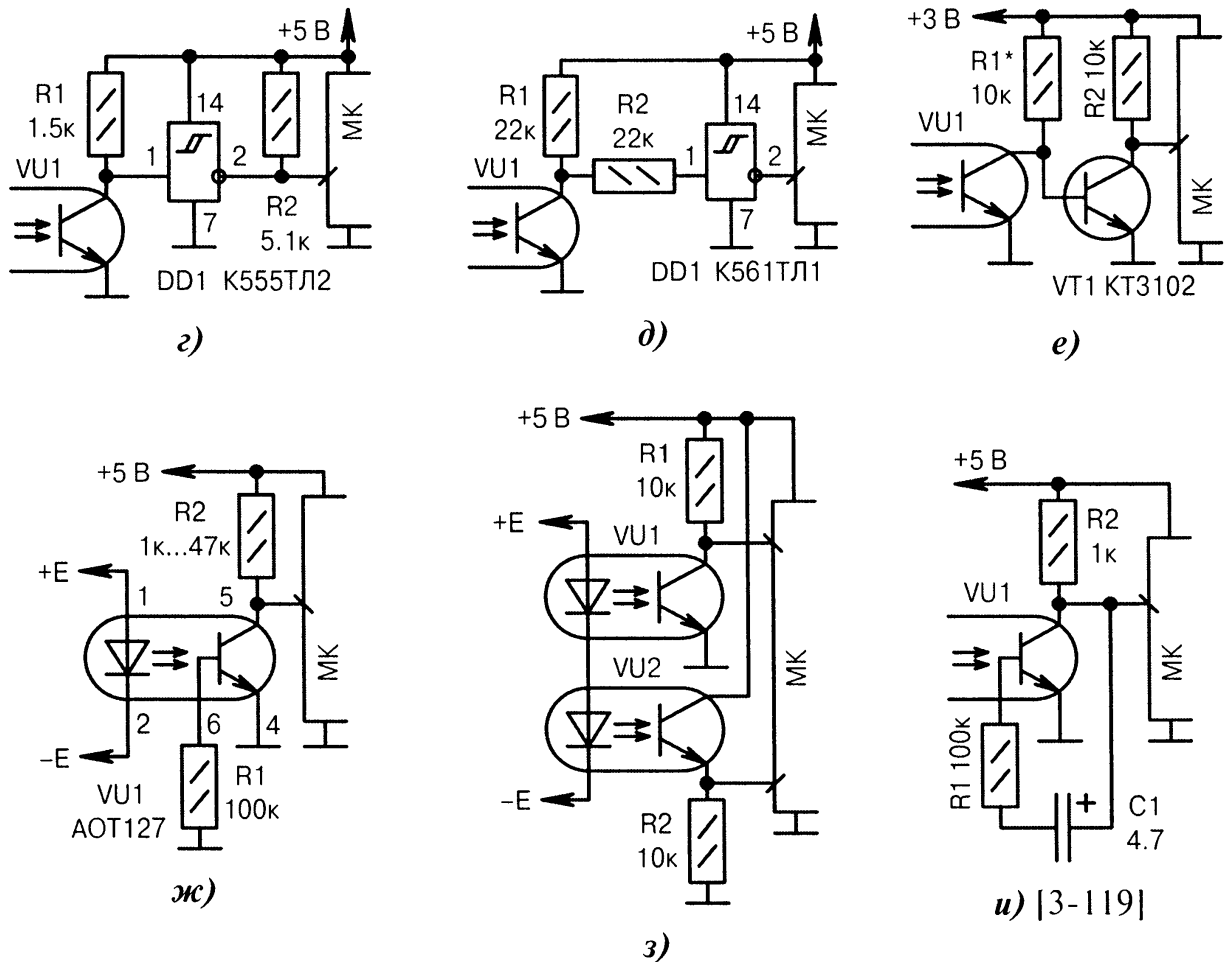


Рис. 3.55. Схемы подключения фотоприёмников транзисторных оптопар к МК (продолжение):

г) ТТЛ-триггер Шмитта *DD1* улучшает помехоустойчивость и увеличивает крутизну фронтов сигнала. Необходимость резистора *R2* проверяется экспериментально. Сопротивление резистора *R1* должно быть достаточно низким, чтобы обеспечить **ВЫСОКИЙ** входной уровень для логического элемента *DD1* при закрытом транзисторе оптопары *VU1*;

д) аналогично **Рис. 3.55, г**, но с КМОП-триггером Шмитта *DD1*, при этом сопротивление резистора *R1* может изменяться в широких пределах от единиц до десятков килоом;

е) транзистор *VT1* находится в глубоком насыщении, в связи с чем повышается помехоустойчивость, поскольку перестают сказываться небольшие флуктуации коллекторного тока фотоприёмника оптопары *VU1*. Обратная сторона медали — снижение быстродействия, т.к. для выхода транзистора *VT1* из насыщения требуется определённое время;

ж) в транзисторных оптопарах, имеющих отвод от базы, обычно ставят резистор *R1*, чтобы база «не висела в воздухе». Без резистора *R1* оптопара тоже будет работать, но с возможными сбоями. Кроме того, в сложной помеховой обстановке свободный вывод базы может стать своеобразной антенной для приёма наводок «по эфиру», поэтому без веских причин применять пятивыводные оптопары не следует;

з) транзистор оптопары *VU1* включается как инвертор, а транзистор оптопары *VU2* — как повторитель сигнала. В связи с этим от одного входа *+E*, *-E* можно получить два противофазных выходных сигнала, подаваемых на две разные линии МК или на другие цепи устройства;

и) цепочка *R1, C1* поднимает усиление в области высоких частот. Эта схема актуальна только для транзисторной оптопары *VU1*, имеющей отвод от базы; ◉

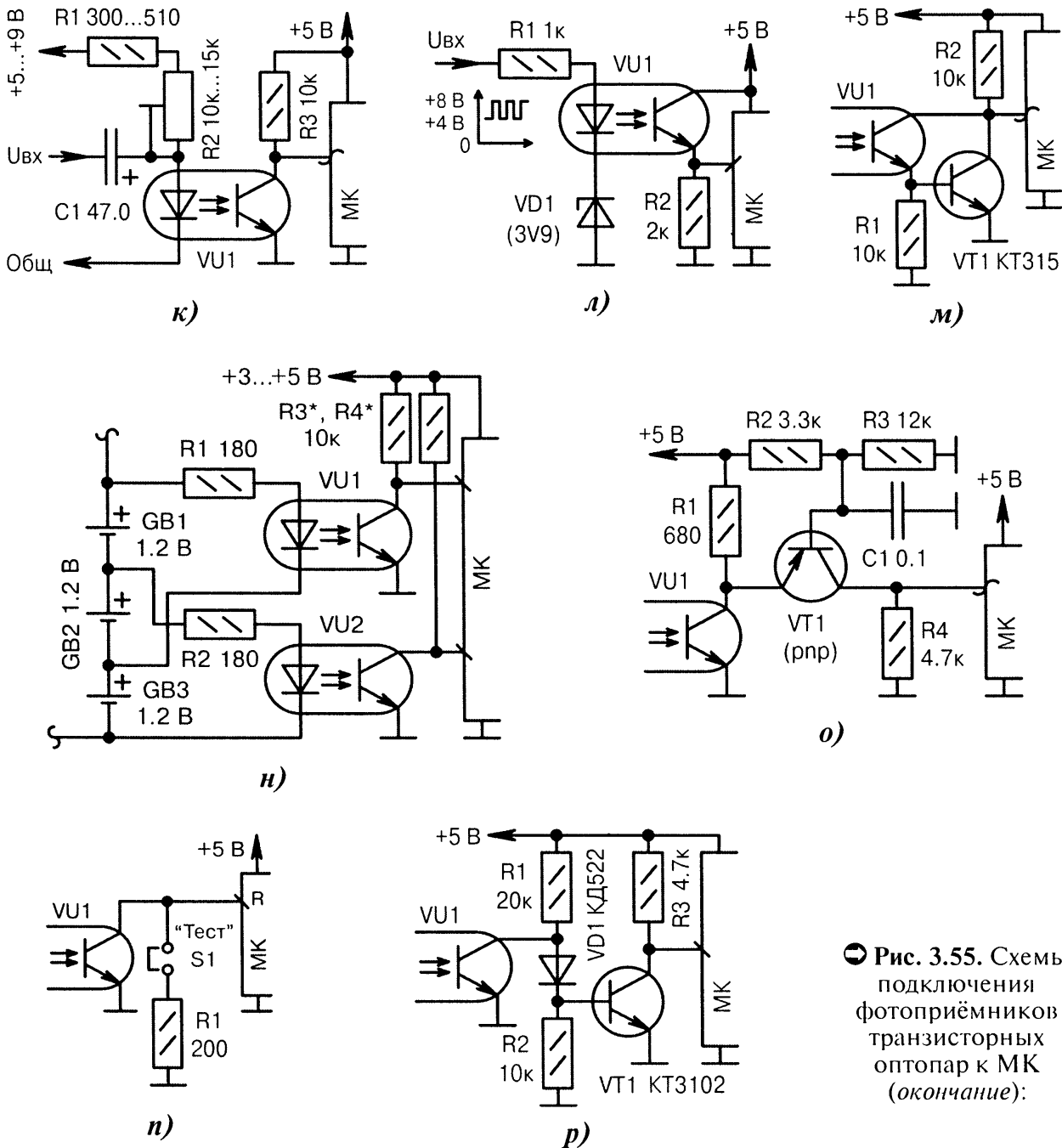


Рис. 3.55. Схемы подключения фотоприёмников транзисторных оптопар к МК (окончание):

к) передача переменного напряжения  $U_{вх}$  через оптопару  $VU1$ . Резистором  $R2$  регулируется симметричность ограничения сигнала на входе АЦП МК;

л) передача через оптопару  $VU1$  сигнала  $U_{вх}$ , имеющего постоянную составляющую;

м) транзистор оптопары  $VU1$  и транзистор  $VT1$  включаются по схеме Дарлингтона;

н) определение степени разряда аккумуляторов  $GB1...GB3$  методом исключения. Например, если транзистор оптопары  $VU1$  открыт, а  $VU2$  закрыт, то разрядился аккумулятор  $GB3$ . Резисторами  $R3, R4$  можно устанавливать определённый порог срабатывания;

о) транзистор  $VT1$  служит усилителем с общей базой, имеющим низкое входное сопротивление. Схема применяется в датчиках тока и в других устройствах с низкоомным резистором  $R1$ ;

п) перемычка  $S1$  в замкнутом положении имитирует открытое состояние транзистора оптопары  $VU1$  при тестовых проверках. Резистор  $R1$  равен сопротивлению «коллектор — эмиттер»;

р) повышенная помехоустойчивость благодаря диоду  $VD1$ . Схема эффективна, если транзистор оптопары  $VU1$  больше времени находится в открытом, чем в закрытом состоянии.

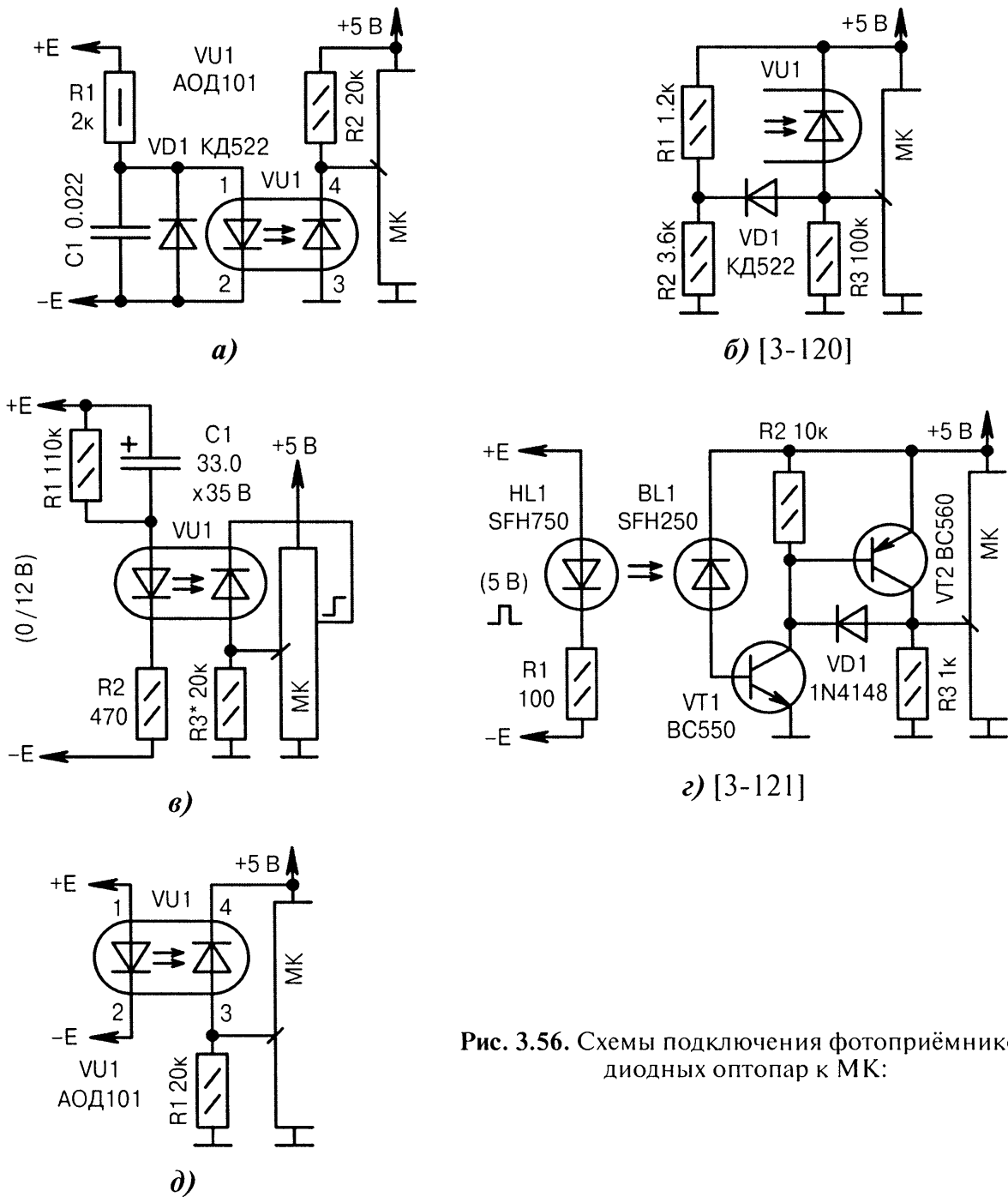


Рис. 3.56. Схемы подключения фотоприёмников диодных оптопар к МК:

а) схема подключения фотоприёмника диодной оптопары к общему проводу. Диод *VD1* защищает излучатель оптопары от обратного напряжения. Конденсатор *C1* снижает помехи;

б) элементы *R1*, *R2*, *VD1* не дают войти в глубокое насыщение фотоприёмному диоду оптопары *VU1*, тем самым обеспечивая повышенное быстродействие устройства;

в) экономичный регистратор напряжения 0/12 В. Цепочка *R1*, *C1* снижает потребление тока во входной цепи. Конденсатор *C1* формирует импульс тока через оптопару *VU1* при резкой подаче напряжения 12 В. Фотоприёмник оптопары *VU1* питается от выходной линии МК, что улучшает помехоустойчивость (аппаратное отключение) и снижает потребление тока в цепи +5 В;

г) аналог диодной оптопары, выполненный на дискретном светодиоде *HL1* и дискретном фотоприёмнике *BL1*. Частота световых импульсов до 50 кГц. Расстояние воздушного промежутка между *HL1* и *BL1* может достигать 5 см, что обеспечивает очень высокое напряжение пробоя;

д) простая схема подключения фотоприёмника диодной оптопары *VU1* к цепи питания.



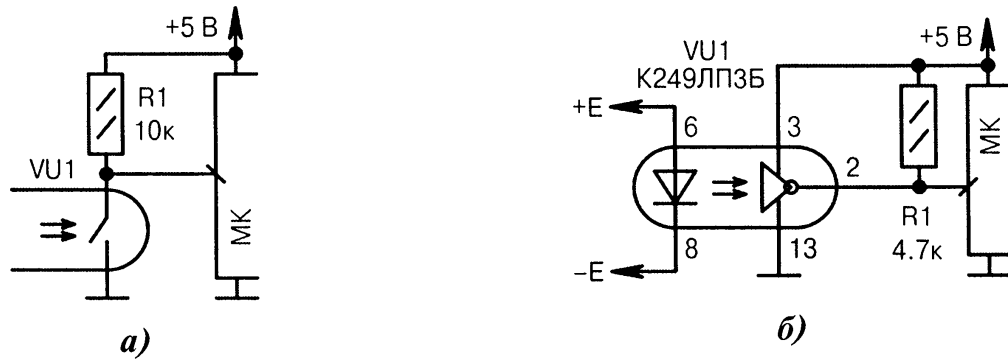


Рис. 3.57. Схемы подключения фотоприёмников релейных и интегральных оптопар к МК:

а) резистор  $R1$  определяет ток через ключ релейной оптопары  $VU1$ ;

б) интегральная оптопара  $VU1$  формирует на своём выходе НИЗКИЙ и ВЫСОКИЙ логические сигналы с уровнями ТТЛ. Резистор  $R1$  может отсутствовать, если используется оптопара, которая формирует сигналы с уровнями КМОП.

### 3.6.6. Датчики с открытым оптическим каналом

Датчики с открытым оптическим каналом можно рассматривать как оптопары, у которых световой поток между излучателем и приёмником проходит вне корпуса. У пользователя появляется возможность перекрывать световой поток непрозрачной заслонкой и в ответ видеть на выходе фотоприёмника перепад уровней. По такому принципу работают механические компьютерные мыши.

Различают датчики перекрытия светового потока (излучатель напротив приёмника) и датчики отражения светового луча (излучатель и приёмник находятся в одной плоскости). Внутри датчиков с открытым оптическим каналом могут находиться интегральные усилители и сложные транзисторные формирователи.

Типовые параметры щелевых оптопар фирмы Vishay: устойчивое перекрытие светового потока при расстоянии 2...5 мм, транзисторный ключ на выходе, время включения 1...20 мкс, время выключения 3...30 мкс.

На Рис. 3.58, а...о показаны схемы подключения датчиков с открытым оптическим каналом к МК.

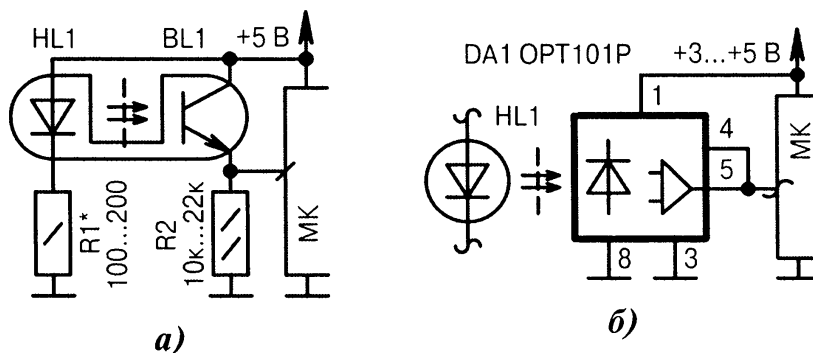


Рис. 3.58. Схемы подключения датчиков с открытым оптическим каналом к МК (начало):

а) пара «излучатель-приёмник»  $HL1$ ,  $BL1$  должна работать в одном диапазоне длин волн, например, световом, инфракрасном или ультрафиолетовом. Можно использовать светодиоды и фототранзисторы от компьютерной мыши;

б) цветочувствительный фотоприёмник  $DA1$  имеет внутри фотодиод и трансимпедансный усилитель. Напряжение на входе АЦП МК разное в зависимости от цвета светодиода  $HL1$ ; ⊕

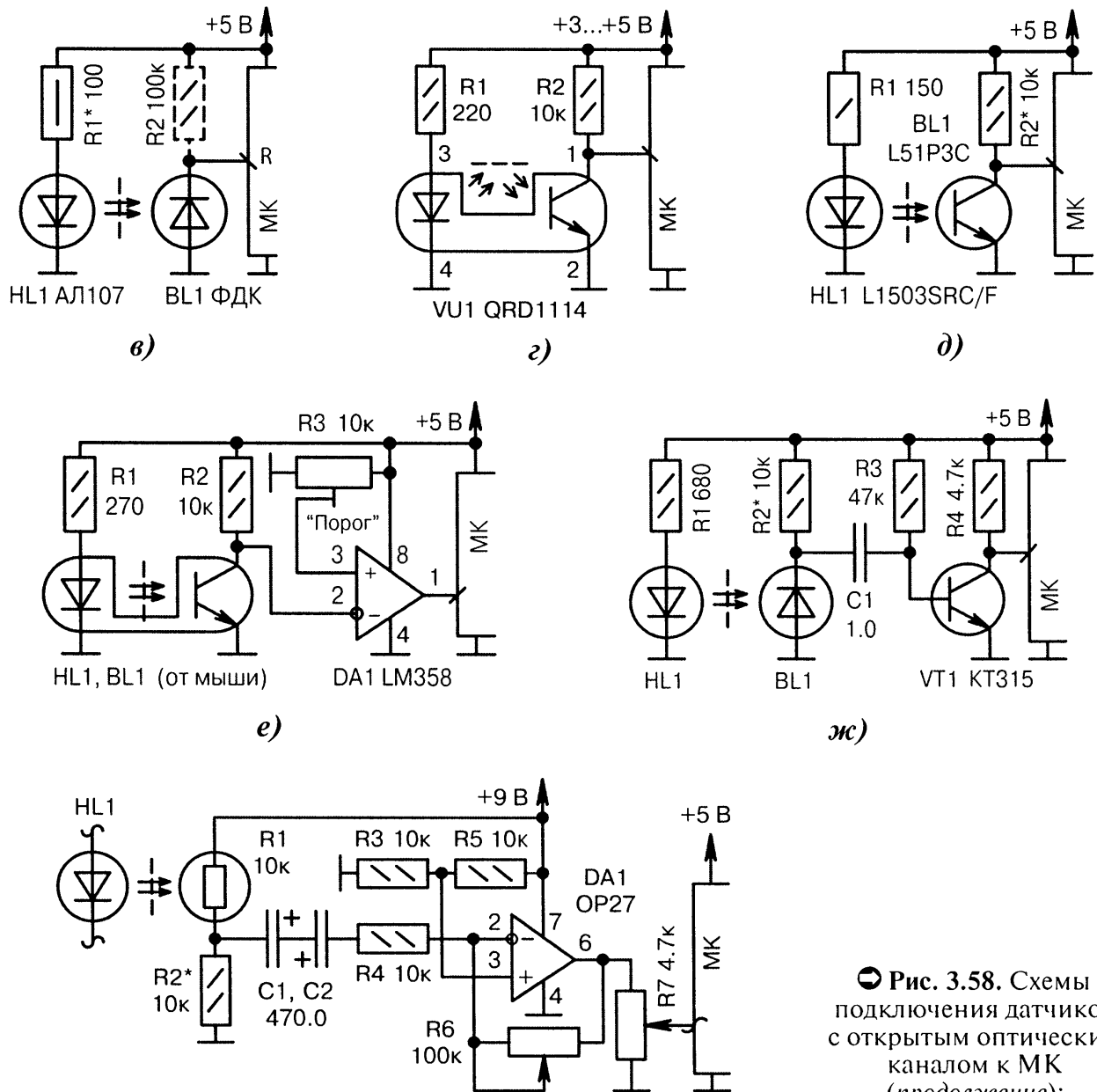


Рис. 3.58. Схемы подключения датчиков с открытым оптическим каналом к МК (продолжение):

з) [3-122]

в) вместо внутреннего «pull-up» резистора МК можно поставить внешний резистор  $R2$  (показан пунктиром). Замена фотодиода  $BL1$  — ФД263;

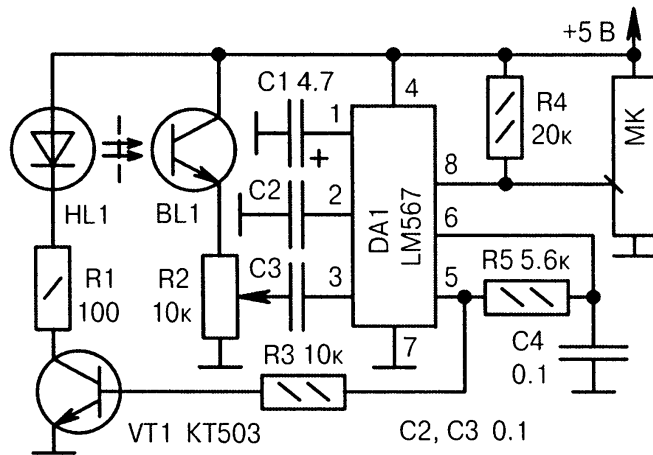
г) стандартное подключение малогабаритного датчика отражения  $VU1$  (фирма Fairchild), работающего в инфракрасном диапазоне длин волн 950 нм;

д) светодиод  $HL1$  — сверхъяркий. Подбором резистора  $R2$  добиваются того, чтобы фототранзистор  $BL1$  не открывался при попадании на него солнечного света;

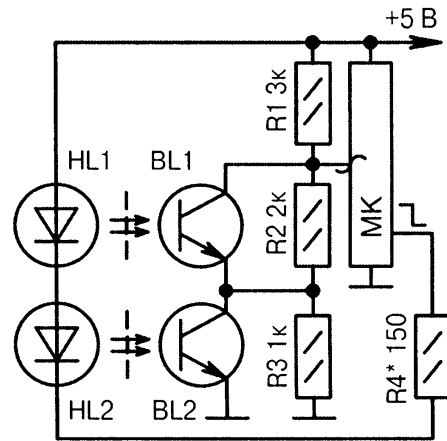
е) компаратор на ОУ  $DA1$  повышает точность фиксации в момент перекрытия светового потока между излучателем  $HL1$  и фотоприёмником  $BL1$ ;

ж) детектор резкой смены освещённости фотодатчика  $BL1$  на медленные изменения не реагирует. Ключ на транзисторе  $VT1$  закрывается по отрицательному фронту проинтегрированных импульсов, поступающих на его базу через разделительный конденсатор  $C1$ ;

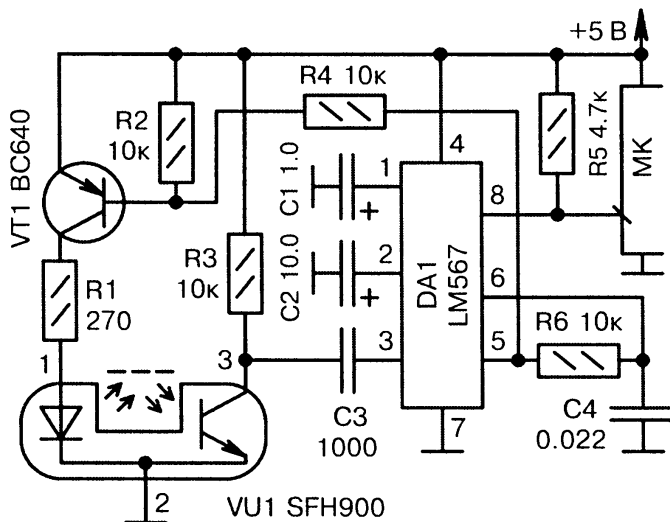
з) использование фоторезистора в качестве приёмника открытого светового потока. Конденсаторы  $C1, C2$  соединяются последовательно и встречно (эквивалент неполярного конденсатора), чтобы обеспечить регистрацию сверхнизкочастотных сигналов; ●



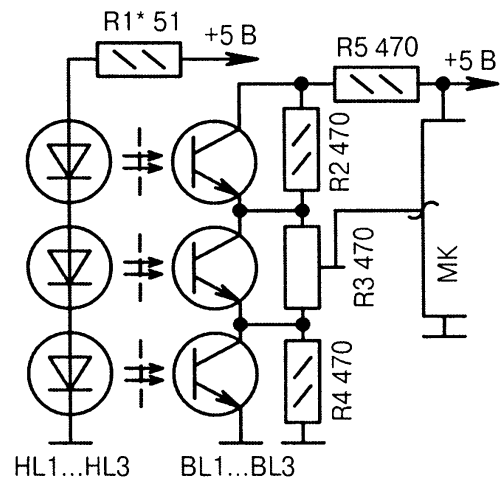
и) [3-123]



к)



л) [3-124]



м)

● Рис. 3.58. Схемы подключения датчиков с открытым оптическим каналом к МК (продолжение):

и) микросхема *DA1* генерирует сигнал на выводе 5, который приходит на транзистор *VT1*, модулирует световой поток *HL1* и через оптический канал *BL1* поступает обратно на вывод 3. Внутри микросхемы *DA1* сигнал фильтруется в узкой полосе и выдаётся на МК с вывода 8. Частота генерации *DA1* определяется по формуле  $F_0[\text{Гц}] = 1 / (1.1 \cdot R_5[\text{Ом}] \cdot C_4[\text{пФ}])$ . Конденсатор *C2* определяет полосу захвата. Пара «излучатель-приёмник» должна иметь быстродействие, достаточное для работы на частоте не ниже, чем  $F_0$  (обычно единицы-десятки кГц). Достоинство схемы заключается в высокой достоверности срабатывания датчика;

к) в зависимости от очередности освещения фототранзисторов *BL1*, *BL2* формируются четыре уровня напряжения в диапазоне 0...+2.5 В (резисторы *R1*...*R3*). Измерение этих напряжений осуществляется внутренним АЦП МК. Разрешает работу устройства НИЗКИЙ уровень с выхода МК, что повышает экономичность по току в паузах;

л) ИК-луч отражается от близлежащей поверхности и принимается фототранзистором оптопары *VU1*. Функциональное назначение, расчётные формулы и принцип работы микросхемы *DA1* (фирма National Semiconductor) аналогичны Рис. 3.58, и;

м) аналогично Рис. 3.58, к, но формируются восемь уровней напряжения от трёх излучателей *HL1*...*HL3*. Резистором *R3* выставляется начальное напряжение при закрытых транзисторах; ●

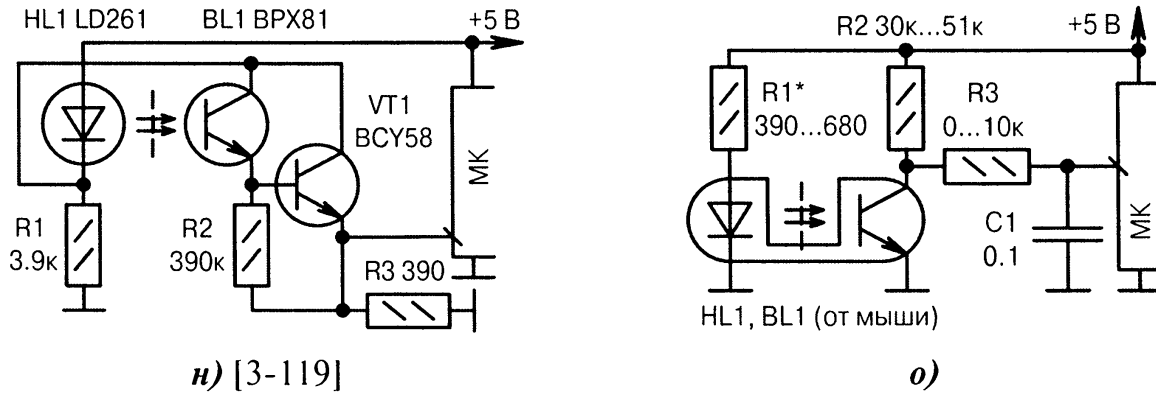


Рис. 3.58. Схемы подключения датчиков с открытым оптическим каналом к МК (окончание):  
 н) если световой поток перекрыт заслонкой, то транзисторы *BL1*, *VT1* закрыты и через светодиод *HL1* протекает низкий ток, определяемый резистором *R1*. Если свет проходит без преград, то открываются транзисторы *BL1*, *VT1* и параллельно резистору *R1* подключается резистор *R3*, вызывая увеличение тока через светодиод *HL1*. Достоинство схемы — экономичность по току;  
 о) цепочка *R1*, *C1* удаляет короткие ложные импульсы, возникающие на фронтах сигнала в момент перекрытия светового потока оптодатчика, состоящего из элементов *HL1*, *BL1*.

### 3.6.7. Видеодатчики

Если много элементарных фотодиодов расположить близко друг возле друга в виде прямоугольной матрицы, то получится простейший пространственный оптический сенсор (image sensor). Современные видеодатчики содержат фото-чувствительную матрицу с миллионами ячеек. Выходные сигналы от фотодиодов мультиплексируются для сокращения числа соединительных линий. Наиболее интеллектуальные датчики оснащаются формирователями видеосигналов PAL, NTSC, VGA, встроенным контроллером и даже собственной системой команд.

Видеодатчик, по определению, переводит оптическое распределение яркости изображения в электрические сигналы. Поскольку изображение является функцией двух пространственных переменных, то для преобразования используют строчную и кадровую развёртки. Следует отличать поля и кадры. Один кадр (полное видимое изображение) состоит из чётного и нечётного полей (Рис. 3.59).

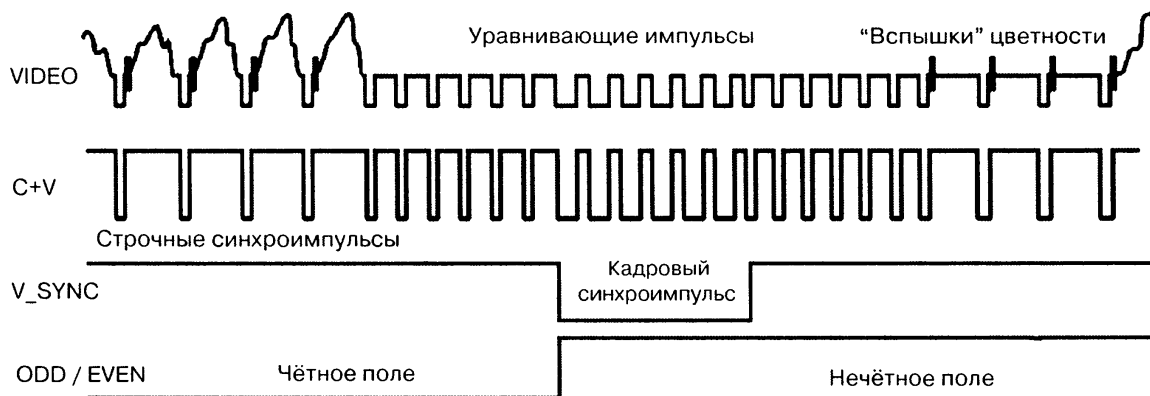


Рис. 3.59. Временные диаграммы при чересстрочной телевизионной развёртке: полный цветовой телевизионный сигнал (VIDEO), комплексный синхросигнал (C+V), кадровый синхросигнал (V\_SYNC), сигнал чётных/нечётных полей кадра (ODD/EVEN).

Обработка широкополосного видеосигнала в режиме реального времени обычному МК не под силу. Для этого требуются более высокие тактовые частоты и архитектурные надстройки, характерные для высокопроизводительных DSP. Однако МК может успешно оцифровывать отдельные телевизионные строки и вычислять среднюю освещённость в крупных блоках изображения. Чтобы это сделать, необходимо предварительно решить задачу выделения из телевизионного сигнала строчных и кадровых синхроимпульсов (Рис. 3.60, а...е).

Для сопряжения интеллектуальных видеодатчиков с МК используют цифровые последовательные и параллельные интерфейсы (Рис. 3.61, а...в). Подобная схемотехника характерна для видеокамер от сотовых телефонов, для охранных датчиков движения, для систем искусственного зрения роботов.

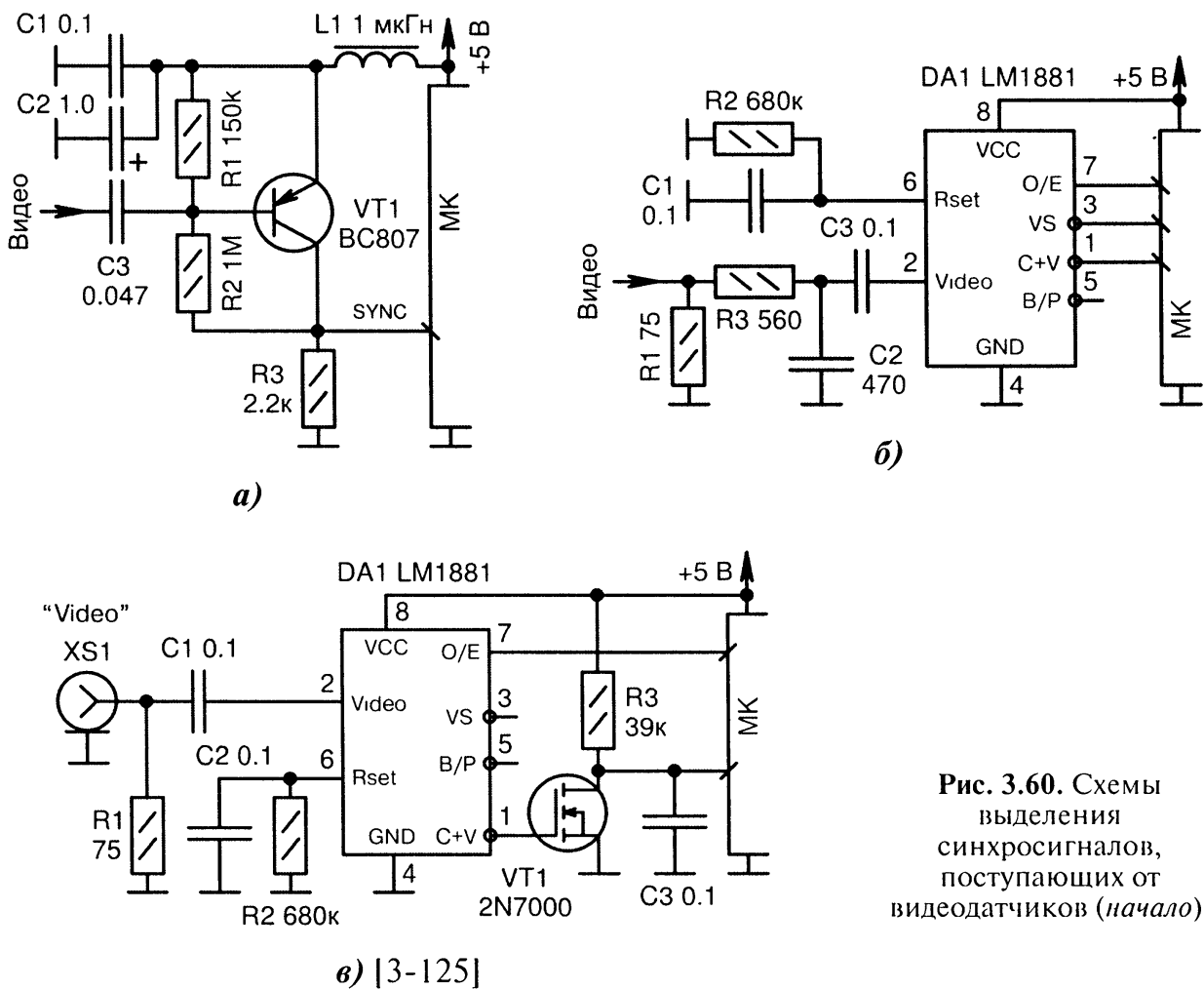
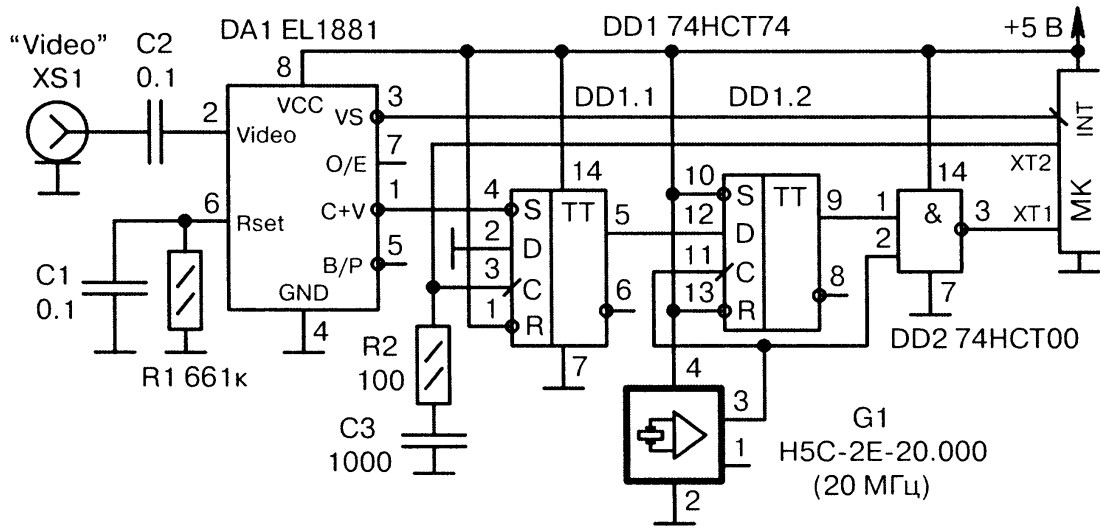


Рис. 3.60. Схемы выделения синхросигналов, поступающих от видеодатчиков (начало):

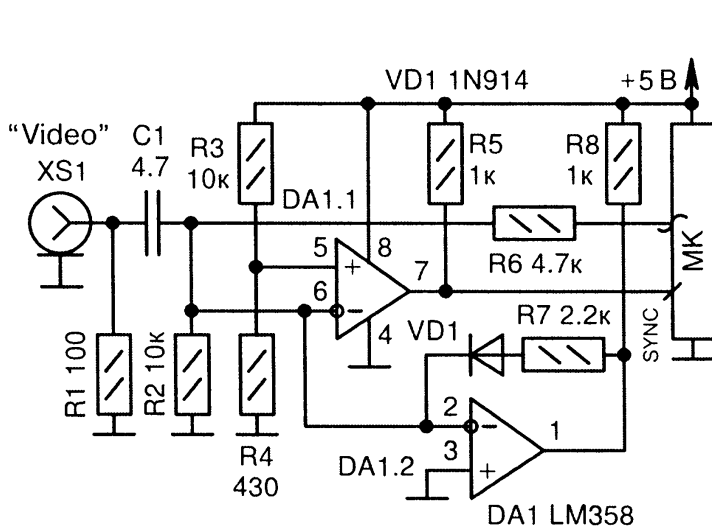
а) простейший селектор синхроимпульсов. Устойчивость синхронизации улучшается при малоподвижном изображении (подстраивается резистором  $R2$ );

б) на выходе микросхемы  $DA1$  формируются сигналы согласно Рис. 3.59: O/E — признак чётного/нечётного полей, VS — кадровые синхроимпульсы, C+V — комплексный синхросигнал, B/P — сигнал «вспышек» цветности. Поддерживаются телевизионные системы NTSC, PAL, SECAM. В даташите рекомендуется устанавливать элементы:  $R_3 = 620$  Ом,  $C_2 = 510$  пФ;

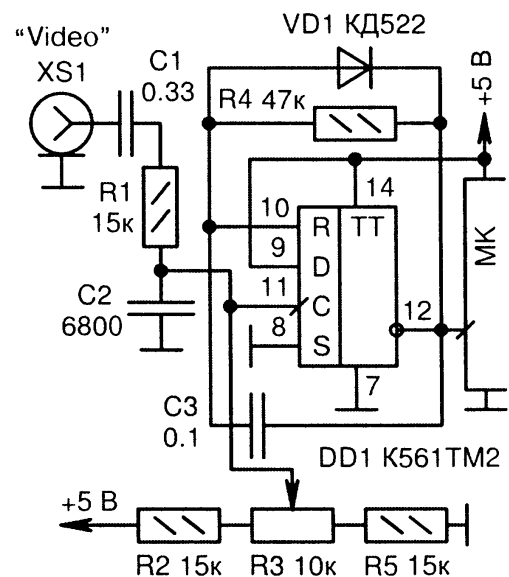
в) микросхема  $DA1$  — это сепаратор синхроимпульсов. Транзистор  $VT1$  периодически открывается и удерживает напряжение НИЗКОГО уровня на конденсаторе  $C1$ , что означает наличие видеосигнала на разъёме  $XS1$ ; ●



г) [3-126]



д) [3-127]



е) [3-128]

⊙ Рис. 3.60. Схемы выделения синхросигналов, поступающих от видеодатчиков (окончание):

г) системный тактовый сигнал для входа XT1 МК поступает от генератора *G1* с «подмешиванием» выделенных синхроимпульсов *C+V* через элемент *DD2*. Кадровый импульс *VS* поступает от микросхемы *DA1* на вход обработки прерывания МК PIC18F2320. Микросхема *DA1* по выполняемым функциям аналогична LM1881, но, по наблюдениям практиков, она менее «капризна» в работе, очевидно из-за того, что изготавливается другой фирмой (Intersil);

д) на аналоговый вход МК подаётся видеосигнал, а на цифровой — кадровые и строчные импульсы. Назначение элементов: *DA1.1* выделяет синхроимпульсы, *DA1.2* привязывает их к нулевому уровню (video clamp). Видеосигнал поступает в МК через элементы *C1*, *R6*. Внутренний АЦП МК PIC16F819 успевает усреднить амплитуду только в 64 крупных областях кадра;

е) телевизионный сигнал с разъёма *XS1* поступает через фильтр *C1*, *R2*, *C2* на одновибратор *DD1*, который нормирует синхроимпульсы по длительности 6...7 мс. Оптимальный порог срабатывания одновибратора устанавливается делителем на резисторах *R2*, *R3*, *R5*.

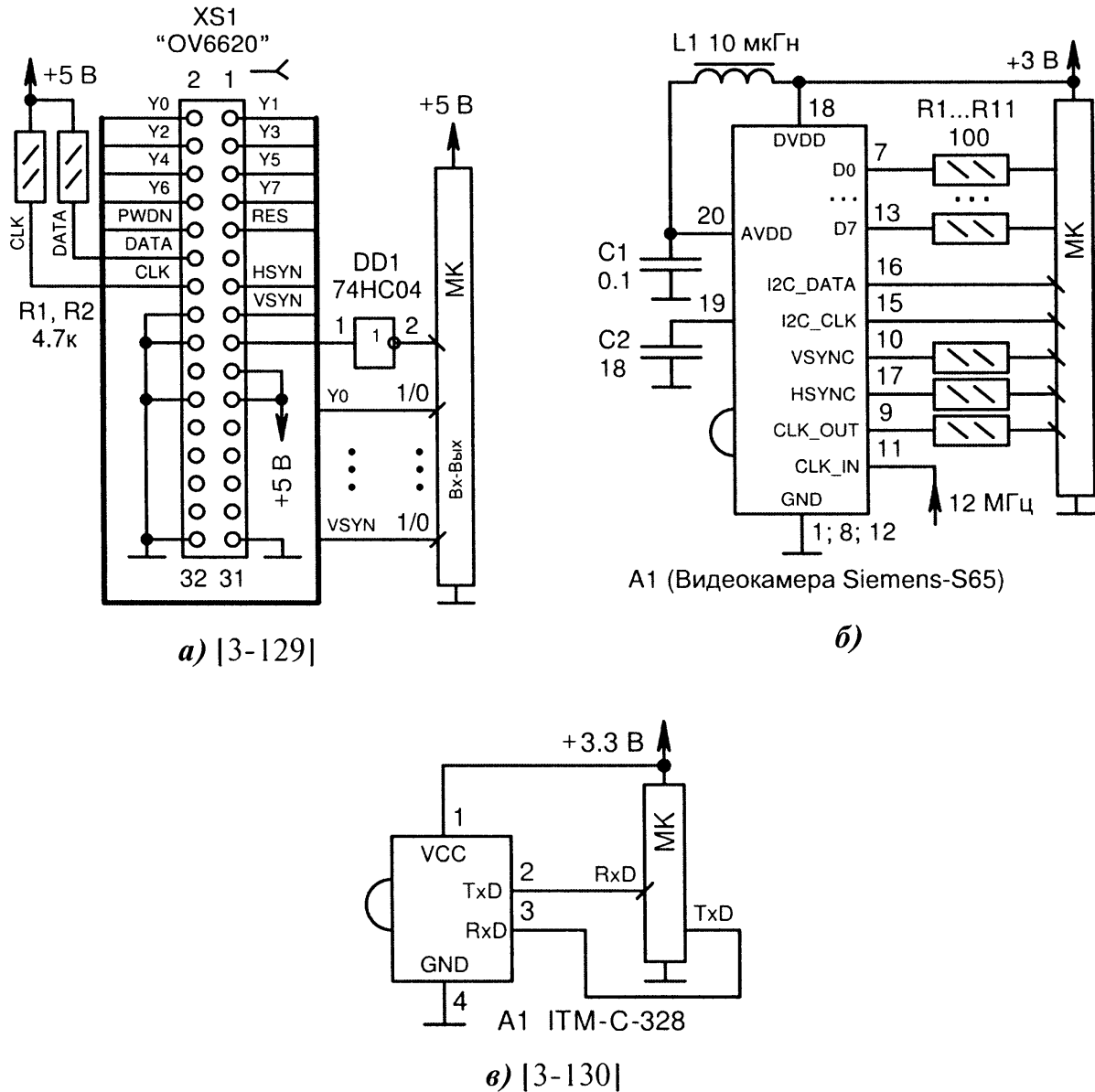


Рис. 3.61. Схемы подключения видеокамер к МК:

а) малогабаритная цветная цифровая видеокамера OV6620 (OV7620) фирмы Omnivision подключается к МК через малогабаритный разъем XS1. Все информационные сигналы поступают прямо в МК, поскольку напряжение питания в системе одинаковое +5 В. Установка режимов проводится через двухпроводной интерфейс I<sup>2</sup>C (сигналы DATA, CLK). Размер изображения 352 x 258 точек при частоте смены изображения 60 кадров в секунду. Мощность потребления видеокамеры не более 80 мВт в активном режиме;

б) подключение видеокамеры от сотового телефона Siemens-S65 к МК. Назначение сигналов: D0...D7 — восьмиразрядная шина данных; HSYNC, VSYNC — строчные и кадровые синхроимпульсы; CLK\_OUT — тактовые импульсы, по которым защёлкиваются сигналы на шине данных; CLK\_IN — системное тактирование; I2C\_CLK, I2C\_DATA — двухпроводной интерфейс для связи с внешним миром. Частота 12 МГц формируется внешним генератором, сигнал от которого может одновременно поступать и на вход XT1 МК;

в) A1 — это малогабаритный цветной VGA CMOS видеомодуль фирмы Intertec Components. Картинки передаются в сжатом формате JPEG со скоростью 115 Кбит/с по стандартному интерфейсу UART с помощью специального набора команд. Размер кадра 640 x 480 точек.

## 3.7. Индуктивные датчики

### 3.7.1. Бесконтактные индуктивные датчики

Речь пойдёт о датчиках, применяемых в силовой и автомобильной электронике. Они состоят из катушки индуктивности, намотанной на проводник, по которому протекает переменный или импульсный ток. Наведённое в катушке напряжение подаётся на вход МК через цепи защиты (Рис. 3.62, а...г). Непосредственный гальванический контакт с исследуемой цепью отсутствует, отсюда и название — «бесконтактные датчики».

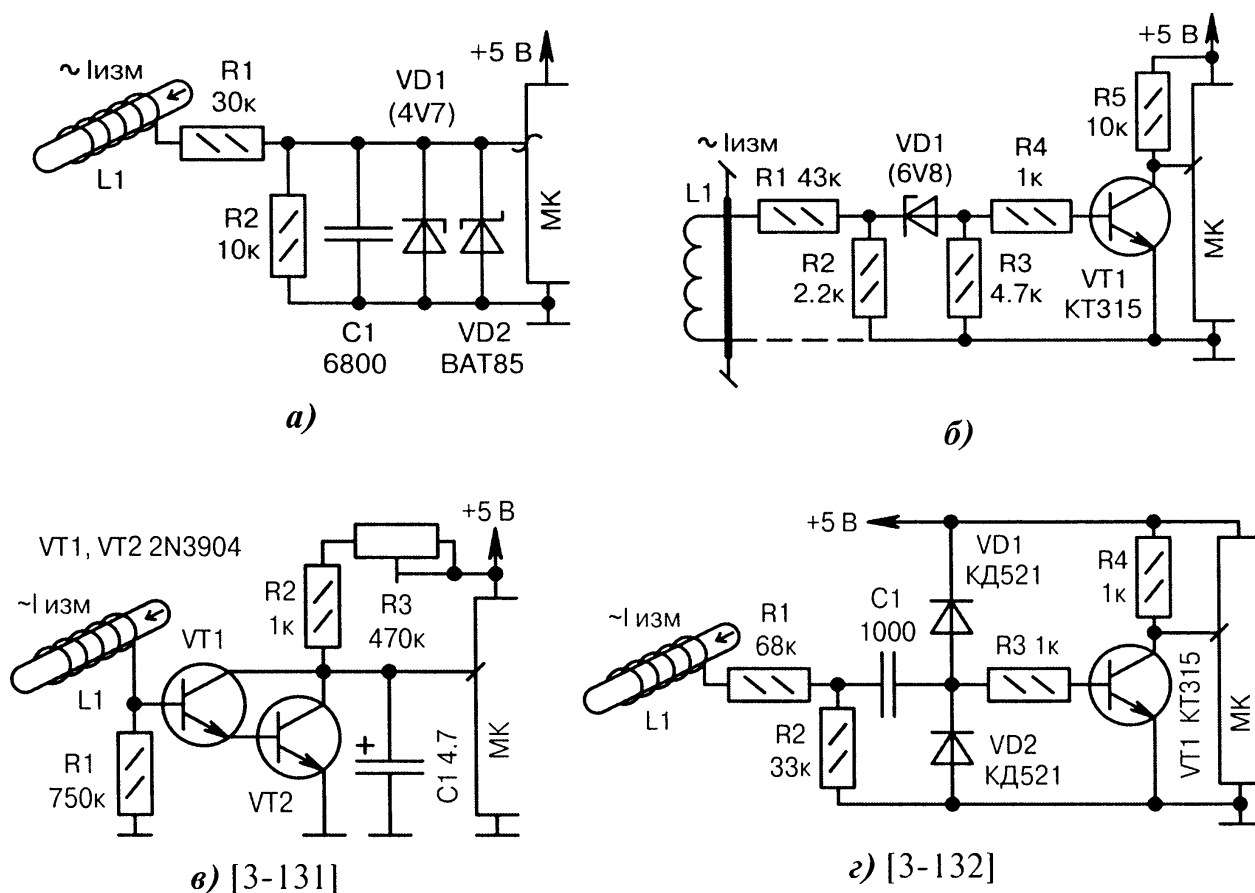


Рис. 3.62. Схемы подключения бесконтактных индуктивных датчиков к МК:

а) катушка  $L1$  наматывается на проводник тока. Число витков ориентировочно 8...30, провод ПЭВ-0.35. Конденсатор  $C1$  снижает высокочастотные помехи. Элементы  $VD1$ ,  $VD2$  защищают вход МК от всплесков напряжения;

б) стабилитрон  $VD1$  создаёт порог напряжения, выше которого открывается ключ на транзисторе  $VT1$ . Таким способом блокируются помехи с амплитудой меньше порога. Нижний отвод катушки  $L1$  может быть присоединён к общему проводу (показано пунктиром);

в) датчик Б. Трипэка, фиксирующий пропадание сетевого напряжения или отключение тока в нагрузке. Катушка  $L1$  состоит из нескольких витков медного провода, намотанного вокруг изоляции сетевого шнура. Усилитель собран на транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$  по схеме Дарлингтона;

г) датчик для автомобильного тахометра. Конструкция состоит из 6...8 витков провода МГШВ-0.35, намотанных на высоковольтный провод катушки зажигания. Диоды  $VD1$ ,  $VD2$  защищают транзистор  $VT1$  от всплесков напряжения.



### 3.7.2. Индуктивные датчики электромагнитного поля

Переменные и пульсирующие электромагнитные поля создаются трансформаторами, дросселями, электродвигателями, реле переменного тока и т.д. Для их обнаружения, индикации и усреднённой оценки применяются различные приборы, в том числе содержащие индуктивные датчики.

Принцип работы датчиков электромагнитного поля заключается в регистрации электродвижущей силы (ЭДС), возникающей в катушке индуктивности при приближении к ней магнита или внесении её в магнитное поле. Физические явления здесь строго подчиняются закону электромагнитной индукции Фарадея.

Области применения индуктивных датчиков электромагнитного поля — искатели скрытой проводки, индикаторы короткозамкнутых витков, измерители магнитных полей вокруг трансформаторов и дисплеев, научные эксперименты (Рис. 3.63, а...м).

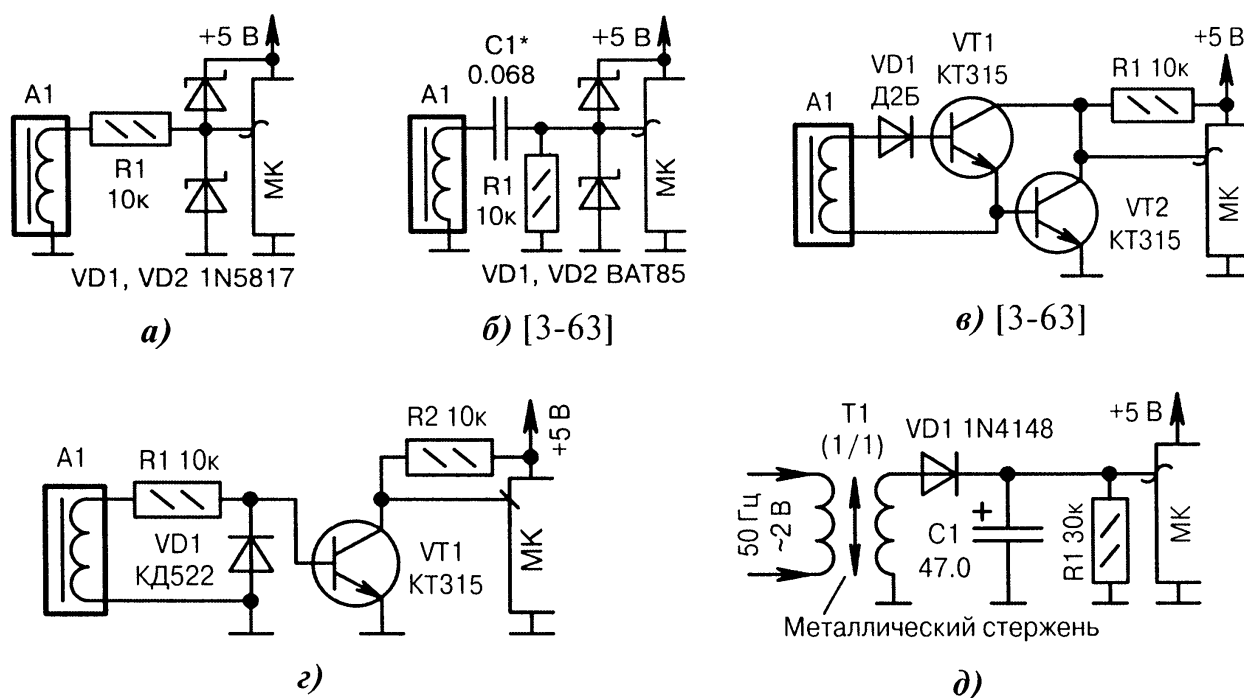


Рис. 3.63. Схемы подключения индуктивных датчиков электромагнитного поля к МК (начало):

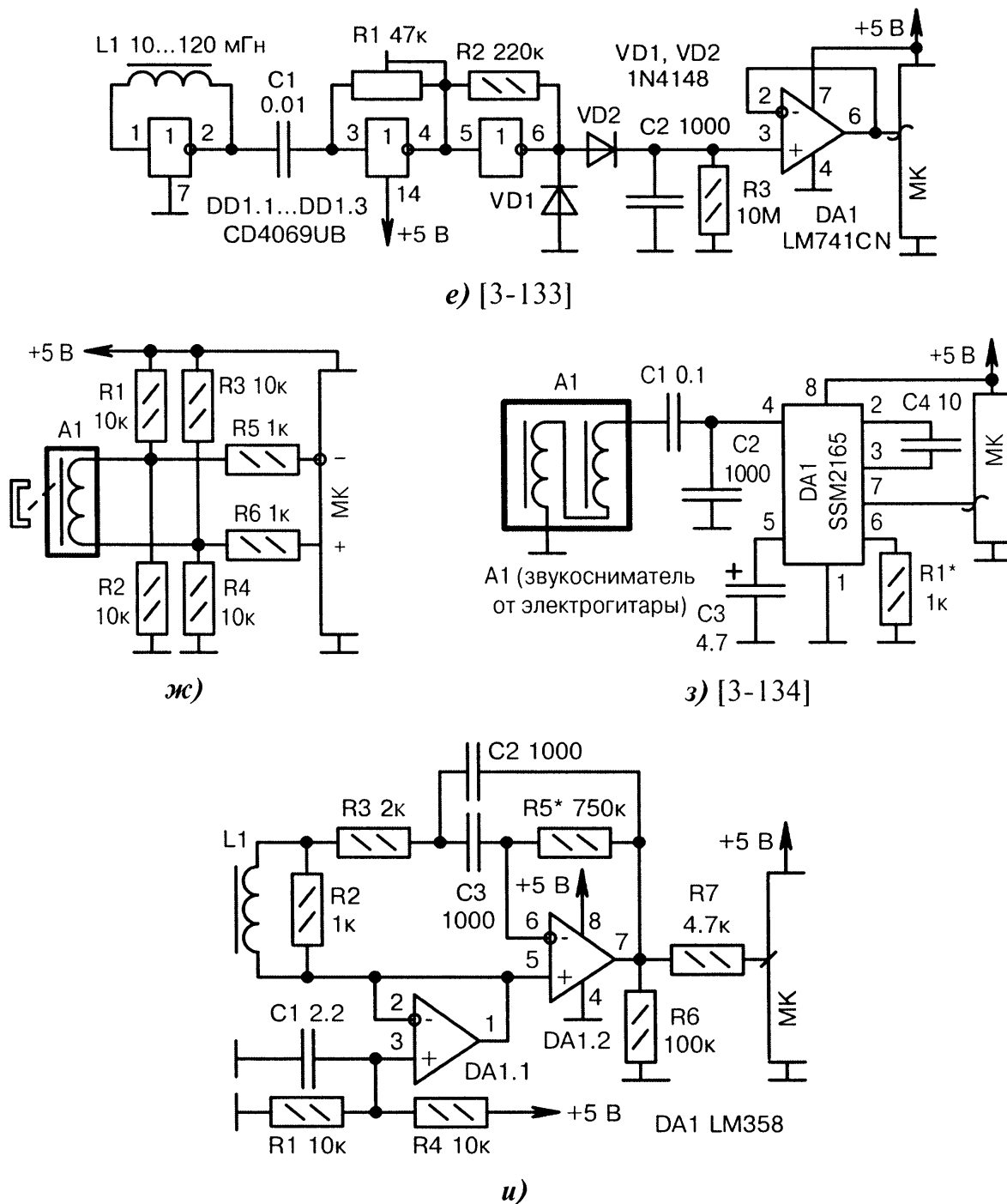
а)  $A1$  — это датчик низкочастотного магнитного поля промышленной сети 50 Гц. Состоит он из катушки головного телефона, но без амбушюры и металлической мембраны;

б)  $A1$  — это датчик магнитного поля ультразвуковой частоты для исследования работы строчных трансформаторов телевизоров (15.625 кГц) или VGA-мониторов (31.25 кГц). Катушка датчика содержит 50 витков провода ПЭВ-0.23...0.31, намотанных на ферритовом стержне 200 x 10 мм. Конденсатор  $C1$  подбирается до получения резонанса с индуктивностью катушки  $A1$ ;

в)  $A1$  — это датчик магнитной составляющей радиочастотного поля, возникающего, например, вблизи радиопередатчиков. Используется ферритовая антенна от обычного ДВ-, СВ- или КВ-радиоприёмника в зависимости от поставленной задачи;

г) в индуктивных датчиках могут возникать всплески напряжения, поэтому требуется защита входа МК, в частности, буферными элементами  $VD1$ ,  $VT1$ ;

д) индуктивный датчик перемещения. По мере введения металлического стержня в катушку трансформатора  $T1$  будет увеличиваться переменный сигнал 50 Гц во вторичной обмотке; Ⓞ



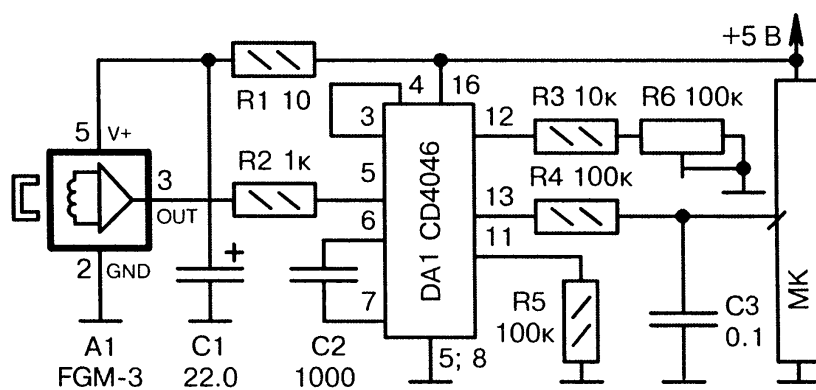
⊖ Рис. 3.63. Схемы подключения индуктивных датчиков электромагнитного поля к МК (продолжение):

е) регистратор электромагнитных излучений от компьютерных дисплеев/кинескопов ( $L_1 = 10$  мГн), флуоресцентных ламп ( $L_1 = 35$  мГн), микроволновых печей ( $L_1 = 120$  мГн). Катушка  $L_1$  содержит 1200 витков провода ПЭВ-0.315, намотанных на металлическом болте 6 x 25 мм;

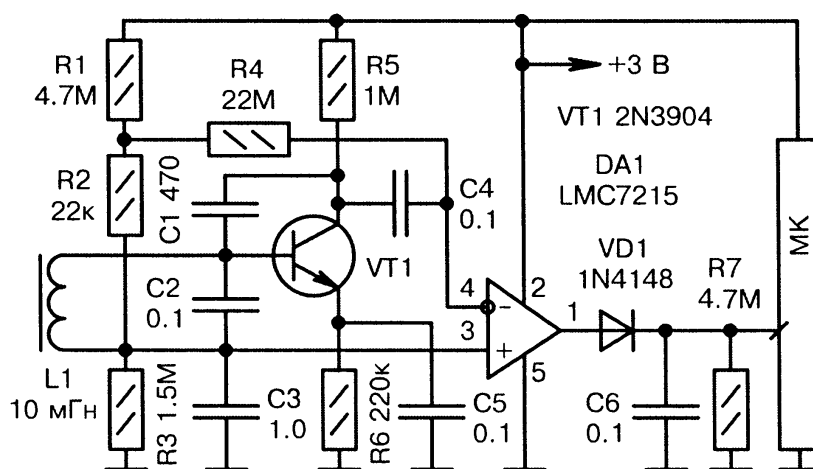
ж) МК подсчитывает число приближений внешнего магнита к катушке индуктивности датчика  $A_1$  (показано пунктиром). Резисторы  $R_1...R_4$  желательно применить высокоточные;

з) подключение двухкатушечного гитарного звукоснимателя  $A_1$  через усилитель-компрессор на специализированной микросхеме  $DA_1$  фирмы Analog Devices. Схема универсальная и может применяться для компадирования сигналов не только в электрогитарах;

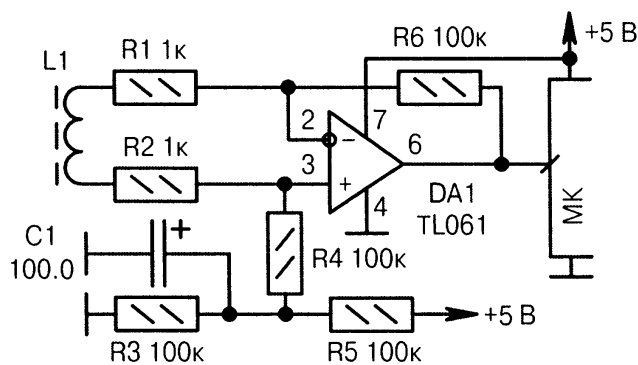
и) сигналы от датчика  $L_1$  проходят через активный ФНЧ  $DA_1.2$  с частотой среза 3...4 кГц. Усиление задаётся резистором  $R_5$ . Элемент  $DA_1.1$  формирует среднее напряжение +2.5 В; ⊖



к) [3-135]



л) [3-136]



м) [3-27]

⊖ **Рис. 3.63.** Схемы подключения индуктивных датчиков электромагнитного поля к МК (окончание):

к) *A1* — это интегральный индуктивный датчик (фирма Speake & Co Llanfapley), изменяющий частоту выходного сигнала OUT под воздействием магнитного поля. Микросхема *DA1* служит преобразователем «частота — напряжение» на основе ФАПЧ (калибруется резистором *R6*);

л) индуктивный датчик *L1* устанавливается вблизи двигателя или возле проводов, подводящих к нему питание. Чувствительности достаточно для регистрации тока 100 мА, при этом пиковое напряжение от датчика составляет 10 мВ. Низкое энергопотребление устройства позволяет использовать для питания МК малогабаритную «трёхвольтовую» литиевую батарею;

м) «сенсорная» катушка *L1* принимает импульсы, возникающие при образовании искры в свечах двигателя автомобиля. Для симметрии схемы выбирают равными *R1* и *R2*, *R4* и *R6*.

## 3.8. Температурные датчики

### 3.8.1. Терморезисторы

Терморезисторы изготавливаются из специальных полупроводниковых сплавов или чистых металлов, у которых сопротивление значительно изменяется от температуры. Терморезисторы также называют термосопротивлениями или сокращённо термисторами (**терм<sup>орез</sup>истор**).

Основным параметром термисторов считается температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Чем он больше, тем легче регистрировать отклонение температуры. Чем он стабильнее во времени, тем достовернее будут показания.

По знаку ТКС различают NTC- и PTC-термисторы.

В термисторах NTC-типа (англ. NTC — Negative Temperature Coefficient) сопротивление уменьшается с повышением температуры окружающей среды. Типичный NTC-термистор при 0°C имеет сопротивление 7...16 кОм, а при +100°C — 152...339 Ом (Табл. 3.11).

Таблица 3.11. Параметры NTC-термисторов (NTC-Thermistor)

NTC-термисторы	Материал	Диапазон сопротивлений [кОм]	Допуск [%]	Мощность [Вт]	ТКС [%/°C]	Диапазон температур [°C]
KMT-1	Co, Mn	22...1000	±20	1	-4.2...-8.4	-60...+155
MMT-1	Cu, Mn	1...220	±20	0.6	-2.4...-5.6	-60...+125
CT3-1	Cu, Co, Mn	0.68...2.2	±10; ±20	0.6	-3.35...-3.95	-60...+125
«NTC» (фирма EPCOS)	Cu, Co, Mn, Ni, Fe	0.001...470	±(1...20)	0.45...2	-2...-6	-40...+200

В термисторах PTC-типа или, по-другому, позисторах (англ. PTC — Positive Temperature Coefficient) сопротивление увеличивается с повышением температуры окружающей среды (Табл. 3.12).

Таблица 3.12. Параметры позисторов (Posistor)

Позисторы	Диапазон сопротивлений [Ом]	Допуск [%]	Мощность [Вт]	ТКС [%/°C]	Диапазон температур [°C]
CT5-1	20...150	±20	0.7	+20	-20...+200
«PTC» (импорт)	1...80	±20	1.6...6.7	+10	-55...+170

ТКС в процентном отношении у позисторов выше, чем у NTC-термисторов. С другой стороны, позисторы не бывают высокоомными. Отсюда вытекает раздел сфер их применения. Термисторы NTC-типа чаще всего используются для измерения температуры, а позисторы — для систем тепловой защиты и ограничения пускового тока в силовых цепях.

Главные достоинства термисторов перед другими датчиками температуры — это низкая стоимость и высокая чувствительность, позволяющая регистрировать быстрые колебания температуры. Недостатки: относительно узкий диапазон рабочих температур, «хрупкость» конструкции и нелинейность характеристики. Если температуру измеряет МК, то нелинейность легко учитывается программным путём.

На Рис. 3.64, а...т приведены схемы подключения NTC-термисторов к МК.

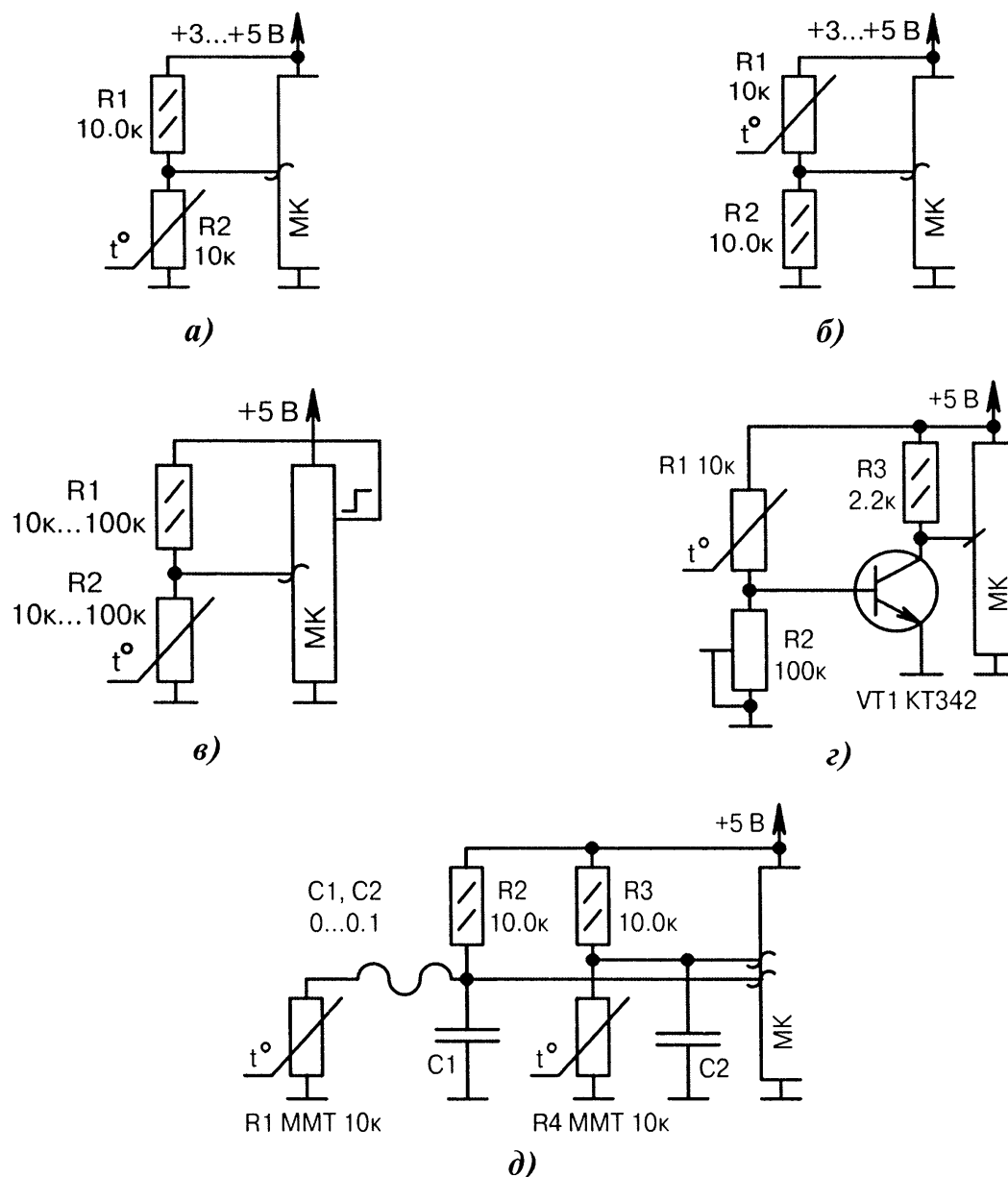


Рис. 3.64. Схемы подключения NTC-термисторов к МК (начало):

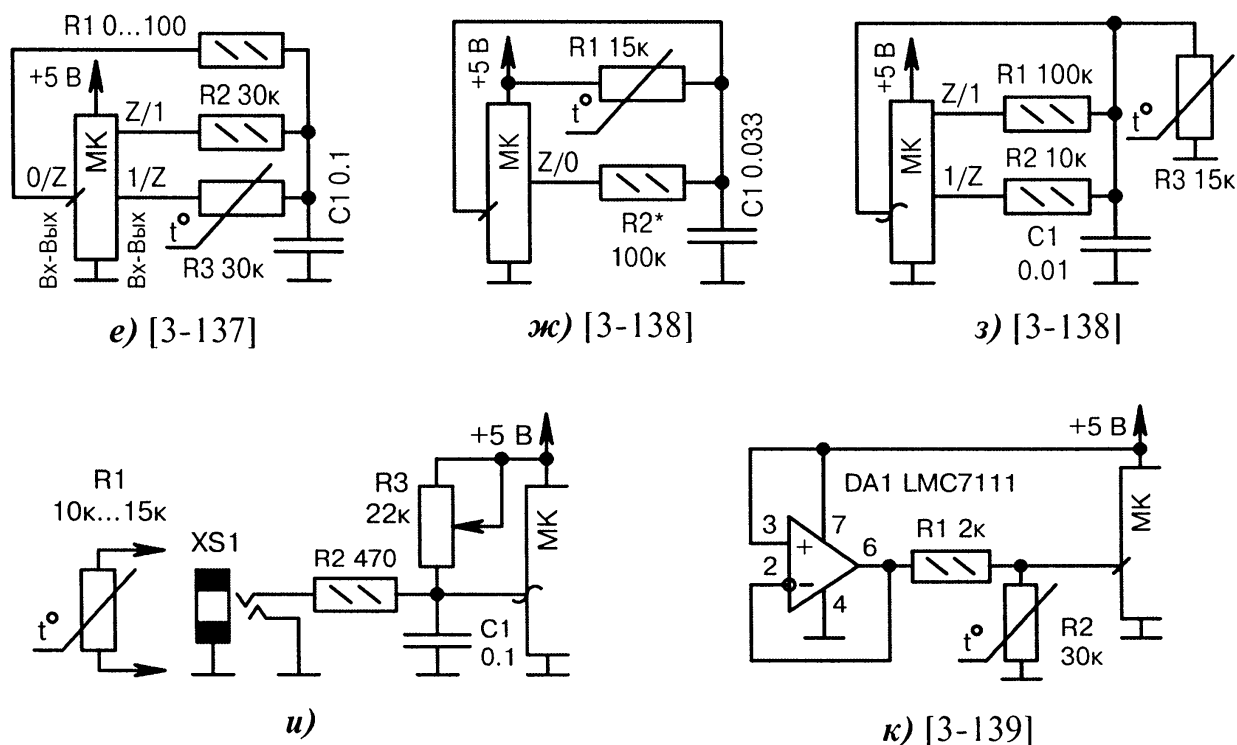
а) базовая схема измерения температуры через АЦП МК. Зависимость сопротивления термистора  $R2$  от температуры в общем случае носит нелинейный характер, поэтому используется табличный метод с заранее подобранными коэффициентами. Таблица преобразования напряжения АЦП в температуру предварительно заносится в ПЗУ МК;

б) если термистор  $R1$  подключается к цепи питания, а не к общему проводу, то изменяется наклон зависимости напряжения АЦП от температуры в противоположную сторону;

в) измерение температуры проводится только при ВЫСОКОМ уровне на выходе МК, что экономит ток через делитель  $R1, R2$  в ждущем режиме. Резистор  $R1$  должен быть точным;

г) усилитель постоянного тока на транзисторе  $VT1$  повышает чувствительность, но сужает температурный диапазон. Ток базы  $VT1$  может выйти за норму при низком сопротивлении  $R1$ . Шкалу резистора  $R2$  (характеристика поворота «В») размечают в градусах температуры. МК следит за уровнем на входе и в момент «перескока» включает внешний индикатор;

д) МК измеряет разность напряжений на двух делителях:  $R1, R2$  и  $R3, R4$ . Используются два канала АЦП в дифференциальном режиме. Термисторы  $R1$  и  $R4$  физически устанавливают в разных местах с разной температурой окружающей среды; ➡



⊖ Рис. 3.64. Схемы подключения NTC-термисторов к МК (продолжение):

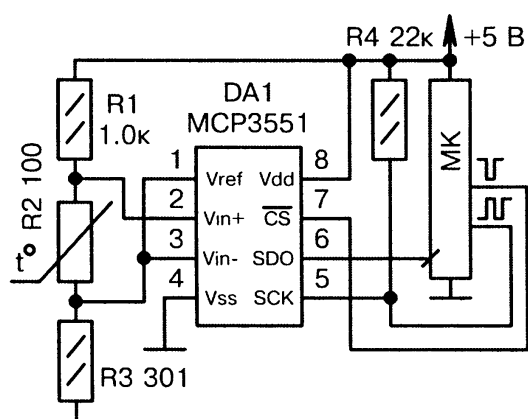
е) сначала конденсатор  $C1$  разряжается через резистор  $R1$  НИЗКИМ уровнем с выхода «0/Z» МК. Затем линии «0/Z» и «1/Z» настраиваются в режим входа, а линия «Z/1» в режим выхода с ВЫСОКИМ уровнем. МК измеряет по таймеру время заряда конденсатора  $C1$  через резистор  $R2$  до определённого порога (входом служит линия «0/Z»). Конденсатор вновь разряжается через линию МК, после чего аналогичным образом измеряется время заряда конденсатора через термистор  $R3$ . Разность двух отсчётов времени пропорциональна разности температур нагрева резисторов  $R2$  и  $R3$ , которые должны находиться физически в разных местах. Резистор  $R1$  можно заменить перемычкой при малой ёмкости конденсатора  $C1$ ;

ж) метод уравнивания зарядов. В МК на входе может использоваться АЦП или обычная линия порта с фиксированным порогом срабатывания. Если напряжение на конденсаторе  $C1$  больше порогового, то на линии «Z/0» устанавливается НИЗКИЙ уровень и происходит разряд ёмкости через резистор  $R2$ . Если напряжение меньше порогового, то линия «Z/0» переводится в режим входа без «pull-up» резистора. Конденсатор  $C1$  заряжается через термистор  $R1$ . Среднее число циклов «заряд-разряд» за единицу времени пропорционально температуре. Достоинство метода — компенсация наводок с частотой питающей сети и её гармоник;

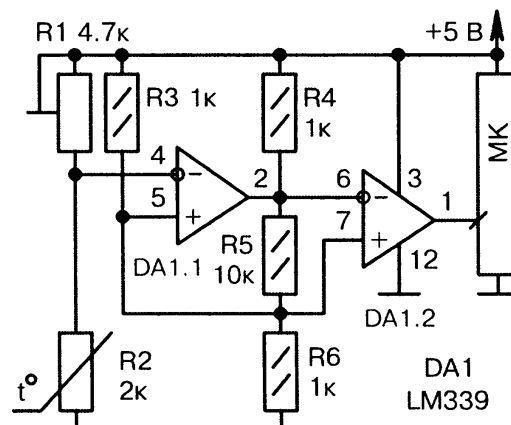
з) двухдиапазонное измерение температуры через АЦП МК. При низких температурах используется делитель  $R1, R3$ , при высоких —  $R2, R3$ . Число диапазонов можно увеличить, задействуя другие выходные линии портов МК. Достоинство — компенсация естественной нелинейности термистора  $R3$ , повышенная точность измерений;

и) терморезистор  $R1$  автоматически включается в разрыв между резистором  $R2$  и общим проводом при соединении с розеткой  $XS1$ . Резистором  $R3$  выставляется рабочее напряжение на входе МК, близкое к половине питания. Кроме того, этим резистором можно симитировать процесс быстрого изменения температуры при тестовых проверках;

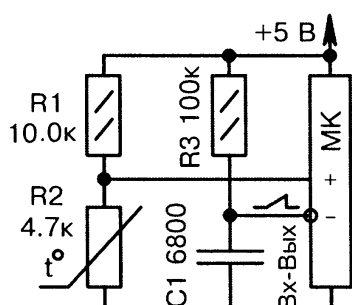
к) ОУ  $DA1$  включается по схеме повторителя напряжения. NTC-термистор  $R2$  (фирма VCscomponents, номер по каталогу 2322-633-83033) изменяет своё сопротивление от 941 кОм до 191 Ом при температуре от  $-40$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ . Промежуточные значения указаны в даташите; ⊖



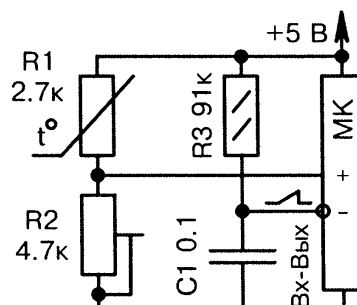
л) [3-140]



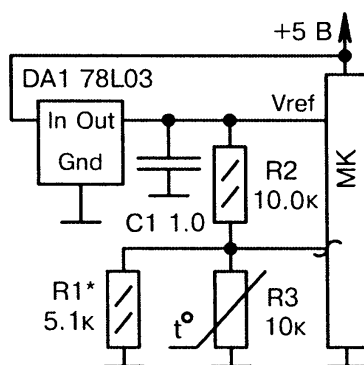
м) [3-141]



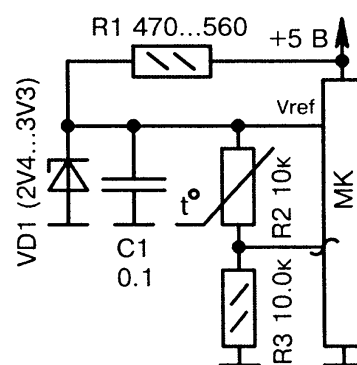
н) [3-23]



о)



п)



р)

● **Рис. 3.64.** Схемы подключения NTC-термисторов к МК (продолжение):

л) точное измерение температуры через 22-битный АЦП DA1. Платиновый термистор R2 W2102 (фирма Omega Engineering) обеспечивает высокую стабильность и линейность;

м) оригинальное включение двух половинок микросхемы DA1. Резистором R1 устанавливается температурный порог срабатывания, вплоть до полного отключения термистора R2;

н) измерение температуры при помощи термистора R2 и аналогового компаратора МК;

о) аналогично Рис. 3.64, н, но с подключением термистора R1 к цепи питания (а не к общему проводу) и с возможностью калибровки температуры подстроечным резистором R2;

п) повышение точности измерения температуры с помощью интегрального стабилизатора напряжения DA1. Внутренний АЦП МК переводится в режим измерения от внешнего ИОН. Резистор R1 линеаризует температурную характеристику термистора R3 в узком диапазоне;

р) аналогично Рис.3.64, п, но со стабилитроном VD1 и без линеаризации характеристики; ●

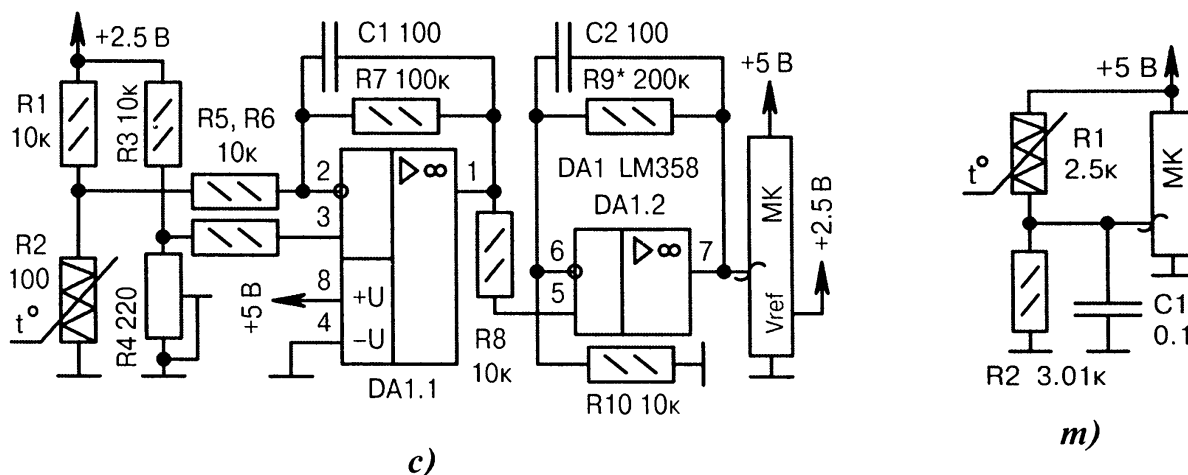


Рис. 3.64. Схемы подключения NTC-термисторов к МК (окончание):

с) резистором  $R4$  производится балансировка моста, содержащего термистор  $R2$ . Резисторы  $R1, R3, R5...R10$  рекомендуется применить высокоточные, например,  $\pm 1\%$ . Термистор  $R2$  — проволочный ТСМ-100М (медный,  $-50...+200^\circ\text{C}$ ), ТСМ-100П (платиновый,  $-200...+750^\circ\text{C}$ ) или самодельный, состоящий из 11 м медного провода ПЭВ-0.05. При подборе замены следует знать стандартный ряд номиналов проволочных измерительных термисторов: 100; 500; 1000 Ом;

т) термистор  $R1$  входит в состав делителя, напряжение на котором измеряется через АЦП МК. Конденсатор  $C1$  снижает помехи при значительном удалении  $R1$  от МК и при большом уровне наводок. Термистор  $R1$  самодельный проволочный с ТКС примерно  $10\text{ Ом}/^\circ\text{C}$ . Он содержит 1300 витков медного провода ПЭЛ-0.05, намотанных на каркасе диаметром 7 мм. Достоинство проволочного датчика — стабильный и предсказуемый ТКС, широкий диапазон измеряемых температур  $-100...+500^\circ\text{C}$ . Если требуется расширить диапазон до  $-200...+850^\circ\text{C}$ , то следует применить промышленный платиновый термистор.

### 3.8.2. Термопары

Термопара или термоэлемент (англ. «thermocouple») — это промышленный температурный датчик, отличающийся высокой точностью измерения, малой инерционностью, предельной температурой до  $+2300^\circ\text{C}$ . Конструктивно термопара состоит из двух проводников, изготовленных из разнородных материалов, концы которых соединяются сваркой. На выводах термопары развивается термоЭДС, линейно изменяющаяся в широком интервале температур.

Выходной сигнал с термопары пропорционален разности температур между «холодным» и «горячим» спаями. Сигнал очень стабильный, но малый по амплитуде (единицы/десятки милливольт при нагреве на  $100^\circ\text{C}$ ), поэтому надо ставить малошумящие усилители с тарированным коэффициентом передачи и принимать меры по экранированию и защите от помех. Настоятельно рекомендуется периодически проводить калибровку усиления в тракте, а также аппаратно компенсировать нагрев «холодного» спая.

Термопары выполняют на основе таких материалов, как: железо-платина, медь-никель, константан-железо, хромель-алюмель, хромель-никель и т.д. Несмотря на высокую разрешающую способность и точность измерений, стоимость термопар относительно невелика.

На Рис. 3.65, а...г показаны схемы подключения термопар к МК.



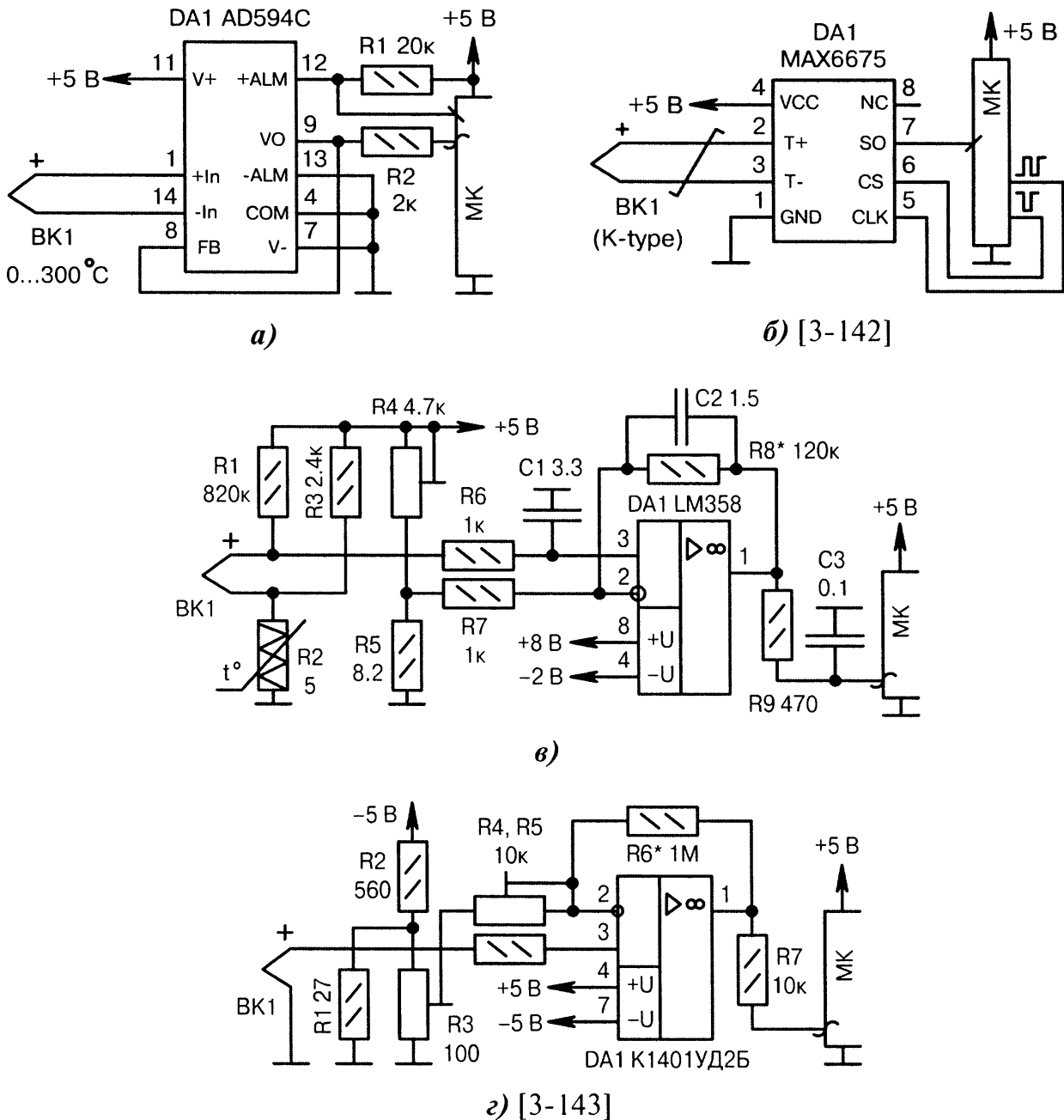


Рис. 3.65. Схемы подключения термопар к МК:

а) термопара *BK1* «алюмель-хромель» подключается к МК через специализированную микросхему *DA1* фирмы Analog Devices. Её выходное напряжение (вывод *VO*) изменяется с коэффициентом  $10 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ . Значение  $0 \text{ В}$  соответствует нулевой температуре, точность  $1\%$ . На аварийном выводе *+ALM DA1* при обрыве (отсоединении) термопары появляется НИЗКИЙ уровень;

б) термопара *BK1* соединяется со специализированным усилителем *DA1* витыми проводами. Передача информации о температуре осуществляется по цифровому трёхпроводному интерфейсу с сигналами *SO, CS, CLK*;

в) низкоомный терморезистор *R2* сделан из медного провода для компенсации термоЭДС хромель-никелевой термопары *BK1* (диапазон измерения  $0...+1000^\circ\text{C}$ ). Интегрирующие цепочки *R6* и *C1*; *R8* и *C2*, *R9* и *C3* служат для уменьшения помех и шумовых флуктуаций сигнала;

г) термопара *BK1* может быть хромель-копелевая ( $0...+500^\circ\text{C}$ ) или хромель-алюмелевая ( $0...+1200^\circ\text{C}$ ). Погрешность измерения не более  $1.5\%$ . В схему можно ввести термокомпенсацию «холодного» спая, т.е. подключить отрицательный вывод термопары по аналогии с Рис. 3.65, в.

### 3.8.3. Термодатчики на диодах

Измерение температуры с помощью полупроводниковых диодов представляет особый интерес для массового применения, т.к. они доступнее и дешевле других датчиков и имеют хорошую повторяемость параметров.

Для измерений используется прямая ветвь ВАХ диодов, поскольку обратная ветвь менее стабильна. Нелинейность показаний легко учитывается двумя программными методами. Во-первых, можно плавно аппроксимировать температурную характеристику эмпирической формулой, во-вторых, можно использовать дискретную таблицу поправок с сохранением коэффициентов в ПЗУ МК.

В термодатчиках выгодно применять германиевые (а не кремниевые) диоды, поскольку у них сильнее проявляется зависимость параметров от температуры. Однако устаревшие германиевые диоды типа Д2Б, Д7Ж, выпущенные 40...50 лет назад, уже не обладают заявленными техническими параметрами. С точки зрения надёжности они давно выработали ресурс хранения и эксплуатации, что в любой момент грозит выходом элемента из строя.

Считается, что термодатчики на диодах обеспечивают приемлемую линейность измерения температуры в диапазоне  $0...+100^{\circ}\text{C}$  (по некоторым оценкам  $-60...+150^{\circ}\text{C}$ ). Для достоверности достаточно откалиброваться в двух крайних точках диапазона по образцовому термометру ТЛ-4 ГОСТ 28498-90. Если таковой отсутствует, то используют ... обычную очищенную воду. Известно, что температуру  $0^{\circ}\text{C}$  можно получить в момент образования льда (смесь воды с льдинками в морозильной камере холодильника). Температура  $+100^{\circ}\text{C}$  соответствует кипящей воде в кухонном чайнике. Контрольная проверка — температура тела человека.

Электрический режим работы диодов должен быть стабильным во времени и максимально не нагруженным по току (Рис. 3.66, а...д), в связи с чем уменьшаются ошибки измерений, связанные с саморазогревом кристалла.

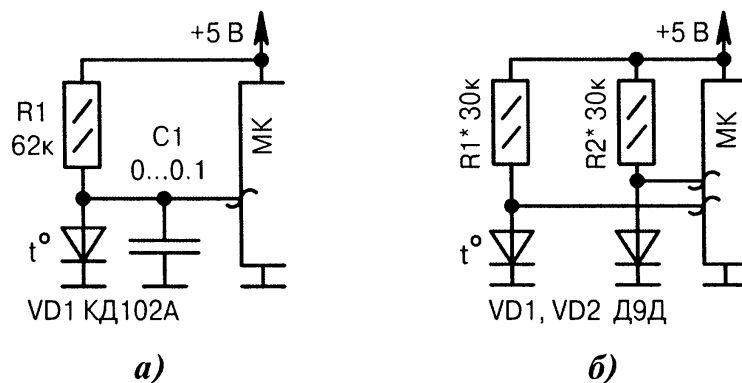


Рис. 3.66. Схемы подключения диодных термодатчиков к МК (начало):

а) высокоомный резистор  $R1$  служит своеобразным генератором стабильного тока для термодатчика  $VD1$ . Напряжение на входе МК пропорционально температуре окружающей среды в диапазоне  $-50...+100^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент преобразования составляет  $2...2.5 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ , погрешность меньше 1%. Конденсатор  $C1$  снижает уровень помех при большом удалении диода  $VD1$  от МК;

б) к двум каналам АЦП МК подключаются одинаковые цепи, но измеряемые напряжения будут разными, поскольку  $VD1$  служит термодатчиком, а  $VD2$  — обычным диодом. Используется дифференциальный режим работы АЦП. Фиксируются не абсолютные температуры, а их разность в двух удалённых местах, например, в помещении ( $VD2$ ) и на улице ( $VD1$ ). Диоды могут быть не только германиевыми, но и кремниевыми. Их можно зашунтировать конденсаторами  $0.1 \text{ мкФ}$ ; ☉

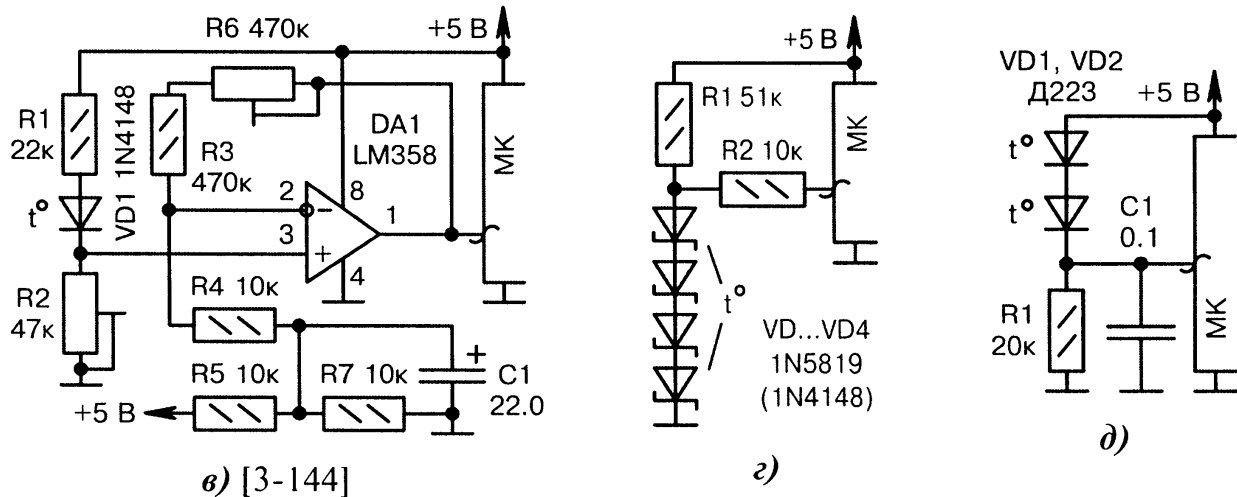


Рис. 3.66. Схемы подключения диодных термодатчиков к МК (окончание):

в) усилитель *DA1* расширяет динамический диапазон сигнала, поступающего от термодатчика на диоде *VD1*. Резистором *R2* калибруется начальное значение, резистором *R6* — диапазон температур. Чтобы повысить линейность по краям, ОУ *DA1* следует применить «rail-to-rail»;

г) «нижнее» включение диодов Шоттки *VD1...VD4*, выступающих в качестве термодатчиков. Их последовательное соединение повышает чувствительность в четыре раза. Температура определяется табличным методом по замерам напряжений АЦП МК. Резистор *R1* имеет высокое сопротивление, что снижает протекающий через термодатчики ток и устраняет их саморазогрев. Резистор *R2* обеспечивает оптимальное входное сопротивление для АЦП МК;

д) «верхнее» включение кремниевых диодов *VD1, VD2*, выступающих в качестве термодатчиков. Для нормальной работы АЦП МК требуется, чтобы на вход  $V_{REF}$  подавалось напряжение, близкое к питанию +5 В. Для сравнения, в схемах с «нижним» включением диодов можно подавать на вход  $V_{REF}$  более низкое (а значит и более стабильное) напряжение +1.2...+2.5 В от внешнего ИОН. Возможная замена диодов *VD1, VD2* — 1N4148.

### 3.8.4. Термодатчики на транзисторах

Физическая природа полупроводниковых материалов такова, что их параметры достаточно сильно зависят от температуры. В обычных усилительных схемах с этим явлением борются, а в измерителях температуры, наоборот, поощряют. Например, у кремниевых транзисторов при постоянном токе коллектора  $I_K$  с повышением температуры напряжение «база — эмиттер»  $U_{БЭ}$  уменьшается с теоретическим коэффициентом 2.1 мВ/°С. Фактическое же изменение пропорционально отношению  $1000[\text{мВ}]/T_x[\text{K}]$ , где  $T_x$  — температура среды по шкале Кельвина.

*Пример расчёта.* Пусть напряжение между базой и эмиттером стандартного кремниевого транзистора при температуре  $T_0 = 20^\circ\text{C}$  составляет  $U_{БЭ(20)} = 700$  мВ. С повышением температуры его корпуса до  $T_1 = 35^\circ\text{C}$  это напряжение уменьшается на 49 мВ:  $U_{БЭ(35)}[\text{мВ}] = U_{БЭ(20)}[\text{мВ}] - (T_1[^\circ\text{C}] - T_0[^\circ\text{C}]) \cdot (1000 / (273 + T_1[^\circ\text{C}])) = 700 - (35 - 20) \cdot (1000 / (273 + 35)) = 651$  мВ.

Реальное напряжение может несколько отличаться от расчётного, что зависит от положения рабочей точки транзистора и его типа. В любом случае рекомендуется снижать и стабилизировать ток, протекающий через *p-n*-переход, чтобы устранить эффект саморазогрева кристалла.

На Рис. 3.67, а...г показаны схемы подключения транзисторных термодатчиков к МК.

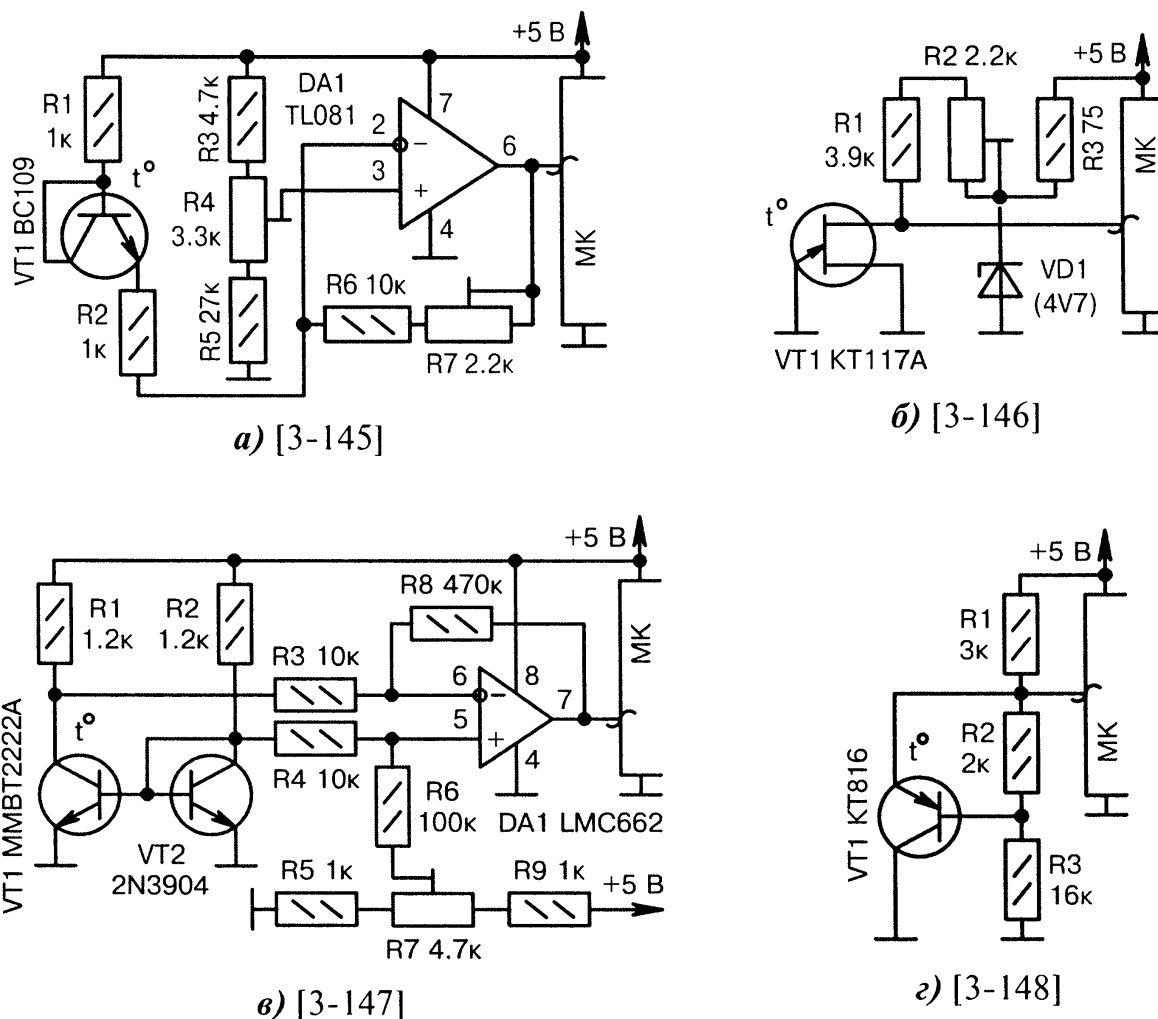


Рис. 3.67. Схемы подключения транзисторных термодатчиков к МК:

а) измерение температуры в диапазоне  $-30\dots+150^{\circ}\text{C}$ . Термодатчиком выступает транзистор  $VT1$ , у которого напряжение  $U_{\text{БЭ}}$  «дрейфует» с коэффициентом около  $2\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ . Резисторами  $R4$  и  $R7$  выставляется диапазон температур и калибровочное напряжение  $+3\text{ В}$  на входе МК при комнатной температуре  $+25^{\circ}\text{C}$ . Транзистор  $VT1$  имеет металлический корпус, торец которого можно запрессовать в термостойкую пластиковую трубку и использовать всю конструкцию как выносной шуп или зонд;

б) термодатчик на однопереходном транзисторе  $VT1$  обеспечивает линейность измерения температуры в диапазоне  $0\dots+100^{\circ}\text{C}$ ;

в) транзистор  $VT1$  специально используется малогабаритный поверхностно монтируемый (SMD). Это необходимо для уменьшения тепловой инерционности датчика. К примеру, SMD-транзистор входит в стабильный тепловой режим через одну минуту после скачка температуры на  $10^{\circ}\text{C}$  (обычному «большому» транзистору требуется в несколько раз больше времени). Резистор  $R7$  балансирует дифференциальную схему, состоящую из транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$ ;

г) транзистор  $VT1$  имеет в своём корпусе отверстие, через которое может закрепляться винтом на поверхности измеряемого объекта. Коллектор транзистора электрически соединяется со своим корпусом, что надо учитывать при монтаже. Температурный коэффициент преобразования прямо пропорционален отношению резисторов  $R3/R2$  (в данной схеме около  $20\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.8.5. Интегральные аналоговые термодатчики

Интегральные аналоговые термодатчики — это специализированные микросхемы с нормированной температурной характеристикой. Внутри микросхемы обычно находятся несколько «термотранзисторов», дополненные интегральным усилителем напряжения.

Базовой считается так называемая «ячейка Брока» (Рис. 3.68). При определённом отношении сопротивлений резисторов  $R2/R4$  и достаточно большом числе параллельно включённых «термотранзисторов»  $VT1...VTn$ , выходное напряжение ОУ  $DA1$  линейно зависит от температуры и имеет высокий и стабильный коэффициент преобразования.

Лидером по популярности среди интегральных аналоговых термодатчиков являются дешёвые микросхемы LM135, LM235, LM335 фирмы National Semiconductor и их аналоги других изготовителей. Типовые параметры: чувствительность  $+10 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ , выходной импеданс  $0.5...0.6 \text{ Ом}$ , абсолютная погрешность  $\pm(0.5...3)^\circ\text{C}$  при одноточечной калибровке, диапазон температур от  $0...+100^\circ\text{C}$  до  $-55...+150^\circ\text{C}$ .

На Рис. 3.69, а...н показаны схемы подключения интегральных аналоговых термодатчиков к МК.

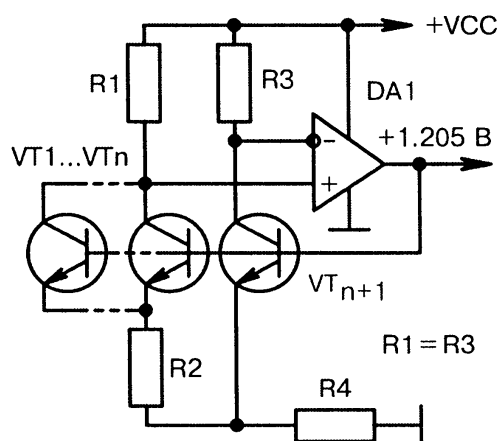


Рис. 3.68. Электрическая схема «ячейки Брока» (Brokaw Cell).

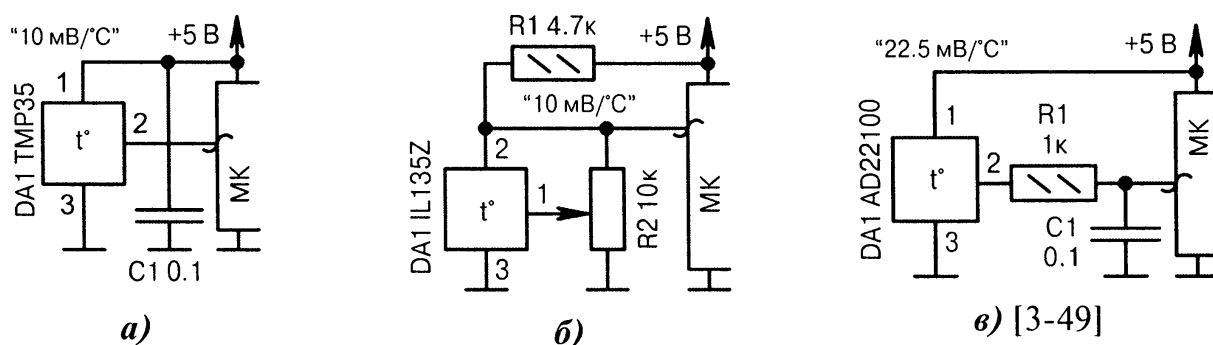


Рис. 3.69. Схемы подключения интегральных аналоговых термодатчиков к МК (начало):

а) термодатчик  $DA1$  (фирма Analog Devices) формирует на своём выходе напряжение, которое МК измеряет через АЦП. Конденсатор  $C1$  необходимо ставить вблизи от микросхемы  $DA1$ , желательно прямо на выводах питания. Замена  $DA1$  — TMP37, коэффициент  $20 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ ;

б) термодатчик  $DA1$  работает в диапазоне температур  $-55...+150^\circ\text{C}$ . Его выходное напряжение измеряется через АЦП МК. Коэффициент преобразования  $10 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ . Резистором  $R2$  выставлено образцовое напряжение  $+2.98 \text{ В}$  при температуре  $+25^\circ\text{C}$  (одноточечная калибровка);

в) диапазон рабочих температур ( $0...+100^\circ\text{C}$ ;  $-40...+85^\circ\text{C}$ ;  $-50...+150^\circ\text{C}$ ) зависит от модификации датчика  $DA1$  фирмы Analog Devices. Формула для расчёта выходного напряжения, подаваемого на АЦП МК при питании  $+5 \text{ В}$ :  $U_{\text{вых}}[\text{мВ}] = 1375 + 22.5 \cdot T_{\text{X}}[^\circ\text{C}]$ . Встречающиеся замены элементов:  $R_1 = 47 \text{ кОм}$ ,  $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ ,  $DA1$  — TMP36FT9, при этом коэффициент уменьшается до  $10 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ ; Ⓞ

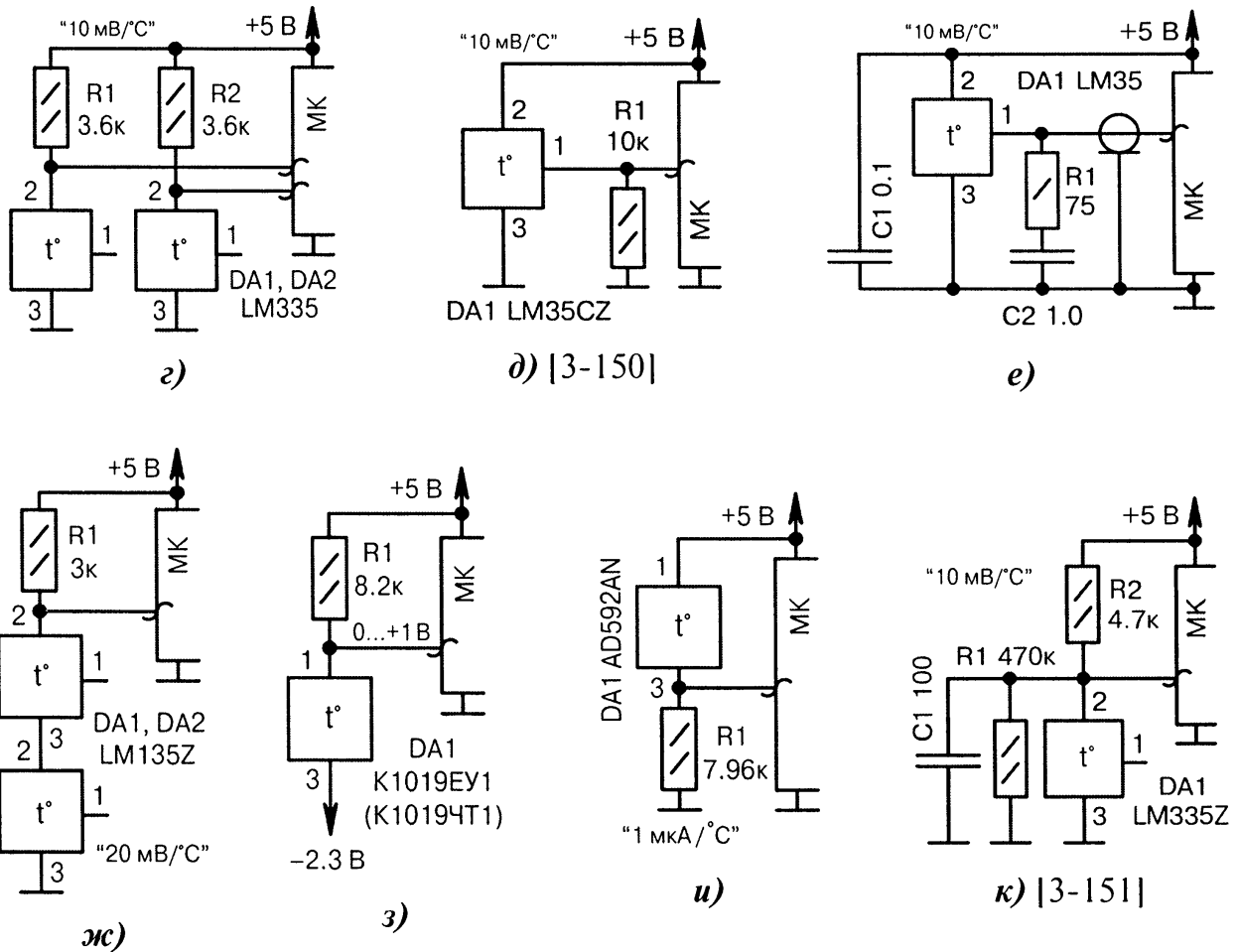


Рис. 3.69. Схемы подключения интегральных аналоговых термодатчиков к МК (продолжение):

г) диапазон рабочих температур  $-40...+100^{\circ}\text{C}$ . Используются два канала АЦП в режиме дифференциальных измерений. Термодатчики  $DA1$ ,  $DA2$  устанавливаются в местах с разной температурой окружающей среды, например, внутри и снаружи объекта;

д) выходное напряжение термодатчика  $DA1$  рассчитывается формуле  $U_{\text{вых}}[\text{мВ}] = 10 \cdot T_{\text{X}}[^{\circ}\text{C}]$ . Это справедливо в диапазоне температур  $T_{\text{X}}$  от  $+2$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ . Микросхема  $DA1$  выпускается в разных корпусах, например, в поверхностно монтируемом SMD (LM35DM), с металлическим фланцем (LM35DP), в «транзисторном» корпусе TO-46 (LM35H). Они отличаются между собой временем стабилизации параметров при резкой смене температуры. Общее правило, чем меньше габариты датчика, тем быстрее он прогревается/охлаждается;

е) подключение термодатчика  $DA1$  к МК через коаксиальный кабель с большой погонной ёмкостью. Цепочка  $R1$ ,  $C2$  согласует волновое сопротивление (улучшается форма сигнала);

ж) последовательное соединение двух аналоговых интегральных термодатчиков  $DA1$ ,  $DA2$  повышает чувствительность в два раза (удваивается температурный коэффициент);

з) использование отрицательного источника питания  $-2.3$  В смещает напряжение на входе АЦП МК и позволяет измерять отрицательные температуры в диапазоне  $-40...+60^{\circ}\text{C}$ ;

и) термодатчик  $DA1$  (фирма Analog Devices) имеет нормированный коэффициент изменения тока нагрузки в зависимости от температуры;

к) резистор  $R2$  создаёт нагрузку по току для термодатчика  $DA1$ . Элементы  $R1$ ,  $C1$  образуют фильтр, который уменьшает флуктуации напряжения на уровне единицы младшего бита (разряда) АЦП. Диапазон рабочих температур  $-40...+100^{\circ}\text{C}$ ; ◐

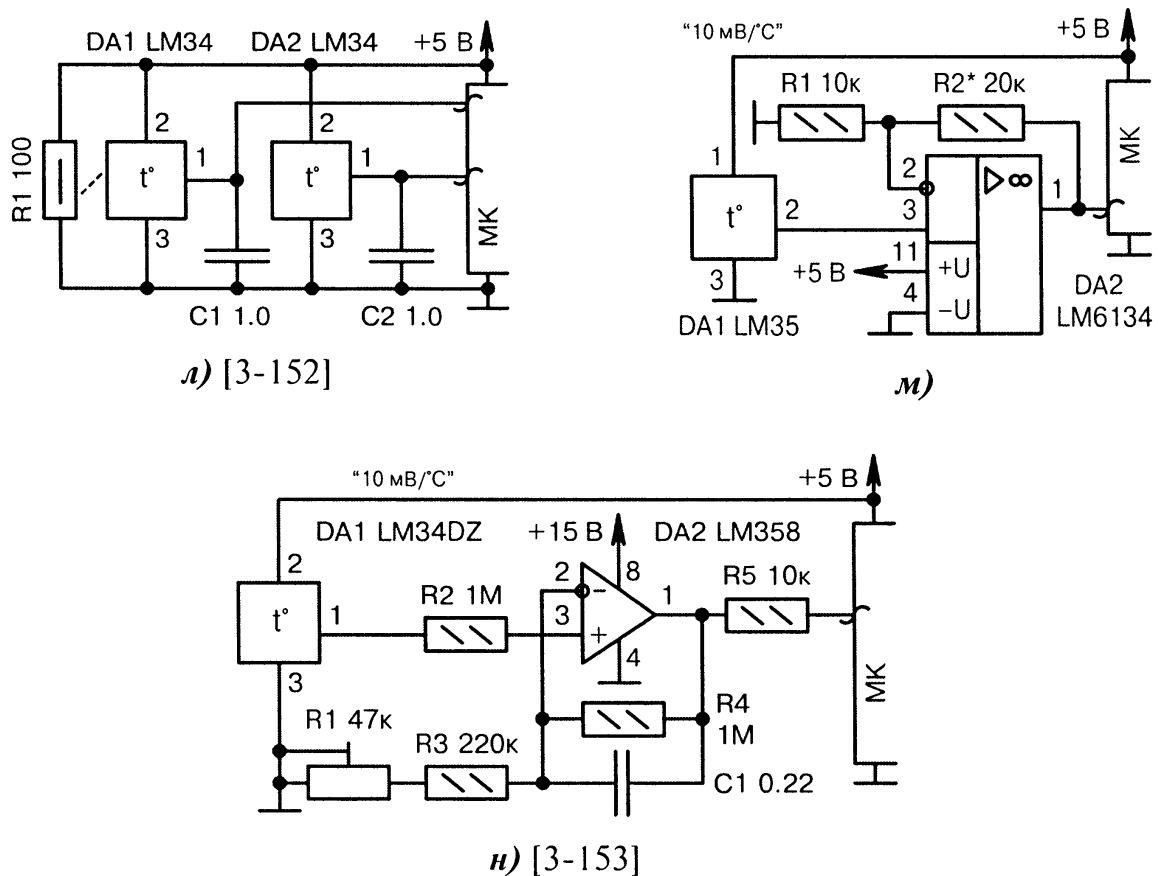


Рис. 3.69. Схемы подключения интегральных аналоговых термодатчиков к МК (окончание):

л) термодатчик *DA2* является образцовым и измеряет температуру окружающей среды. Термодатчик *DA1* подогревается расположенным возле него резистором *R1* и обдувается потоком воздуха. Чем сильнее скорость воздуха, тем ниже температура корпуса датчика *DA1*. Разность температур двух датчиков пересчитывается в скорость движения воздуха по обратно пропорциональному закону. Термодатчики могут быть другого типа, но обязательно одинаковыми;

м) ОУ на микросхеме *DA2* («rail-to-rail» по входу и выходу) повышает чувствительность термодатчика *DA1*. Резистором *R2* расширяется диапазон измерения;

н) интегрирующий конденсатор *C1* устраняет флуктуации сигнала от термодатчика *DA1*. Коэффициент усиления ОУ *DA2* равен 5 и регулируется резистором *R1*. Резистор *R5* защищает вход АЦП МК от высокого напряжения +15 В, которое может появиться на выходе *DA2*.

### 3.8.6. Интегральные цифровые термодатчики

Интегральные цифровые термодатчики подобны своим аналоговым собратьям, но только общаются они с внешним миром при помощи логических сигналов, а не постоянного напряжения. Преимущество цифрового способа обработки данных заключается в отсутствии помех, которые могут наводиться извне на аналоговую линию связи. Кроме того, в цифровом датчике можно оперативно перестраивать режимы, разрядность, точность. В некоторых моделях имеются функции предварительной фильтрации, обработки и запоминания результатов.

Для связи с МК обычно используют одно-, двух- или трёхпроводные цифровые интерфейсы. Информация о температуре передаётся в виде последовательности байтов, считываемых из внутренних регистров микросхемы.

В конце 1980-х годов законодателем моды в изготовлении интегральных цифровых термодатчиков стала фирма Dallas Semiconductor (ныне Maxim/Dallas). Её специалисты первыми догадались объединить в одном кристалле аналоговый термочувствительный элемент и цифровую логику интерфейсов I<sup>2</sup>C, SPI, 1-Wire. В итоге получились хорошие параметры измерения при относительно низкой стоимости: абсолютная точность  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  в узком ( $-10\dots+85^\circ\text{C}$ ) и  $\pm 2^\circ\text{C}$  в широком ( $-55\dots+125^\circ\text{C}$ ) диапазоне температур; оцифровка производится на выбор с 9- или 12-битным разрешением, напряжение питания  $+2.7\dots+5.5\text{ В}$ .

Примеры подключения интегральных цифровых термодатчиков DS1621, DS18x20, DS1821 (фирма Maxim/Dallas) к МК показаны на Рис. 3.70, а...и.

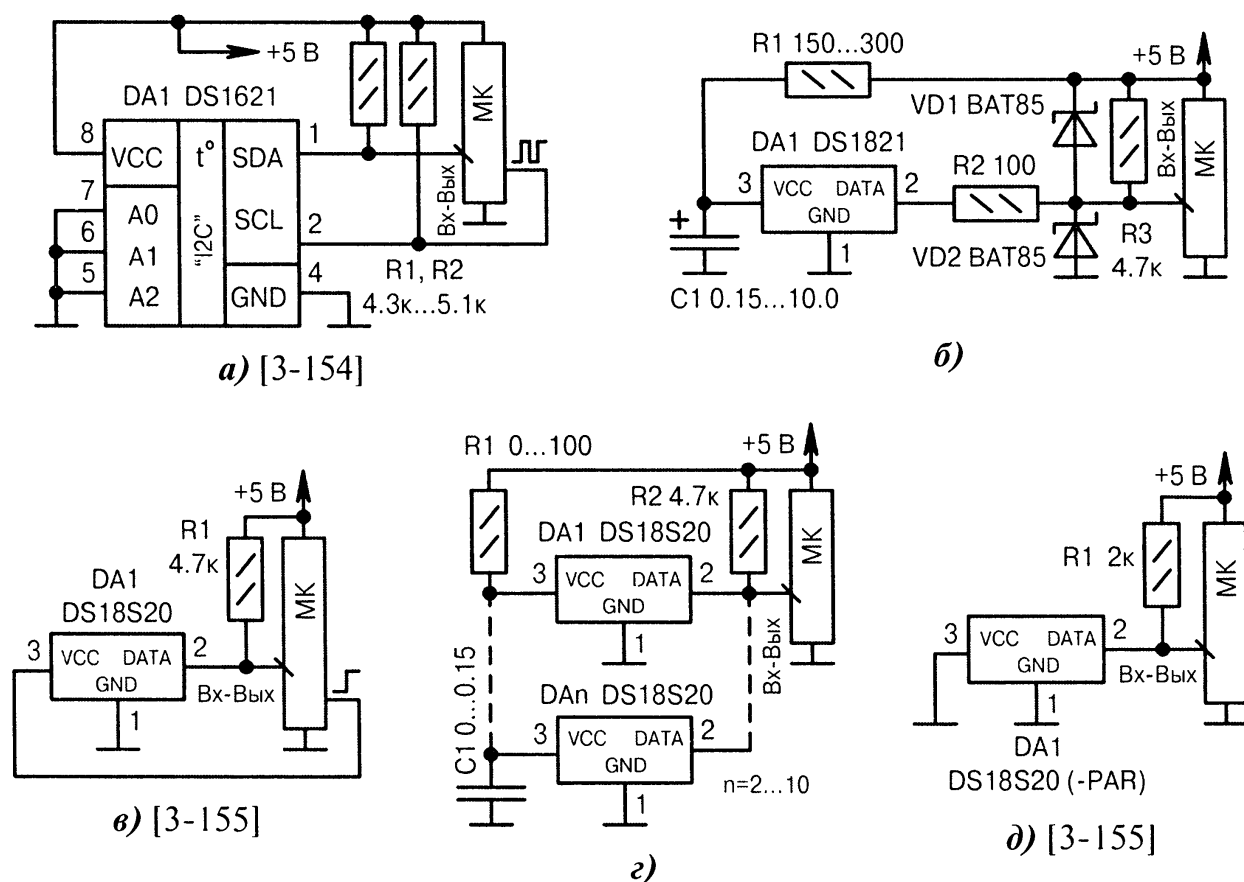


Рис. 3.70. Схемы подключения интегральных цифровых термодатчиков к МК (начало):

а) термодатчик *DA1* соединяется с МК по двухпроводному интерфейсу связи, совместимому с I<sup>2</sup>C. Тактовая частота сигнала SCL допускается в пределах 0...400 кГц;

б) однопроводной интерфейс связи 1-Wire. Цепочка *R1*, *C1* фильтрует помехи по питанию, резистор *R3* нагрузочный, элементы *R2*, *VD1*, *VD2* защищают МК от наводок при большом удалении термодатчика *DA1*. В лабораторных (домашних) условиях защиту часто не ставят. Замена микросхемы *DA1* — DS18B20, DS18S20. Время между замерами должно быть больше 750 мс;

в) питание термодатчика *DA1* от выходной линии порта МК. Это допускается, поскольку ток потребления *DA1* низкий и составляет 1 мкА ... 1.5 мА;

г) подключение нескольких термодатчиков к одной общей шине. Их разделение проводится по уникальным 64-битным серийным номерам, зашитым в ПЗУ *DA1...DAn*;

д) фантомное питание термодатчика *DA1* через внутренний диод по цепи DATA. Для микросхемы с надписью «-PAR» этот режим является штатным. Однако при большом удалении *DA1* от МК помехоустойчивость всё-таки хуже, чем при обычном (не фантомном) питании; ☹



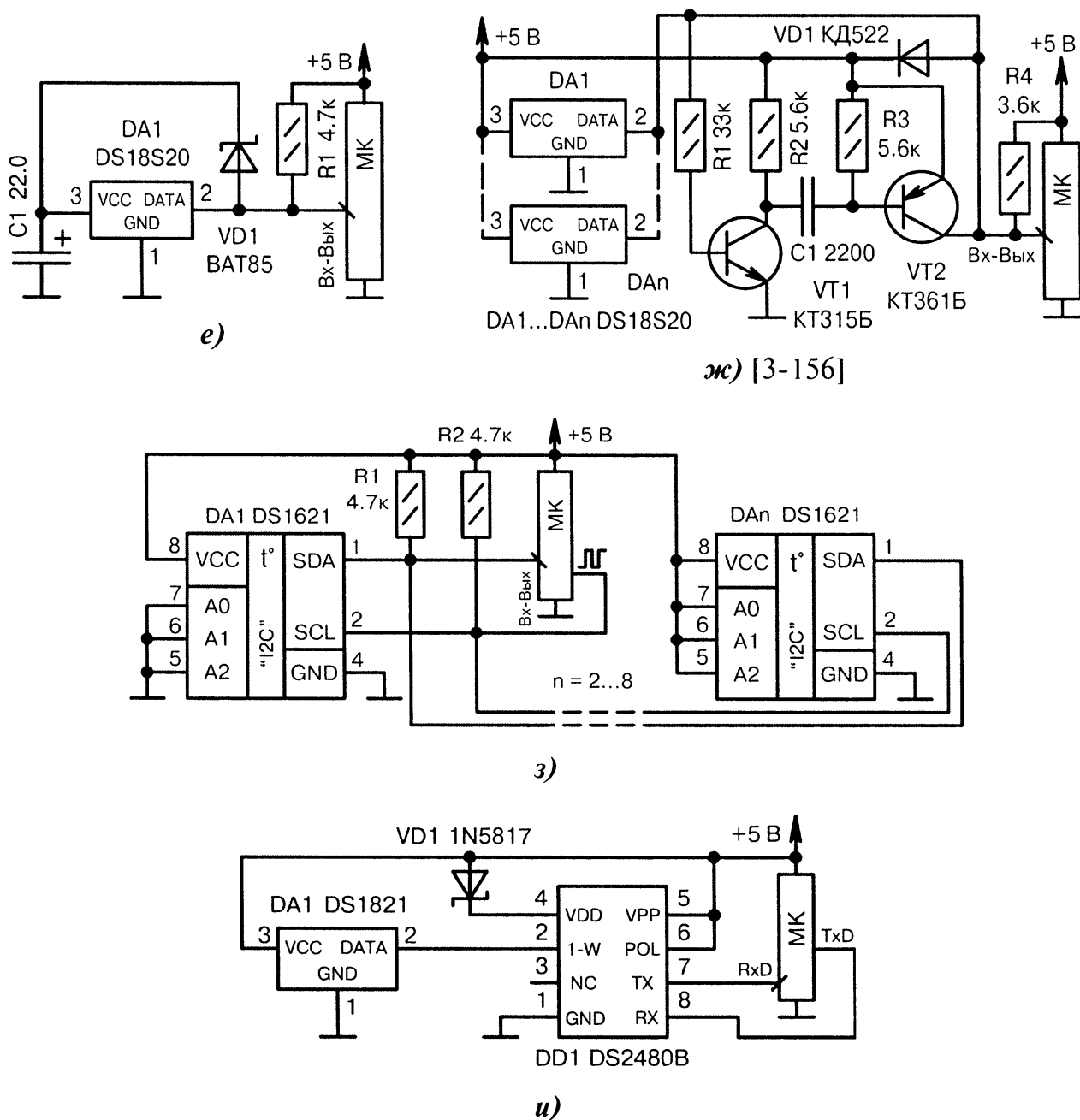


Рис. 3.70. Схемы подключения интегральных цифровых термодатчиков к МК (окончание):

е) фантомное питание термодатчика *DA1* через внешнюю накопительную цепочку *VD1*, *C1*, а не через собственный внутренний диод. «Двухполюсное» включение эффективно при малых расстояниях между *DA1* и МК, иначе ухудшается помехоустойчивость;

ж) транзисторы *VT1*, *VT2* обеспечивают «активную» нагрузку шины 1-Wire, через которую объединяются в сеть микросхемы *DA1...DAn*. Это повышает крутизну фронтов сигналов и увеличивает допустимое число параллельно подключаемых термодатчиков;

з) параллельное подключение нескольких температурных датчиков *DA1...DAn* к одной шине I<sup>2</sup>C. Каждому датчику аппаратно присваивается свой уникальный номер в сети. Он определяется логическими уровнями на входах *A0...A2* и учитывается при программном вызове от МК;

и) микросхема *DD1* (фирма Maxim/Dallas) является специализированным конвертором интерфейсов 1-Wire и UART. Доступны фиксированные скорости 9.6; 19.2; 57.6; 115.2 Кбит/с. Если понадобится запрограммировать EEPROM микросхемы *DD1*, то вывод *VPP* физически отсоединяют от цепи +5 В и на него подают напряжение +12 В от отдельного источника.

## 3.9. Датчики тока

### 3.9.1. Резисторные датчики тока

В практике измерения тока существует стандартный приём — включить последовательно в испытываемую цепь низкоомный резистор и замерить на нём падение напряжения. Если разделить напряжение ( $U_{\text{ИЗМ}}$ ) на сопротивление ( $R_{\text{ИЗМ}}$ ), то по закону Ома получится искомый ток ( $I_{\text{ИЗМ}}$ ). Резистор должен быть низкоомным и высокоточным, чтобы не вносить дополнительные потери мощности в нагрузку и не ухудшать инструментальную погрешность измерений.

Математические расчёты формулы тока можно поручить МК. В его программе будет фигурировать напряжение, измеренное на образцовом резисторе через встроенный АЦП. Сопротивление резистора априори известно, поэтому остаётся лишь правильно выбрать схему сопряжения его с МК (Рис. 3.71, а...с).

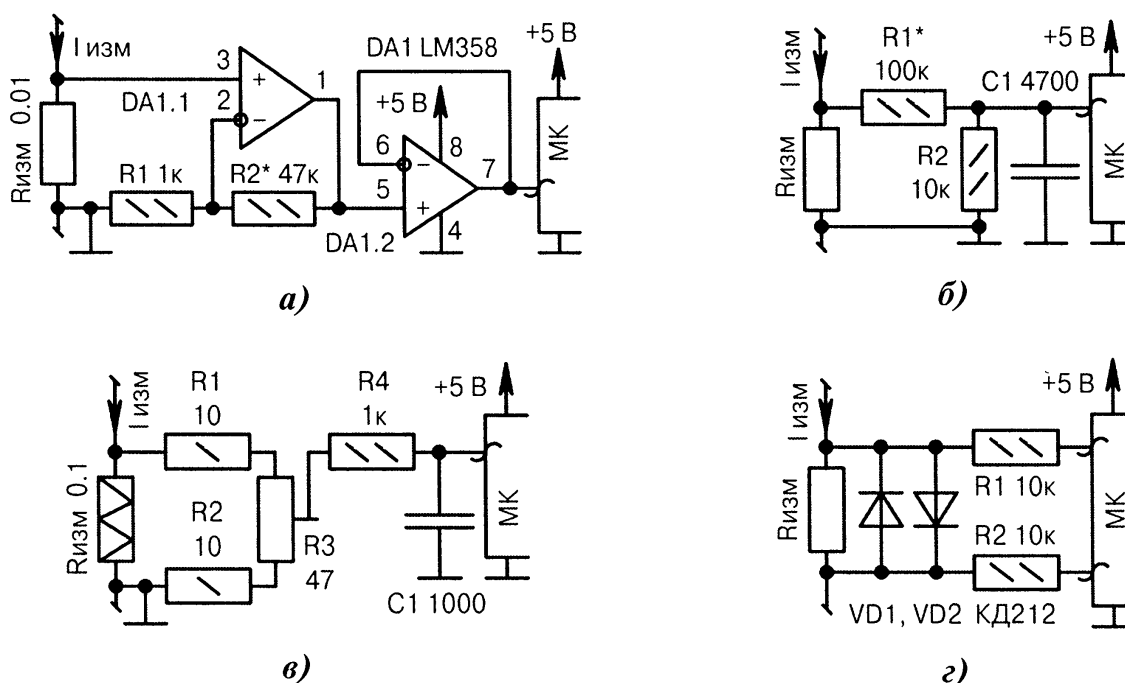


Рис. 3.71. Схемы подключения резисторных датчиков тока к МК (начало):

а) сигнал от датчика  $R_{\text{ИЗМ}}$  масштабируется усилителем  $DA1.1$  и буферизируется повторителем  $DA1.2$ . Резистор  $R2$  регулирует коэффициент усиления ОУ, а значит и чувствительность датчика. Повторитель сигнала  $DA1.2$  во многих случаях может отсутствовать;

б) делитель на резисторах  $R1, R2$  ослабляет сигнал с датчика  $R_{\text{ИЗМ}}$  примерно в 10 раз. Конденсатор  $C1$  снижает ВЧ-помехи. Сопротивление резистора  $R2$  выбирается по даташиту МК (в данном случае для AVR-контроллеров) с точки зрения оптимального режима работы АЦП. Резисторы  $R1, R_{\text{ИЗМ}}$  в сумме должны иметь сопротивление на порядок больше, чем резистор  $R2$ ;

в) резистором  $R3$  регулируется чувствительность датчика тока, выполненного на мощном проволочном резисторе  $R_{\text{ИЗМ}}$ . Цепочка  $R4, C1$  снижает помехи и защищает МК от всплесков напряжения;

г) пример симметричного подключения измерительной цепи к МК при помощи одинаковых резисторов  $R1, R2$ . Диоды  $VD1, VD2$  ограничивают входной сигнал по амплитуде. Измерение разности напряжений проводится двухканальным АЦП МК в дифференциальном режиме; Ⓞ

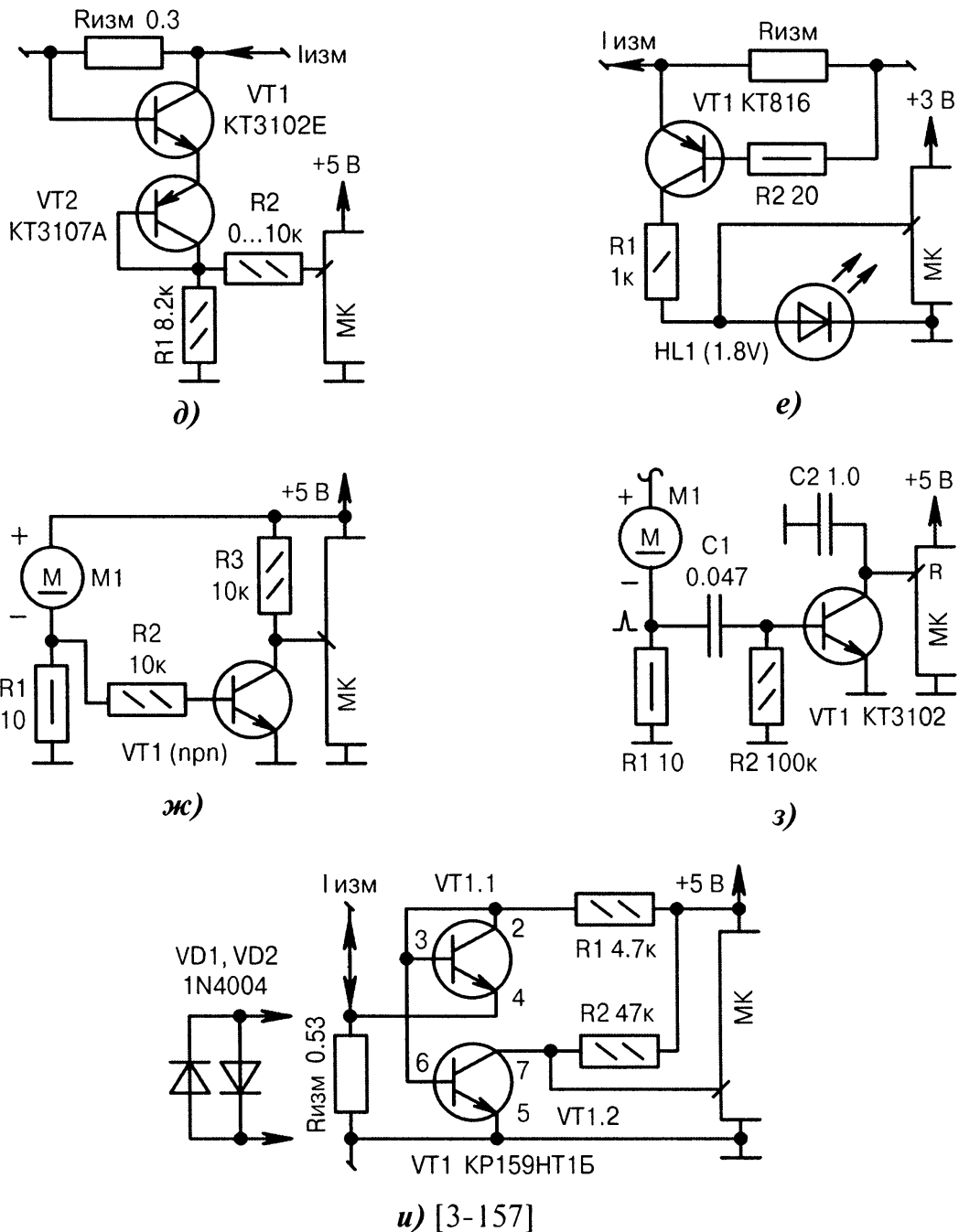


Рис. 3.71. Схемы подключения резисторных датчиков тока к МК (продолжение):

д) транзистор  $VT1$  открывается при определённом токе, протекающем через резистор  $R_{изм}$ , после чего на входе МК формируется ВЫСОКИЙ уровень. Если напряжение в измеряемой цепи не превышает +5 В, то ограничительный резистор  $R2$  можно заменить перемычкой;

е) датчик превышения тока через резистор  $R_{изм}$  с индикатором на светодиоде  $HL1$ ;

ж) МК проверяет, работает ли в данный момент двигатель  $M1$ , по наличию напряжения на низкоомном резисторе  $R1$ . Схема имеет нижний порог, определяемый напряжением  $U_{бэ}$   $VT1$ ;

з) через двигатель  $M1$  протекают импульсы тока, которые периодически открывают транзистор  $VT1$ . Благодаря большой ёмкости конденсатора  $C2$ , на входе МК поддерживается НИЗКИЙ уровень, который переходит в ВЫСОКИЙ уровень при остановке двигателя;

и) двухполярный датчик тока. Транзистор  $VT1.1$  работает как диод,  $VT1.2$  — как ключ. Оба транзистора входят в одну сборку и имеют идентичные параметры, отсюда высокая температурная стабильность. Необязательные диоды  $VD1, VD2$  защищают транзисторы от перегрузок; ◉

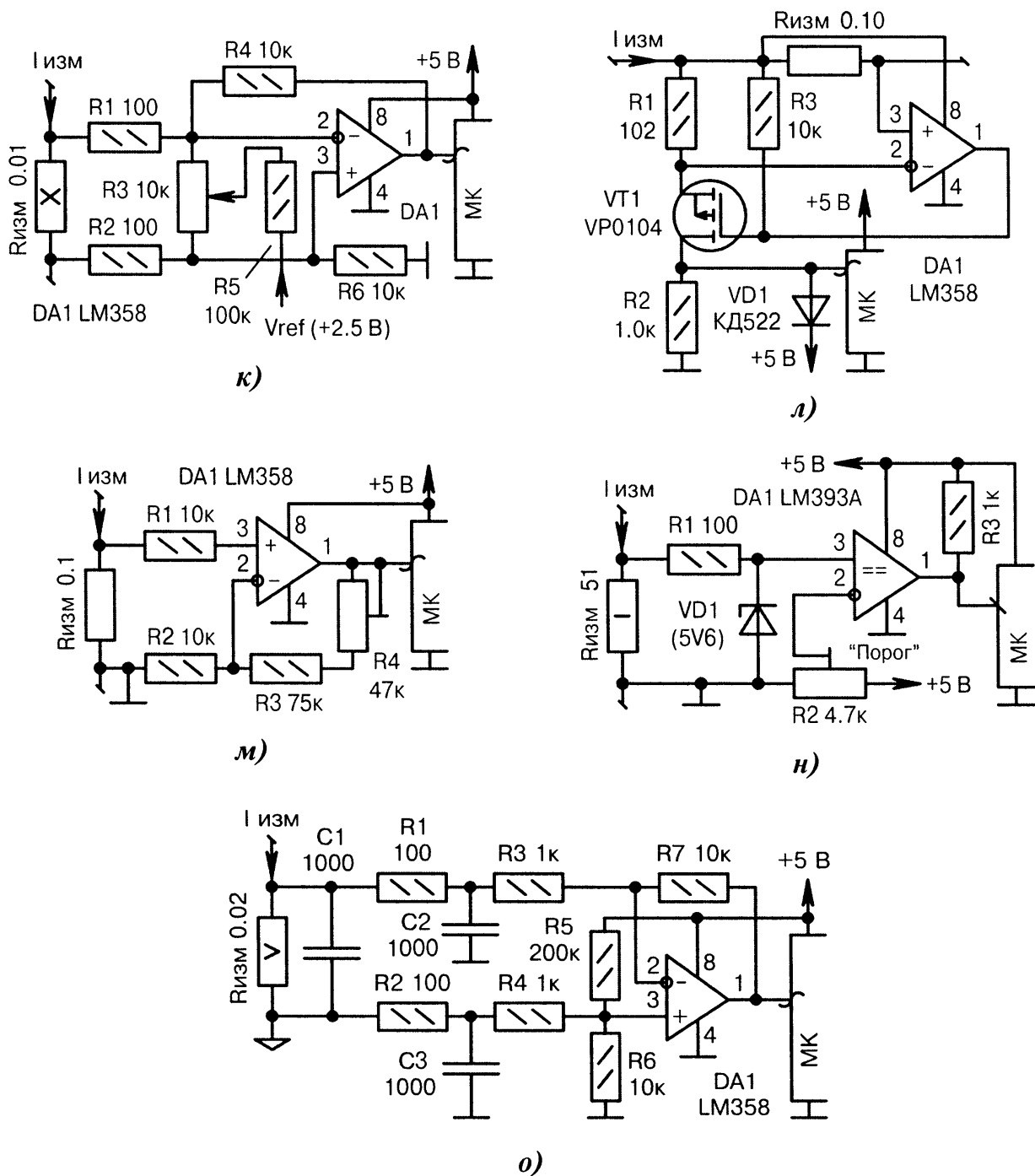


Рис. 3.71. Схемы подключения резисторных датчиков тока к МК (продолжение):

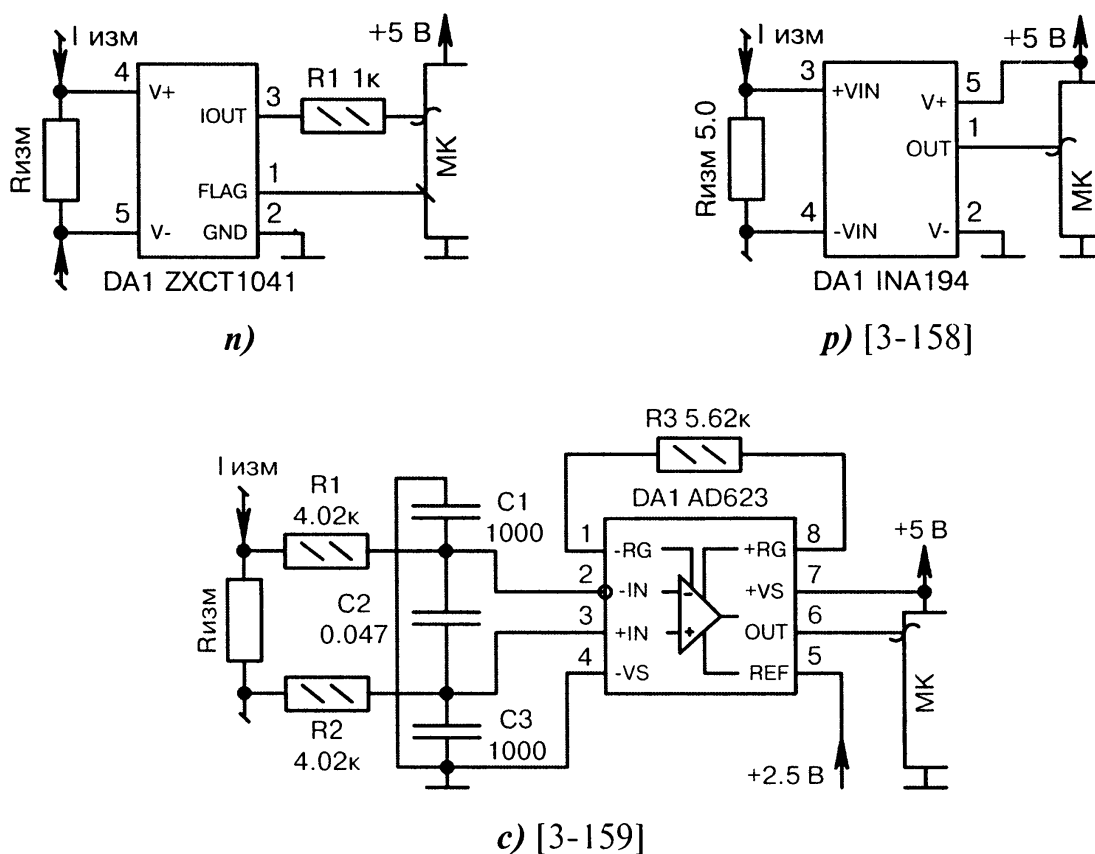
к) симметричный съём информации с датчика тока  $R_{изм}$ . Напряжение  $V_{REF}$  может подаваться с одноимённого вывода МК. Резистор  $R_3$  служит для начальной калибровки показаний;

л) напряжение на входе МК пропорционально току в измеряемой цепи с коэффициентом «1 В/1 А». Напряжение питания на выводе 8 микросхемы  $DA1$  должно быть +5...+30 В;

м)  $DA1$  — это усилитель слабого сигнала с регулировкой чувствительности резистором  $R_4$ . Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  должны быть одинаковыми по сопротивлению;

н) резистором  $R_2$  устанавливается порог срабатывания датчика тока. Стабилитрон  $VD1$  защищает компаратор  $DA1$  от всплесков напряжения;

о) сигнальная и защитная «земли» электрически соединяются длинными проводами, поэтому во входные цепи усилителя  $DA1$  вводятся фильтрующие конденсаторы  $C1...C3$ . К сигнальной «земле» подключается МК, к защитной — резистор  $R_{изм}$ ;



⊕ **Рис. 3.71.** Схемы подключения резисторных датчиков тока к МК (окончание):

п) микросхема *DA1* (фирма Zetex Semiconductors) позволяет измерять абсолютную величину тока (вывод *IOUT*) и его направление (вывод *FLAG*). Напряжение в измеряемой цепи на любом из выводов резистора  $R_{\text{ИЗМ}}$  относительно общего провода МК не должно превышать +20 В;

р) измерение тока при помощи специализированной микросхемы *DA1* фирмы Texas Instruments. Напряжение в измеряемой цепи относительно общего провода МК не должно превышать +36 В. Сопротивление резистора  $R_{\text{ИЗМ}}$  выбирается так, чтобы на нём при полной токовой нагрузке падало напряжение 50...100 мВ. Замена микросхемы *DA1* — *INA193*, *INA195*, при этом надо подкорректировать коэффициент преобразования в управляющей программе МК;

с) измерение тока при помощи инструментального усилителя *DA1* фирмы Analog Devices. Конденсаторы  $C1...C3$  устраняют высокочастотные помехи и совместно с резисторами  $R1$ ,  $R2$  симметрируют схему.

### 3.9.2. Гальванически изолированные датчики тока

Для гальванической развязки датчиков тока от цепей МК чаще всего используют оптопары (обычные или специализированные) и микросхемы на основе эффекта Холла.

Основные проблемы при развязке датчиков тока через оптопары заключаются в нелинейности передаточной характеристики с входа на выход и в температурном «дрейфе» параметров. Из-за этого оптопары, как правило, применяются в пороговых, а не измерительных, схемах.

Бесконтактное измерение тока через датчики Холла даёт весьма точные и стабильные результаты. Однако стоимость у них выше и схемотехника сложнее, поскольку приходится ставить дополнительные усилители напряжения.

Технологические достижения последнего времени позволяют встраивать силовой проводник (или катушку индуктивности) внутрь интегральной микросхемы с датчиком Холла. Получается компактный узел, обеспечивающий надёжную развязку входной и выходной части, а также имеющий гарантированные и стабильные во времени параметры.

На Рис. 3.72, а...в приведены схемы гальванической развязки через оптопары, а на Рис. 3.73, а...в — через датчики Холла.

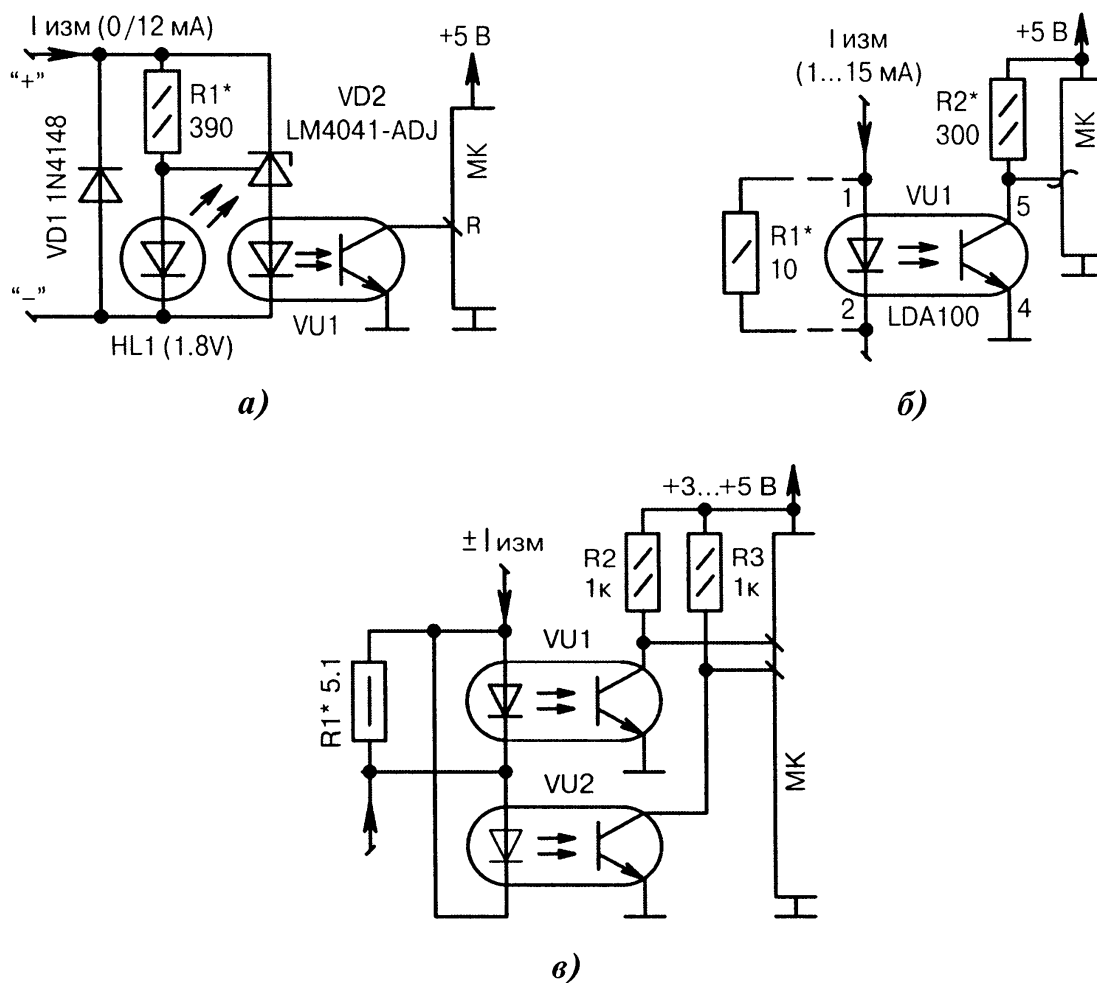
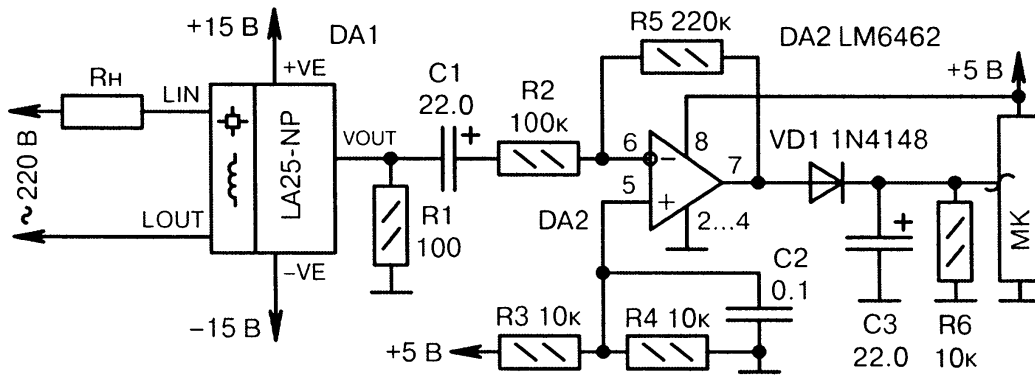


Рис. 3.72. Схемы гальванической изоляции датчиков тока при помощи оптопар:

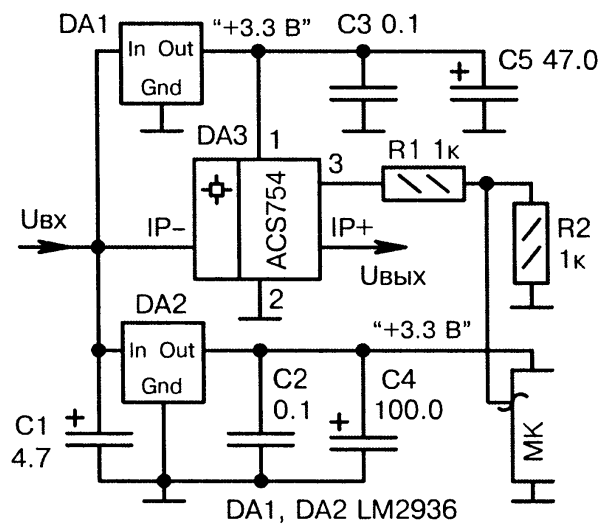
а) детектор тока 0/12 мА на трёхвыводном стабилизаторе  $VD2$  и оптопаре  $VU1$ . Наличие протекающего на входе тока визуально индицируется светодиодом  $HL1$ . Порог срабатывания задаётся резистором  $R1$  и рассчитывается по формуле  $I_{п}[\text{мА}] = 1.24 / R_1[\text{кОм}]$ ;

б) линейный датчик тока на специализированной оптопаре  $VU1$  фирмы Clare. Её отличительная особенность заключается в линейности передаточной характеристики. Резистор  $R1$  ставится при необходимости измерения больших токов. Оптопара  $VU1$  может быть обычной транзисторной, но тогда придётся программно откалибровать параметры тока по точкам для устранения нелинейности, а также подобрать резистор  $R2$ , чтобы напряжение на входе АЦП МК было близким к половине питания;

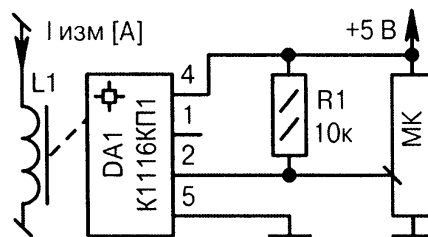
в) пороговый датчик наличия/отсутствия двухполярного тока в испытуемой цепи. При положительном направлении тока открывается оптопара  $VU1$ , при отрицательном —  $VU2$ . Резистор  $R1$  шунтирует протекающий ток. Его сопротивление должно быть настолько низким, чтобы не превышались максимально допустимые токи через диоды оптопар  $VU1$ ,  $VU2$ .



а) [3-160]



б) [3-161]



в)

**Рис. 3.73.** Схемы гальванической изоляции датчиков тока на микросхемах с эффектом Холла:

а) между выводами LIN, LOUТ внутри датчика тока *DA1* (фирма LEM) размещается изолированная катушка индуктивности и рядом с ней — магниточувствительный элемент Холла. На выходе VOUT формирует переменный сигнал, амплитуда которого пропорциональна протекающему через внутреннюю индуктивность току. Сигнал усиливается микросхемой *DA2* и детектируется элементами *VD1*, *C3*;

б) между выводами IP-, IP+ внутри датчика тока *DA1* (фирма Allegro MicroSystems) размещается изолированный силовой проводник и рядом с ним — магниточувствительный элемент Холла. Датчик рассчитан на протекание по проводнику больших токов, вплоть до 50 А;

в) проверка наличия/отсутствия тока, протекающего через катушку *L1*, при помощи магниточувствительной микросхемы *DA1*. Катушка содержит 50 витков провода ПЭВ-1.0. Оптимальное положение датчика Холла *DA1* относительно катушки *L1* определяется экспериментально.

## 3.10. Датчики магнитного поля

### 3.10.1. Датчики Холла

Сущность эффекта, открытого в 1879 г. американским физиком Э. Холлом, заключается в появлении разности потенциалов между гранями полупроводниковой пластины, через которую протекает ток и на которую воздействует перпендикулярное магнитное поле. Разность потенциалов прямо пропорциональна силе тока и квадрату магнитной индукции.

Эффект Холла широко применяется в бесконтактных датчиках тока. Другое направление — датчики перемещения, в которых элемент Холла крепится к неподвижному шасси, а собственно магнит находится на движущейся части исследуемого объекта. Поскольку выходной сигнал датчика Холла пропорционален индукции магнитного поля, а не скорости его изменения, это даёт серьёзное преимущество в точности по сравнению с аналогичными по назначению индуктивными датчиками.

Магниточувствительные элементы, использующие эффект Холла, обычно называют «датчиками Холла» (англ. «Hall Sensor»). Различают простые и интегральные датчики Холла. В последних кроме полупроводниковой пластины содержится встроенный усилитель-формирователь. Типовые параметры интегральных датчиков Холла: напряжение питания 2.5...5 В или 4.5...18 В, ток потребления 8...20 мА, минимальная регистрируемая магнитная индукция 2...10 мТл, выходной сигнал — аналоговый (модулированное по амплитуде напряжение) или цифровой (открытый коллектор, КМОП-элемент, импульсы ШИМ).

На Рис. 3.74 а...м показаны схемы подключения датчиков Холла к МК.

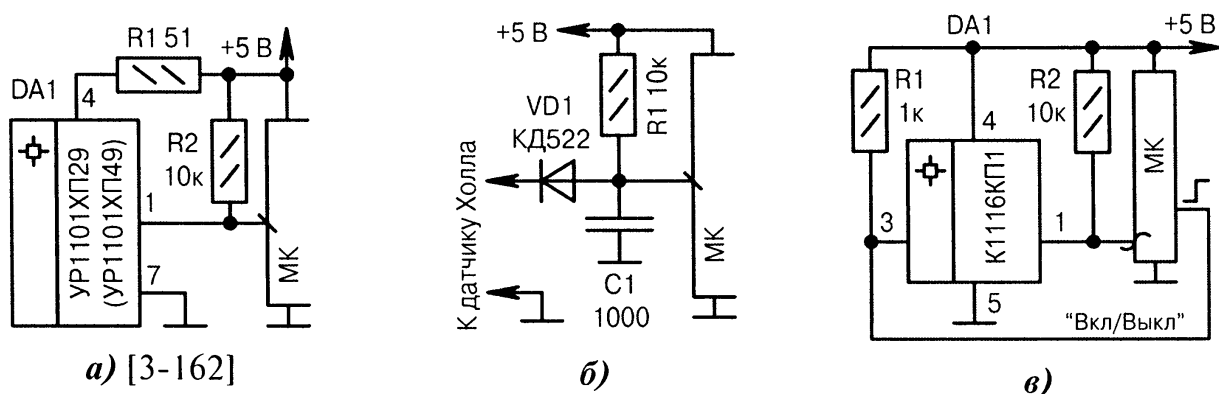


Рис. 3.74. Схемы подключения датчиков Холла к МК (начало):

а) датчик Холла *DA1* имеет выход с открытым коллектором и встроенную схему защиты от замыкания на шину питания. Микросхема УР1101ХП29 реагирует на магнитное поле положительной полярности, УР1101ХП49 — на поле положительной и отрицательной полярности с триггерным эффектом запоминания;

б) диод *VD1* защищает вход МК от случайной подачи высокого положительного напряжения. Конденсатор *C1* снижает помехи, поступающие от датчика Холла по длинным проводам;

в) включение/выключение датчика Холла *DA1* по сигналам с выхода МК. Датчик реагирует на магнитное поле как положительного, так и отрицательного направления. Замена микросхемы *DA1* — К1116КП2; ☉



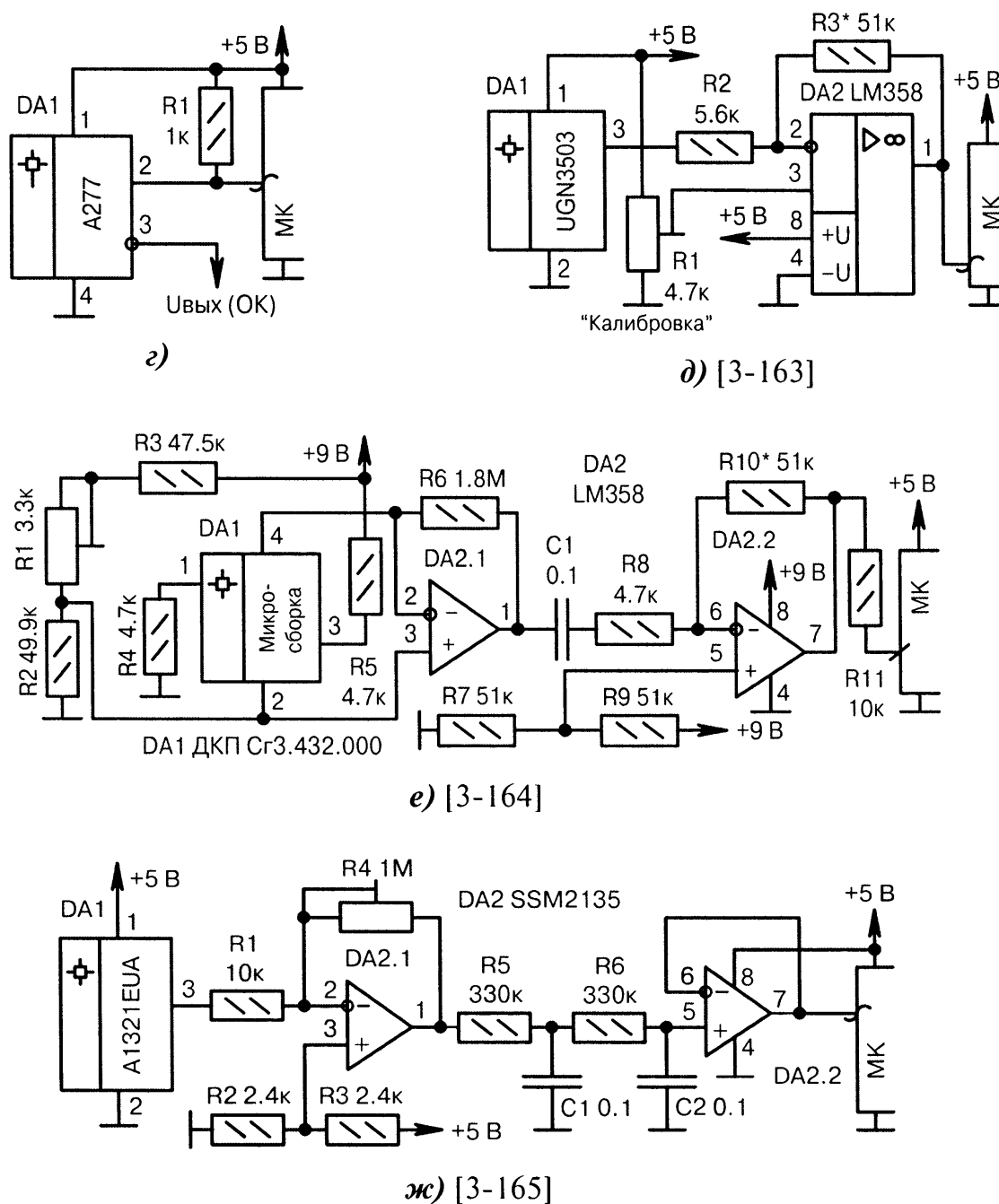


Рис. 3.74. Схемы подключения датчиков Холла к МК (продолжение):

г) датчик Холла *DA1* (фирма Ampson Technology) имеет два противофазных выхода. Прямой сигнал поступает на МК, а инверсный — на внешнее исполнительное устройство через выход с открытым коллектором;

д) для усиления сигнала с датчика Холла *DA1* (фирма Allegro MicroSystems) используется ОУ *DA2*. Резистором *R1* выставляется начальное напряжение на входе МК, близкое к половине питания. Резистором *R3* регулируется усиление/чувствительность;

е) датчик оборотов двигателя бормашины, выполненный на специализированной бескорпусной микросборке *DA1*, содержащей на подложке датчик Холла. На ОУ *DA2* собран двухкаскадный усилитель напряжения (регулируется резистором *R10*). Резистор *R1* балансирует мостовую схему, находящуюся внутри *DA1*, что необходимо для начальной калибровки показаний;

ж) подключение датчика Холла *DA1* (фирма Allegro MicroSystems) к МК через малошумящий ОУ *DA2.1* и двухзвенный ФНЧ (*R5*, *C1*, *R6*, *C2*). Резистором *R4* выставляется усиление; ●

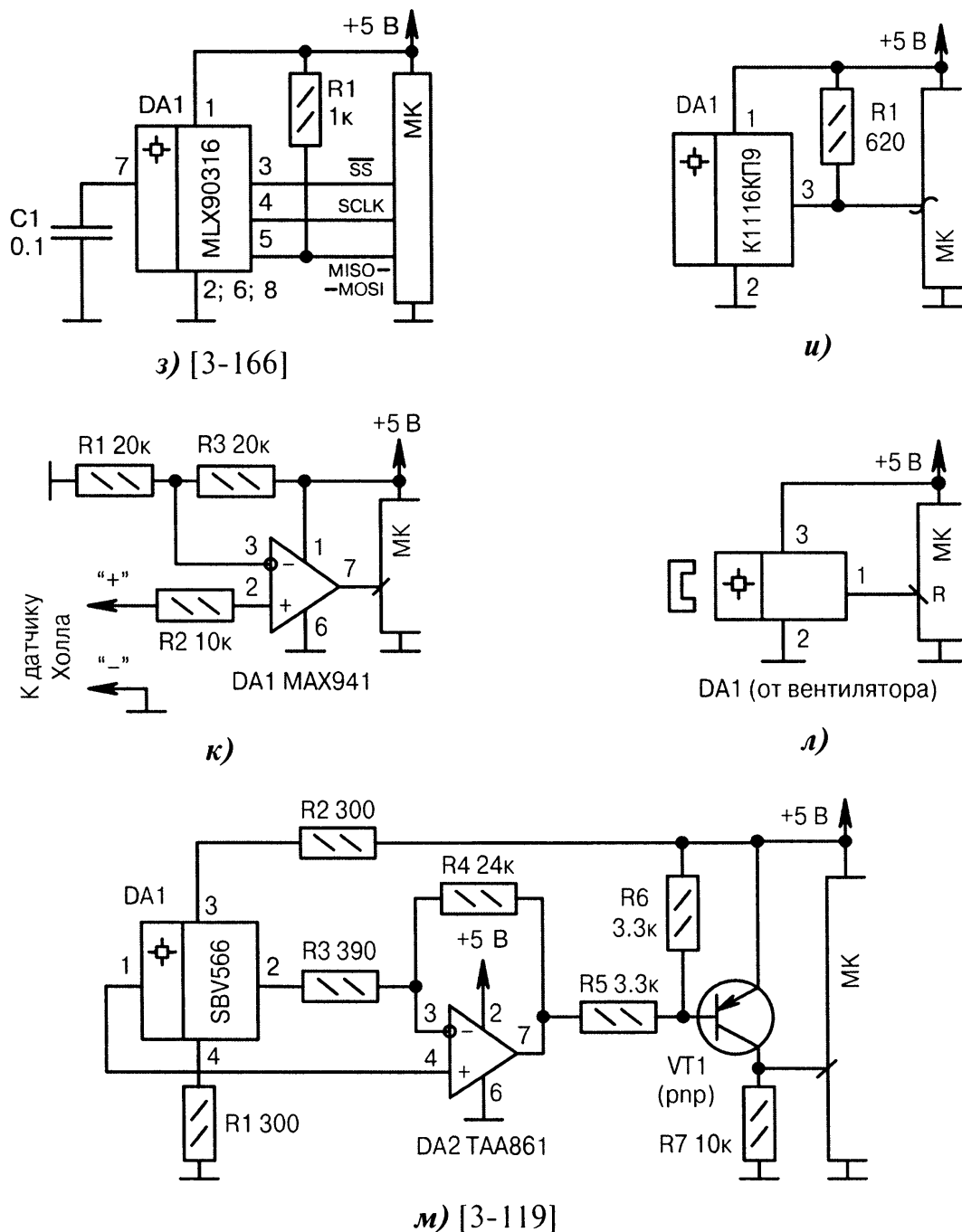


Рис. 3.74. Схемы подключения датчиков Холла к МК (окончание):

з) микросхема *DA1* (фирма Melexis) — это интеллектуальный датчик магнитного поля с внутренним DSP и со своей системой команд. По-другому микросхему *DA1* называют «цифровым датчиком Холла». Трёхпроводной интерфейс связи напоминает SPI, но вместо двух отдельных линий MISO и MOSI сделана одна совмещённая линия MISO-MOSI;

и) *DA1* — это микросхема датчика Холла, широко применявшаяся ранее в компьютерных клавиатурах;

к) аналоговый компаратор на микросхеме *DA1* (фирма Maxim Integrated Products) обеспечивает крутые фронты сигнала на входе МК. Порог срабатывания определяется делителем *R1*, *R3*;

л) *DA1* — это микросхема датчика Холла, «изъятая» из компьютерного вентилятора;

м) экономичный ОУ на микросхеме *DA2* (фирма Telefunken) усиливает сигнал с датчика Холла *DA1*. Транзистор *VT1* служит ключом и формирует на выходе прямоугольные импульсы.

### 3.10.2. Магнитодиоды

Магнитоэлектроника — это относительно новое направление в технике «твёрдого тела». К классу магнитоэлектронных приборов относятся магнитодиоды, магнитотранзисторы и магнитотиристоры [3-167]. Их отличие от обычных полупроводниковых приборов состоит в том, что при изготовлении используются так называемые «высокоомные» полупроводники, чувствительные к магнитному полю, и конструктивно «длинные» базы.

Магнитодиоды являются наиболее простыми, понятными и доступными для приобретения приборами. Сфера их применения — это датчики положения движущихся предметов, приборы неразрушающего контроля, бесконтактные измерители постоянного тока большой величины (до 700 А). Достоинства магнитодиодов — относительно малые габариты, надёжность, помехозащищённость, высокая чувствительность (выше, чем у датчиков Холла), устойчивость к рентгеновскому излучению. Магнитодиод эквивалентен магниторезистору с усилителем.

Падение напряжения в магнитодиоде происходит не на  $p-n$ -переходе, как в обычном диоде, а на высокоомной базе. Практическое следствие — прямое напряжение у магнитодиодов составляет 4...20 В (в зависимости от типа), вместо ожидаемых 0.7 В. Именно этот нюанс определяет нестандартную схемотехнику подключения магнитодиодов к МК (Рис.3.75, а, б).

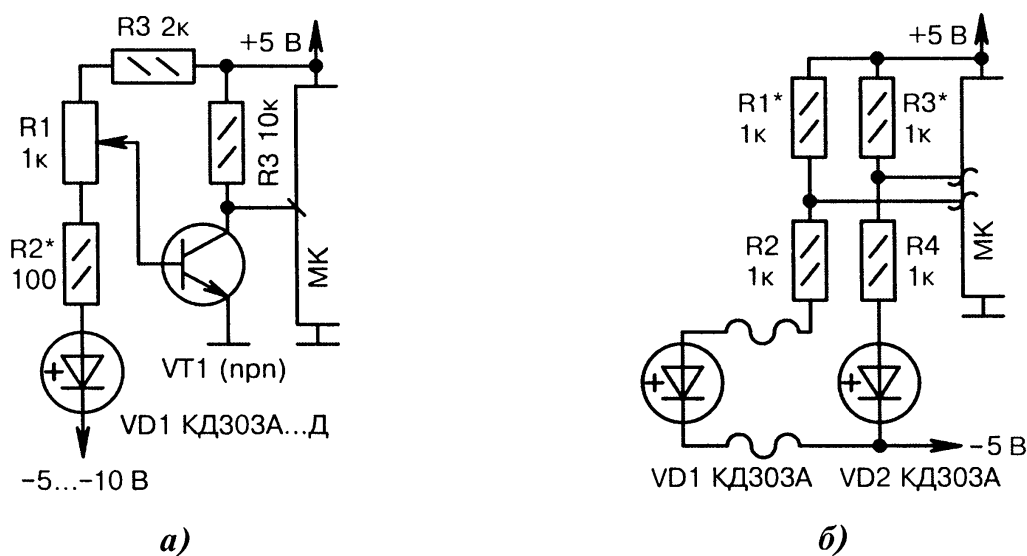


Рис. 3.75. Схемы подключения магнитодиодов к МК:

а) внешнее магнитное поле изменяет сопротивление магнитодиода  $VD1$ , а значит и напряжение на базе ключевого транзистора  $VT1$ . Напряжение отрицательного источника питания выбирается в зависимости от последней буквы в названии магнитодиода. Для повышения температурной стабильности показаний, прямой ток через магнитодиод рекомендуется выбирать в оптимальном диапазоне 1...3 мА (устанавливается резисторами  $R1, R2$ );

б) магнитодиод  $VD1$  располагается на исследуемом объекте, а точно такой же магнитодиод  $VD2$  — возле МК вне магнитного поля. Температура окружающей среды обоих магнитодиодов должна быть одинаковой, при этом прирост прямого напряжения от температуры тоже будет одинаковым. АЦП МК измеряет разность напряжений в двух каналах, а она зависит только от интенсивности магнитного поля. Ток через магнитодиоды выбирают равным 1...3 мА ( $R1, R3$ ).

### 3.10.3. Электронные магнитные компасы

Компас (нем. «kompass») — это прибор, указывающий направление магнитного меридиана. По компасу ориентируются относительно четырёх сторон горизонта. В основе механического компаса лежит магнитная стрелка. В электронном компасе её роль играют магниточувствительные элементы, чаще всего интегральные магниторезисторы, включённые по схеме измерительного моста (Рис. 3.76, а...д).

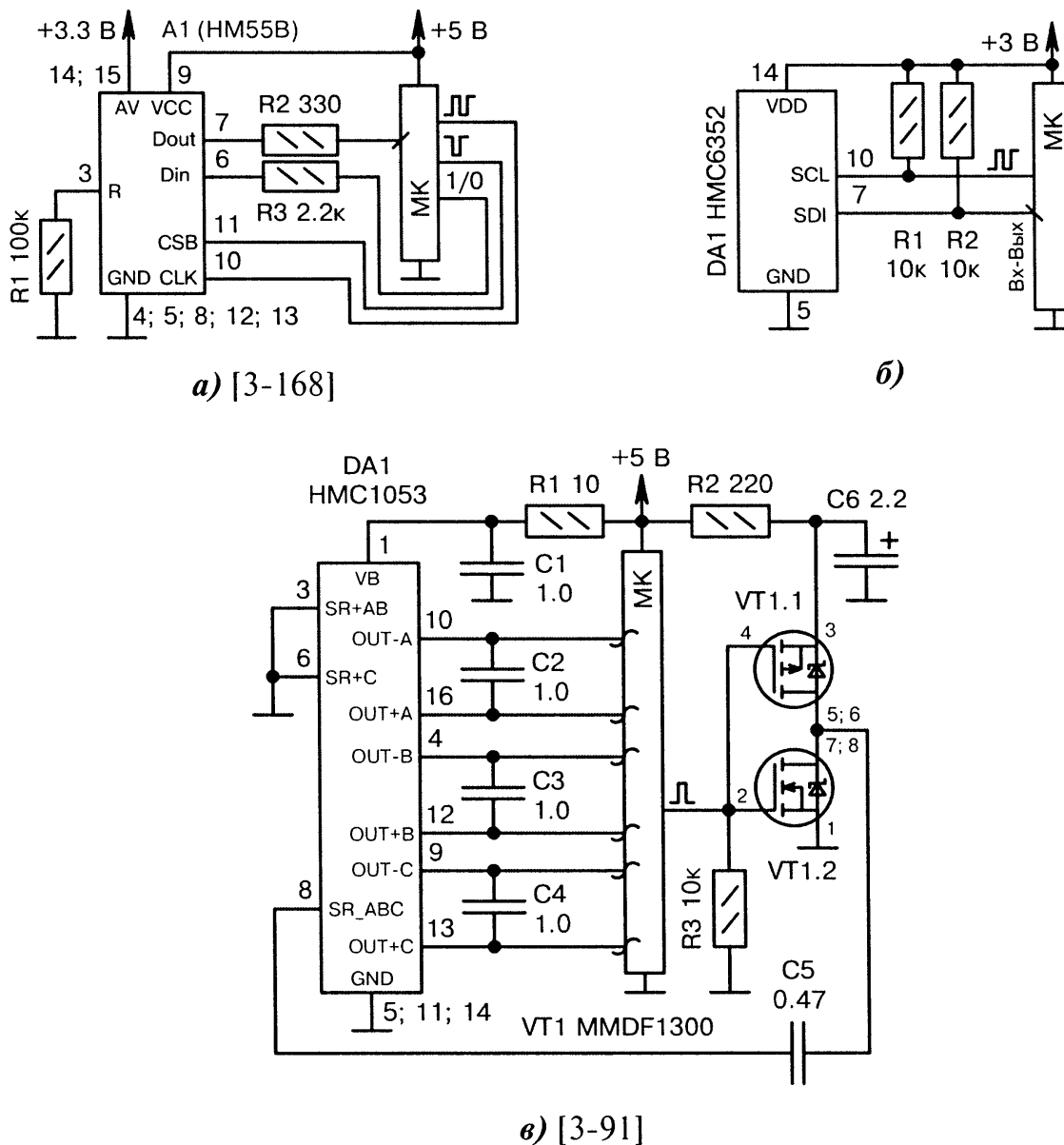
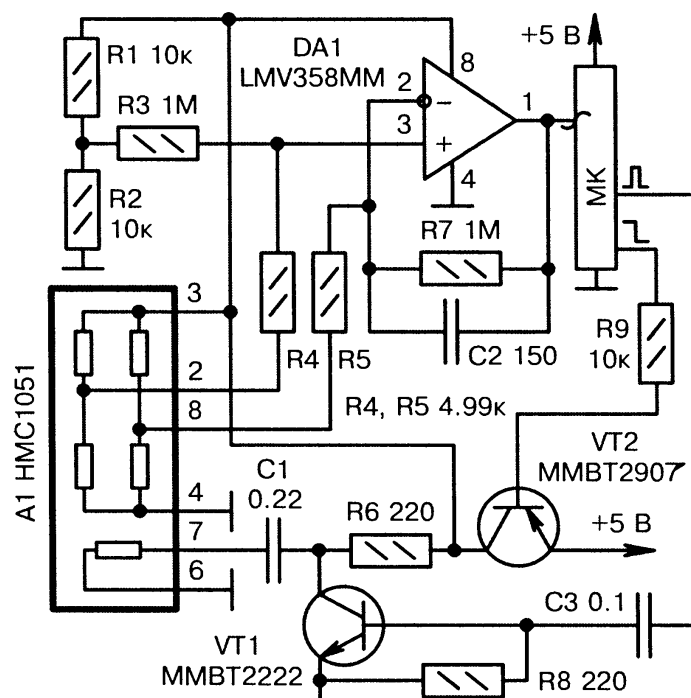


Рис. 3.76. Схемы подключения электронных магнитных компасов к МК (начало):

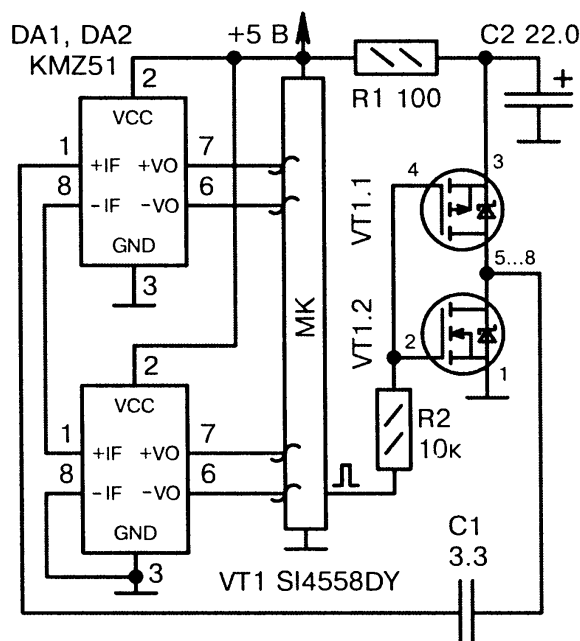
а) *A1* — это сборный модуль Compass Module (фирма Parallax), содержащий двухосевой магниточувствительный чип HM55B фирмы Hitachi. Модуль подключается к МК через четырёхпроводной интерфейс, аналогичный SPI. Резисторы *R1...R3* входят в типовую схему включения;

б) цифровой магниторезистивный двухосевой компас *DA1* фирмы Honeywell (магнитная индукция 0.1...0.75 Гс) подключается к МК через стандартный интерфейс I<sup>2</sup>C;

в) *DA1* — это трёхосевой аналоговый магнитный компас фирмы Honeywell (магнитная индукция ±6 Гс). Полевые ключи транзисторной сборки *VT1* формируют импульс размагничивания с пиковым током до 400 мА; Ⓞ



г) [3-169]



д) [3-170]

☉ **Рис. 3.76.** Схемы подключения электронных магнитных компасов к МК (окончание):

г) одноосевой аналоговый датчик *A1* фирмы Honeywell (магнитная индукция  $\pm 6$  Гс) содержит магниторезистивный мост, а также размагничивающий резистор. Транзистор *VT1* формирует импульс тока для размагничивания. Транзистор *VT2* в открытом состоянии подаёт общее питание +5 В на *A1* и усилитель *DA1*. Если поставить два датчика *A1* перпендикулярно друг к другу или заменить их одним датчиком HMC1052, то получится двухосевой магнитный компас;

д) подключение к МК двух одноосевых датчиков магнитного поля *DA1*, *DA2* фирмы Philips. Импульс размагничивания формируется элементами *VT1.1*, *VT1.2*, *C1* и подаётся последовательно на два датчика через цепи +IF, -IF.

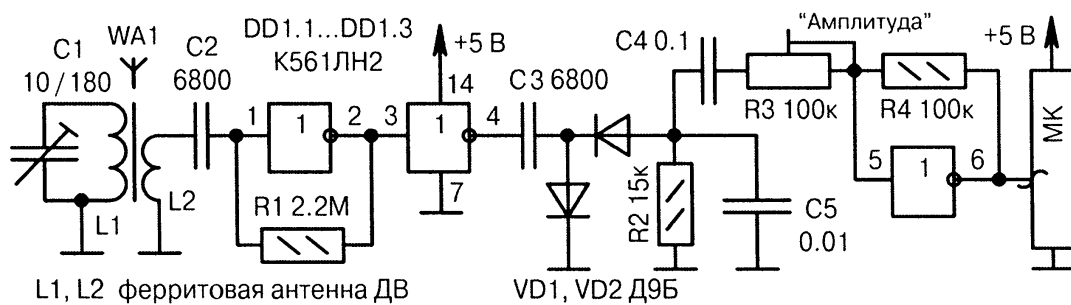
## 3.11. Разные датчики

### 3.11.1. Детекторы радиоизлучения

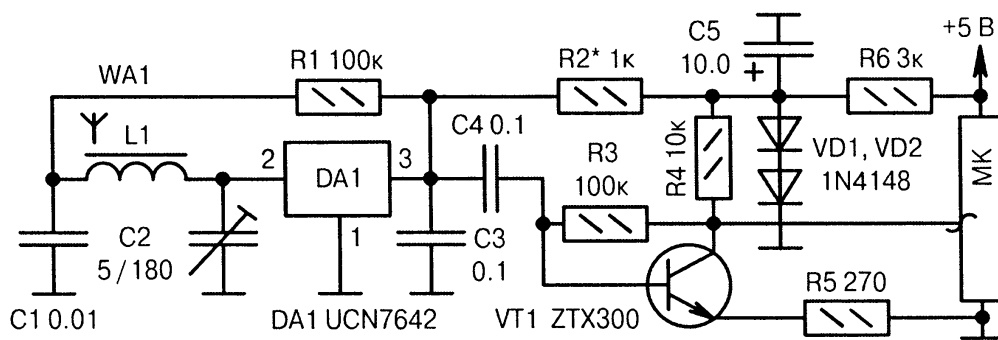
МК не может напрямую обрабатывать радиосигналы — частоты у них слишком высокие и уровень сверхслабый. Однако усиленные и продетектированные сигналы МК успешно оцифровывает, фильтрует и анализирует.

Во входной части, как правило, используется традиционная схемотехника радиоприёмников прямого усиления, а именно, антенна, избирательный контур, высокочастотный усилитель, детекторный диод. В качестве последних применяют ВЧ- и СВЧ-диоды с малой проходной ёмкостью: 2Д926А (0.35 пФ), АД516Б (0.35 пФ), КД513А (0.7 пФ), КД417 (0.4 пФ), КД514 (0.9 пФ).

Под определение детектора радиоизлучения (на любительском жаргоне «радиодатчика») подходят любые устройства, которые регистрируют радиосигналы в широком диапазоне частот. Обычно такое изделие содержит входную цепь от радиоприёмника, усилитель и звуковой/световой индикатор. Если радиодатчик дополнить выходом на МК, то появляется возможность не только регистрировать радиоизлучение, но и расшифровывать передаваемые данные (Рис. 3.77, а...ф).



а) [3-171]

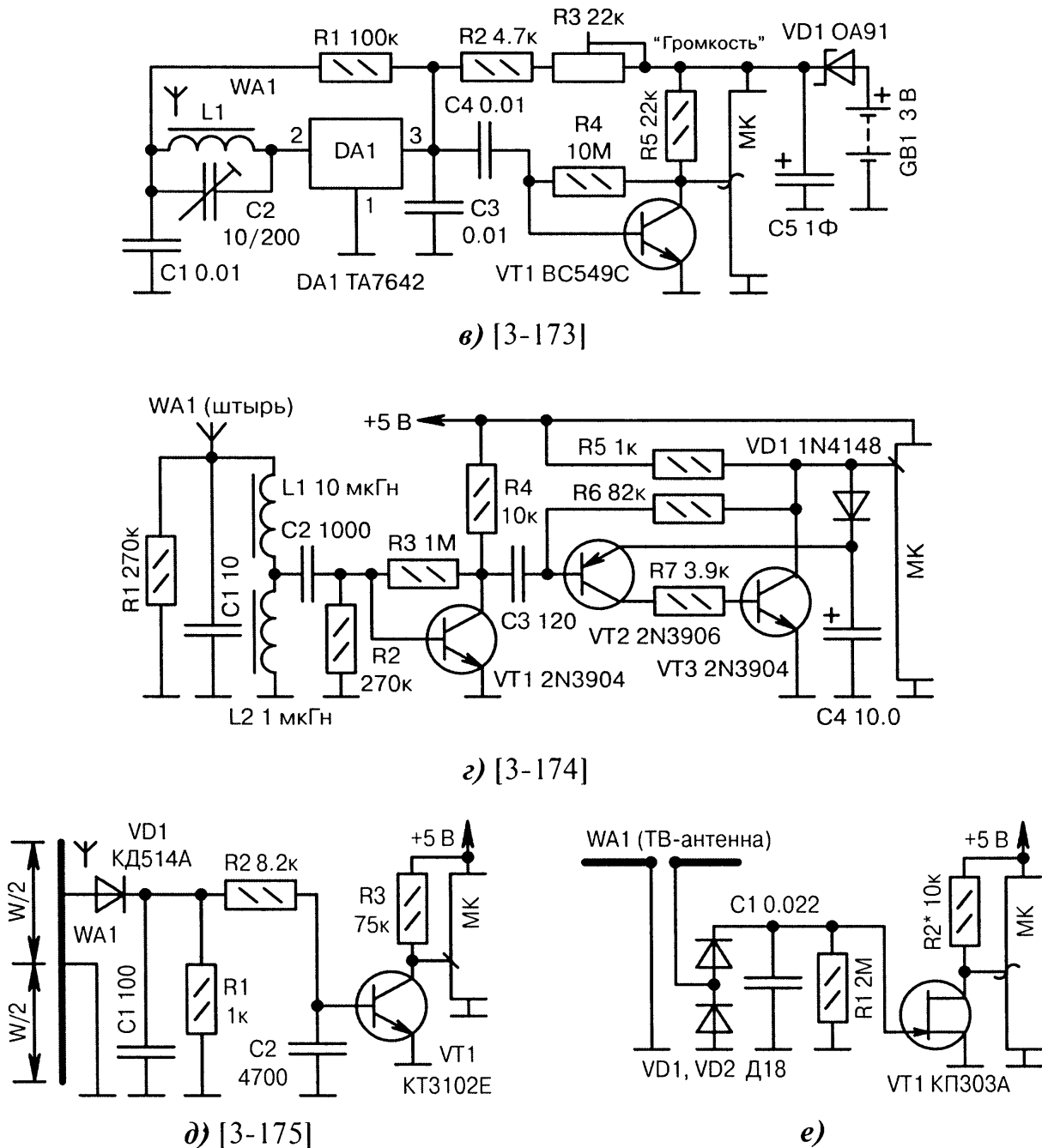


б) [3-172]

Рис. 3.77. Схемы подключения детекторов радиоизлучения к МК (начало):

а) АМ-радиоприёмник на цифровой микросхеме *DD1*, инверторы которой работают в аналоговом режиме. Контур *L1*, *C1* настраивается на частоту приёма. Резистором *R3* устраняют ограничение входящих синусоидальных сигналов. Параллельно *R4* можно подключить динамик сопротивлением 32 Ом для параллельного прослушивания эфирных радиопередач;

б) *DA1* — однокристалльный АМ-радиоприёмник фирмы Unisonic Technologies. Напряжение питания +1.2...+1.6 В, ток потребления 0.14...0.3 мА, диапазон частот ДВ/СВ. Замена *DA1* без изменения цоколёвки — МК484, D7642, Z414 разных фирм-изготовителей; ☹



● **Рис. 3.77.** Схемы подключения детекторов радиоизлучения к МК (продолжение):

в) АМ-радиоприёмник с батарейным питанием. Ионистор  $C5$  накапливает энергию от солнечной батареи  $GB1$ . Ферритовая антенна  $L1$  используется от радиоприёмника ДВ/СВ. Переменным конденсатором  $C2$  настраивается частота приёма, а резистором  $R2$  — уровень сигнала;

г) детектор радиоизлучения удалённых разрядов молнии («грозоотметчик»). Сигналы принимаются в широком спектре частот до 300 кГц. На транзисторе  $VT1$  собран широкополосный усилитель, а на транзисторах  $VT2$ ,  $VT3$  — триггер «flip-flop»;

д) детектор излучения сотовых телефонов стандарта GSM900/1800. Полная длина печатной антенны  $W$  составляет 150 мм для частоты 900 МГц и вдвое короче для частоты 1800 МГц. Диод  $VD1$  подключается на расстоянии 5...10 мм от верхнего края антенны;

е) радиодатчик для определения наилучшей точки приёма сигналов (направление на источник радиоизлучения). Особенностью является применение обычной комнатной телевизионной антенны  $WA1$ . Резистором  $R2$  выбирается рабочая точка транзистора  $VT1$ ; ●

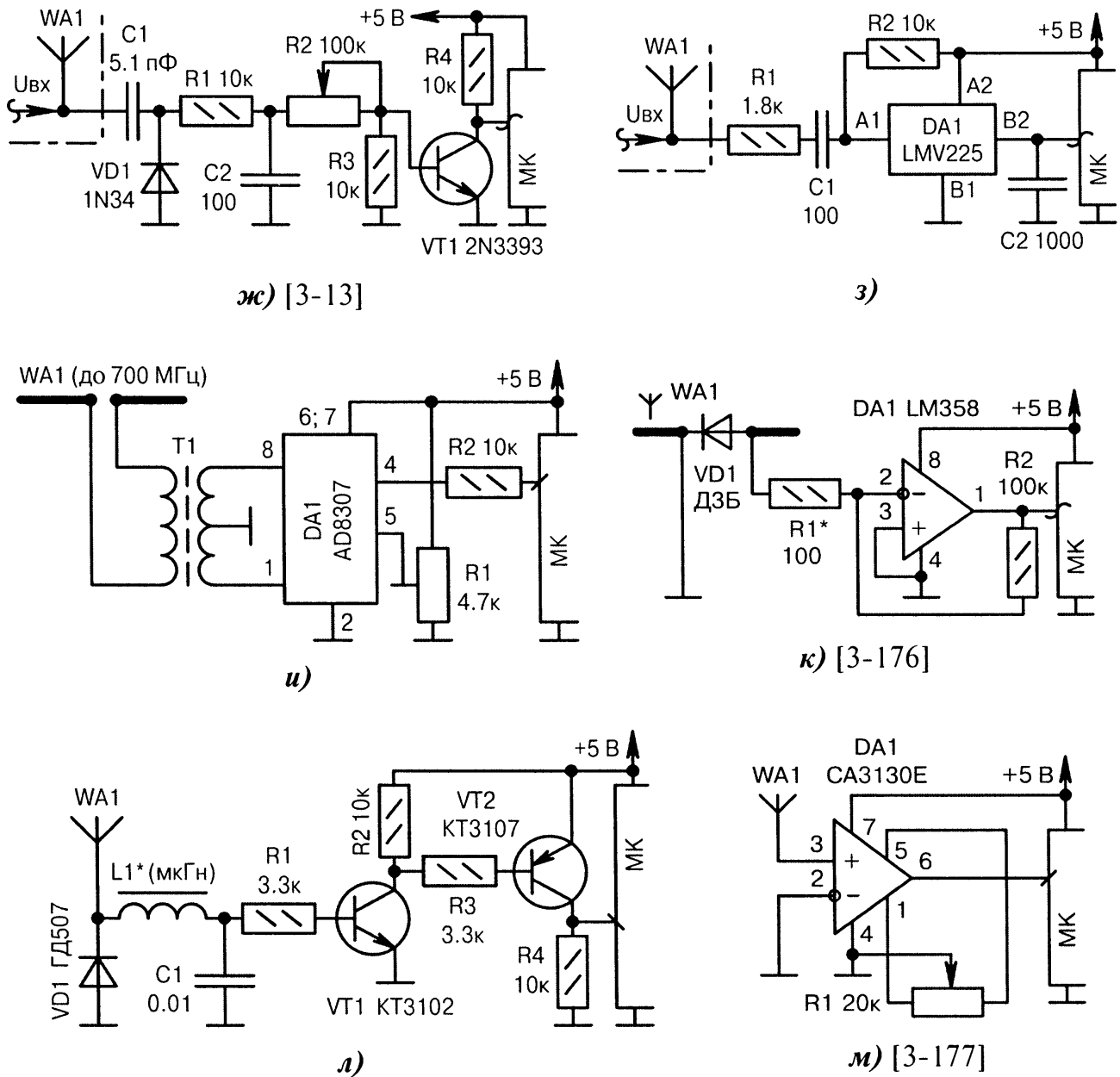
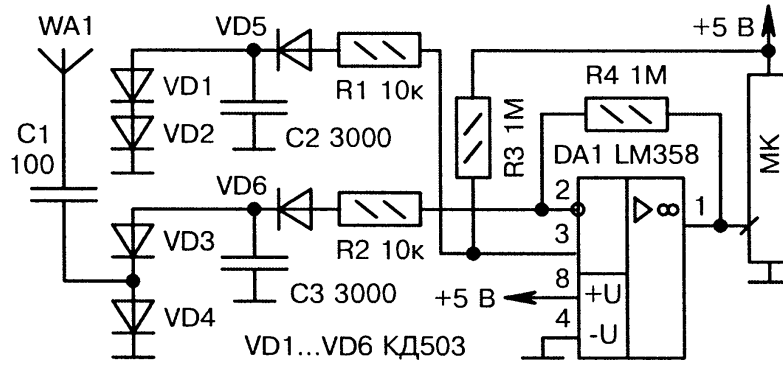


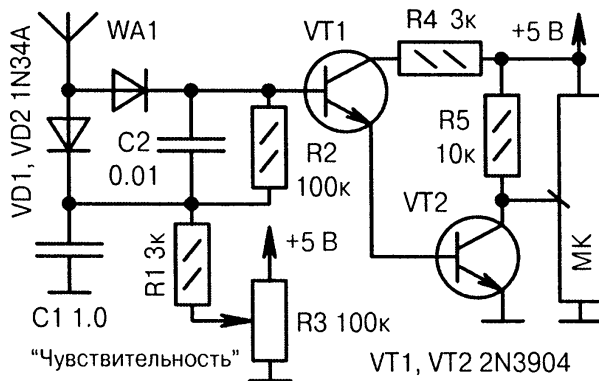
Рис. 3.77. Схемы подключения датчиков радиоизлучения к МК (продолжение):

- ж) приставка, которая подключается к антенне WA1 радиопередатчика для измерения мощности генерируемого сигнала. Резистор R2 служит для начальной калибровки показаний;
- з) назначение аналогично Рис. 3.77, ж. Микросхема DA1 (фирма National Semiconductor) детектирует сигнал с коэффициентом преобразования 40 мВ/дБ в полосе частот 450...2000 МГц;
- и) аналогично Рис. 3.77, е, но на микросхеме DA1 фирмы Analog Devices. ВЧ-трансформатор T1 наматывается на ферритовом кольце. Число витков подбирается экспериментально;
- к) выводы СВЧ-диода VD1 служат своеобразной антенной в диапазоне 2.45 ГГц. Провода, идущие от диода VD1 к общему проводу и резистору R1, должны быть свиты. Эта «скрутка» служит фильтром. Резистор R1 подбирают по максимуму сигнала. Замена диода VD1 — Д405;
- л) широкополосный детектор наличия радиосигналов в диапазоне до нескольких сотен мегагерц. Применяется двухкаскадный усилитель на транзисторах VT1, VT2 разной проводимости;
- м) индикатор атмосферных разрядов, возникающих при приближении грозы. Резистор R1 должен быть многооборотным для точной балансировки ОУ DA1 (регулирование чувствительности). Антенна WA1 содержит 7 металлических штырей длиной 70 см, соединённых «метлой»;

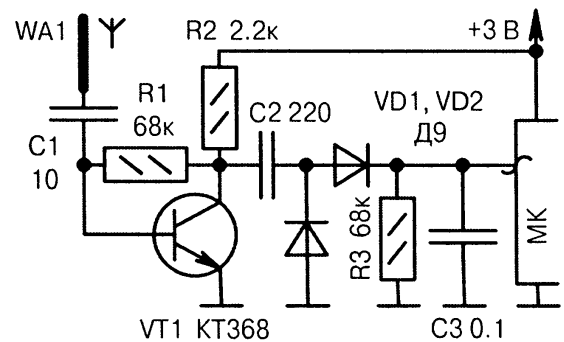




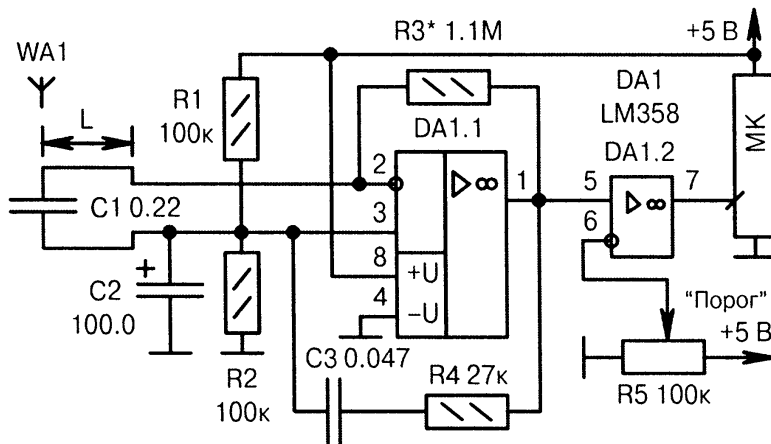
н) [3-178]



о) [3-13]



п)



р) [3-27]

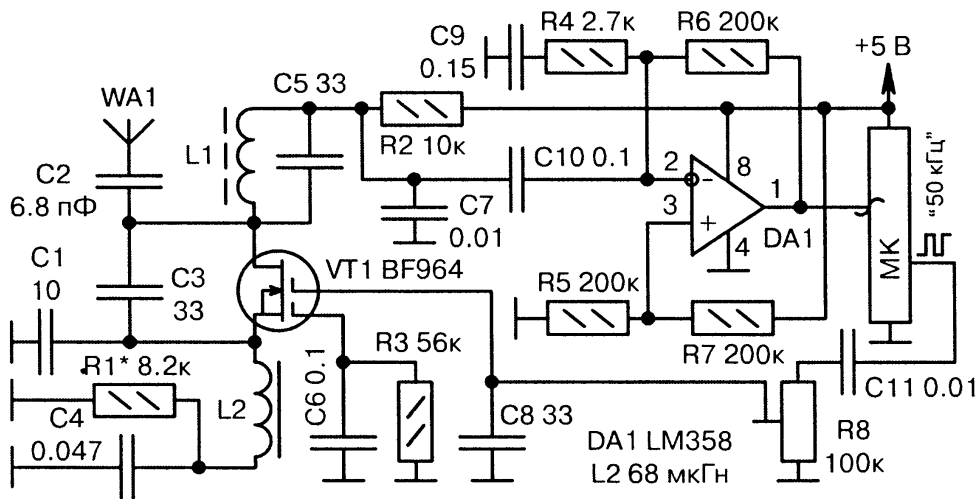
⊙ Рис. 3.77. Схемы подключения датчиков радиоизлучения к МК (продолжение):

н) искатель «радиожучков» в полосе частот 1...200 МГц на расстоянии 0.5...1 м. Резисторы  $R1...R4$  должны иметь точность  $\pm 1\%$ . Диоды следует подобрать по максимально идентичному прямому напряжению в парах  $VD1-VD3$ ,  $VD2-VD4$ ,  $VD5-VD6$  до полной симметрии схемы;

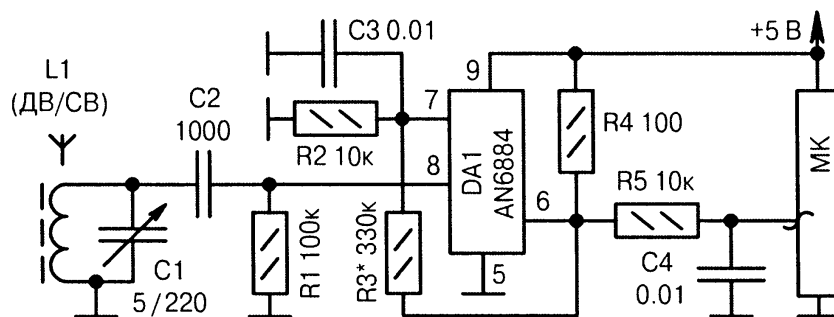
о) детектор радиочастотного поля. Шкала резистора  $R3$  градуируется в децибелах чувствительности, при этом МК работает как пороговое устройство с выходом на внешний индикатор;

п) радиосигналы с антенны  $WA1$  поступают на высокочастотный усилитель, собранный на транзисторе  $VT1$ , и далее выпрямляются детектором на германиевых диодах  $VD1$ ,  $VD2$ ;

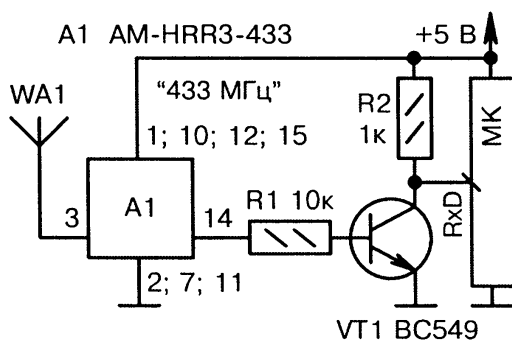
р) детектор радарных СВЧ-сигналов. Антенной служат два вывода конденсатора  $C1$  длиной  $L[\text{дюймы}] = -0.25 \cdot \log(F_{\text{X}}[\text{ГГц}]) + 0.75$ . При облучении антенны внешним радиосигналом, конденсатор  $C1$  заряжается и разбалансирует ОУ  $DA1.1$ . Резисторами  $R3$ ,  $R5$  выставляется требуемый порог обнаружения, зависящий от расстояния до радара; ⊙



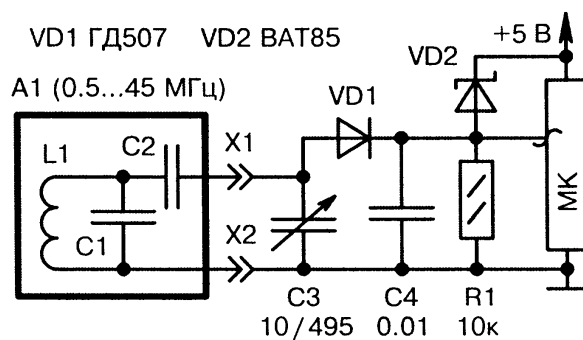
с) [3-179]



м)



у) [3-180]



ф)

● Рис. 3.77. Схемы подключения датчиков радиоизлучения к МК (окончание):

с) сверхрегенеративный КВ-приёмник на частоту 26...29 МГц, чувствительность 1 мкВ. Катушка  $L1$  — 8 витков провода ПЭВ-0.41, каркас 5...7 мм с карбонильным сердечником;

т) нестандартное применение «светодиодной» микросхемы  $DA1$  (фирма Panasonic) в качестве АМ-радиоприёмника. Диапазон частот определяется настройкой контура  $L1, C1$ ;

у) подключение приёмника цифровых сигналов  $A1$  фирмы RF Solutions. Скорость приёма данных по каналу UART составляет 50...2000 бит/с при расстоянии до передатчика 50...70 м. Ток потребления не более 2.5 мА, напряжение питания +3...+5 В. Передатчик должен быть согласован по частоте ( $433.0 \pm 0.5$ ) МГц с приёмником, например, АМ-RT4-433 фирмы RF Solutions;

ф) волномер со сменными LC-модулями  $A1$  в диапазоне 0.5...45 МГц. Шкала конденсатора  $C3$  градуируется по частоте. Модуль  $A1$  подносится к излучающему объекту и переменным конденсатором сигнал настраивается в резонанс по максимальным показаниям АЦП МК.

### 3.11.2. Датчики атмосферного давления

Человечество испокон веков стремилось предсказать погоду. Для этого использовались, в основном, народные приметы, передающиеся из поколения в поколение. Современная наука научилась прогнозировать и моделировать погодные условия с точностью до 70...80%. В этом ей помогают различные электронные приборы — термометры, барометры, гигрометры, измерители температуры точки росы, измерители скорости и направления ветра.

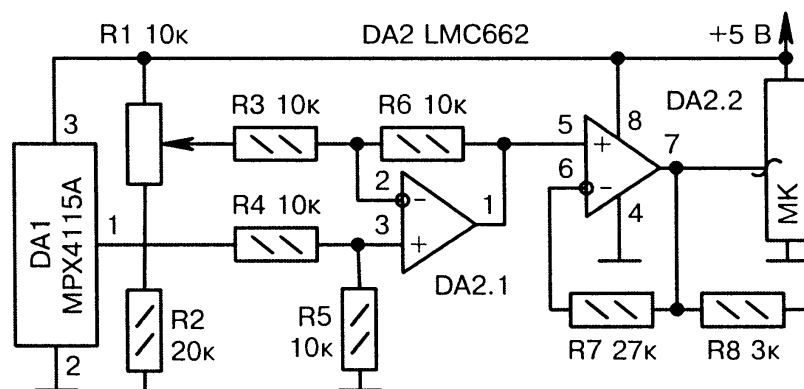
Следует отличать «прогноз погоды» от «расчёта погоды». Первая задача вполне реальна, но не гарантирует абсолютную точность. Для решения второй задачи требуется общемировая сеть погодных датчиков, установленных на всех континентах чуть ли не через каждый километр...

Промышленностью налажен выпуск портативных домашних погодных станций. Наиболее интеллектуальные из них не только украшают интерьер, но и составляют персональный прогноз погоды на ближайшие сутки в радиусе до 30 км от места пребывания.

Сердцем любой погодной станции является барометр, т.е. измеритель атмосферного давления воздуха. Электронные датчики для барометров сейчас перестали быть диковинкой. Это недорогие интегральные микросхемы с аналоговым или цифровым интерфейсом.

Типовые параметры микросхемы SCP1000 (фирма VTI Technologies): диапазон измерения давления 30...120 кПа (101 кПа = 760 мм рт. ст.), разрешающая способность 1.5...6 Па (до 10 см по высоте!), напряжение питания 2.4...3.3 В, ток потребления не более 25 мкА, габаритный диаметр корпуса 6.1 мм, интерфейс SPI или I<sup>2</sup>C (в зависимости от модификации) для связи с внешними устройствами.

На Рис. 3.78, а...г показаны схемы подключения датчиков атмосферного давления к МК.



а) [3-181]

Рис. 3.78. Схемы подключения датчиков атмосферного давления к МК (начало):

а) датчик атмосферного давления *DA1* (фирма Motorola) имеет широкий диапазон измерения 15...115 кПа. Для бытовых целей достаточно 95...110 кПа, при этом выходное напряжение на выводе 1 микросхемы *DA1* будет изменяться в пределах +4...+4.5 В. Чтобы расширить диапазон до 0...+5 В применяется схема сдвига уровня (*DA2.1*) и усилитель (*DA2.2*). Переменным резистором *R1* выставляется напряжение на среднем выводе примерно +4 В; Ⓢ

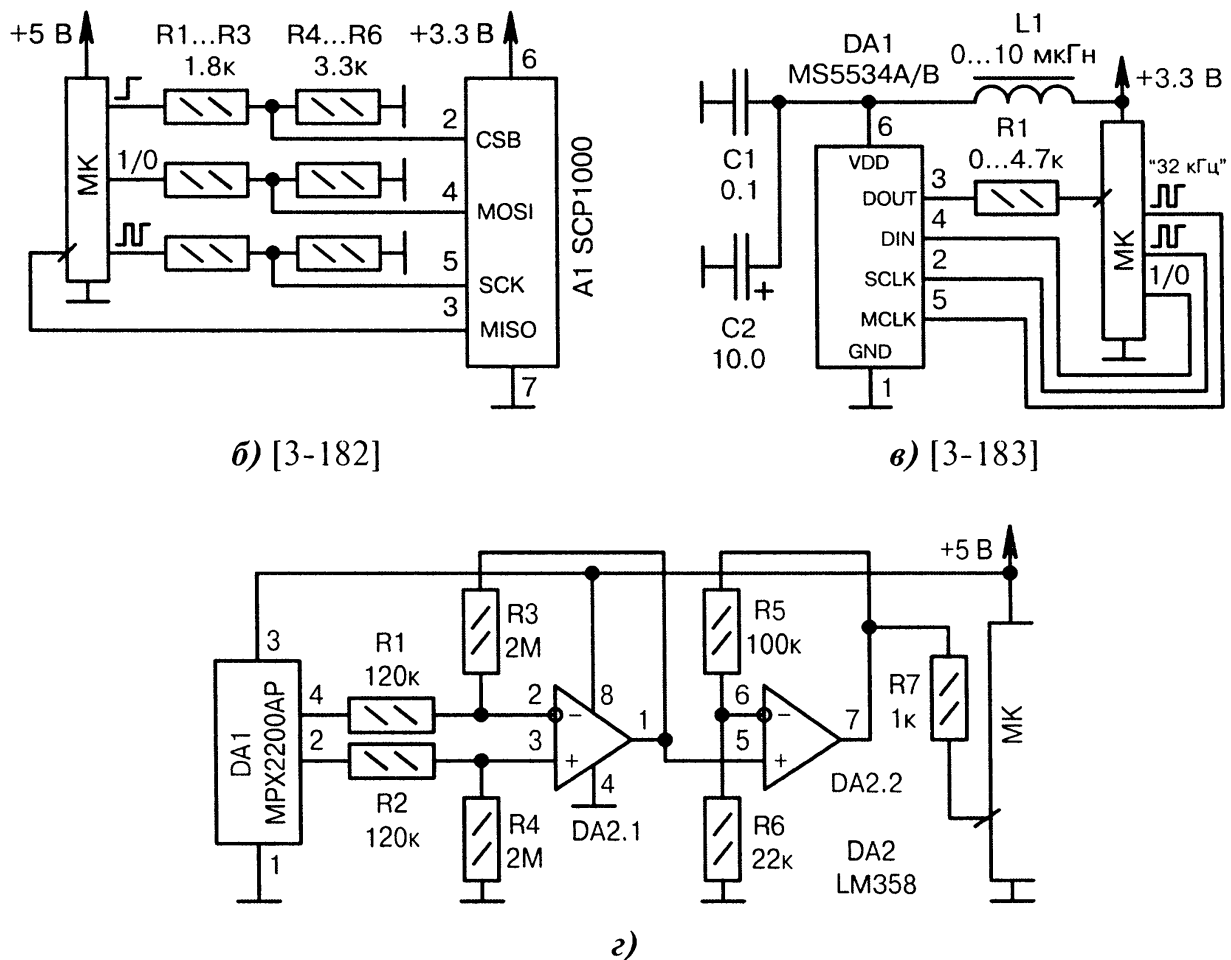


Рис. 3.78. Схемы подключения датчиков атмосферного давления к МК (окончание):

б) *A1* — это модуль фирмы SparkFun Electronics, на котором распаян комбинированный цифровой датчик SCP1000, позволяющий одновременно измерять атмосферное давление и температуру воздуха. Внутренний АЦП модуля имеет высокую разрешающую способность — 15...17 бит. Такие параметры затребованы в датчиках для альтиметров (измерителей высоты);

в) *DA1* — это цифровой датчик атмосферного давления фирмы Intersema Sensoric. Разрешающая способность внутреннего АЦП составляет 15 бит, диапазон измерения атмосферного давления — 300...1100 мбар (30...110 кПа);

г) *DA1* — это датчик атмосферного давления фирмы Freescale Semiconductor. Диапазон измеряемого давления 0...200 кПа, коэффициент преобразования 0.2 мВ/кПа. Ввиду низкого потребления тока, питание микросхем *DA1*, *DA2* может осуществляться не от цепи +5 В, а прямо с выхода линии МК (ВЫСОКИЙ уровень — «включить», НИЗКИЙ уровень — «выключить»).

### 3.11.3. Подключение нескольких разнородных датчиков

Если пофантазировать, то с точки зрения разработчика электронной аппаратуры идеальным вариантом для системы сбора данных было бы применение одного, но универсального цифрового датчика. Подал на него команду — и получил в ответ значение освещённости, температуры, напряжения, тока, мощности и т.д.

На практике большинство современных датчиков однофункциональные. Они добросовестно выполняют только одну поставленную перед ними задачу. Если требуется провести комплексное исследование характеристик объекта или ком-

пенсировать температурный уход параметров, то применяют несколько разных датчиков (Рис. 3.79, а, б).

Хорошо, если в МК имеются свободные линии портов и лишние незадействованные каналы АЦП. Но если ресурсы в системе исчерпаны, то необходимо знать стандартные приёмы подключения к одному входу МК нескольких датчиков одновременно (Рис. 3.80, а...д).

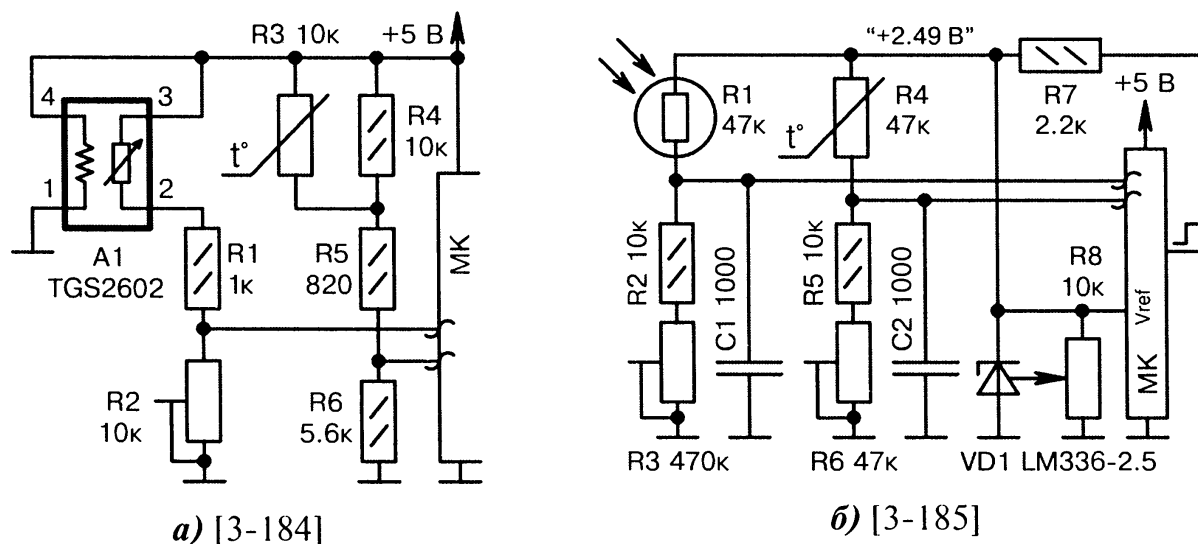


Рис. 3.79. Схемы подключения нескольких датчиков к МК:

а) совместное использование газового датчика *A1* (фирма Figaro Engineering) и температурного датчика *R3*, которые подключаются к двум разным каналам АЦП. Термистор *R3* находится вблизи датчика *A1* или непосредственно крепится на его корпусе. Информация о температуре нужна для коррекции показаний газового датчика, чтобы повысить точность. В программе МК надо учитывать время 20...60 с для начального самопрогрева датчика при протекании тока через выводы 1, 4, иначе показания будут неправильными. Аналогичная схемотехника используется для газовых датчиков TGS2611 (метан), TGS2610 (пропан), TGS822 (пары алкоголя);

б) фото- и термодатчики *R1*, *R4*, а также трёхвыводной стабилитрон *VD1* включаются в работу только при ВЫСОКОМ уровне на выходе МК (для экономии энергии). Питание обоих датчиков осуществляется стабильным напряжением +2.49 В, которое регулируется резистором *R8* и одновременно служит опорным напряжением для АЦП МК.

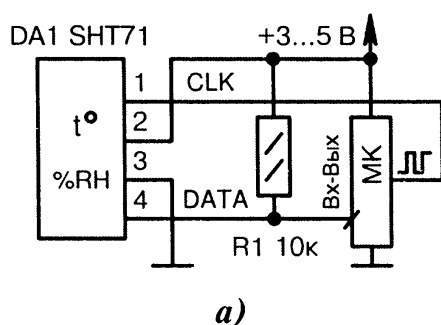


Рис. 3.80. Схемы подключения нескольких датчиков к одному входу МК (начало):

а) комбинированный датчик *DA1* (фирма Sensirion) одновременно измеряет температуру окружающей среды  $-40...+120^{\circ}\text{C}$  (точность 14 бит) и влажность 0...100% (точность 12 бит). Возможные замены *DA1* — SHT15 или SHT11 с другой цоколёвкой выводов; ☉

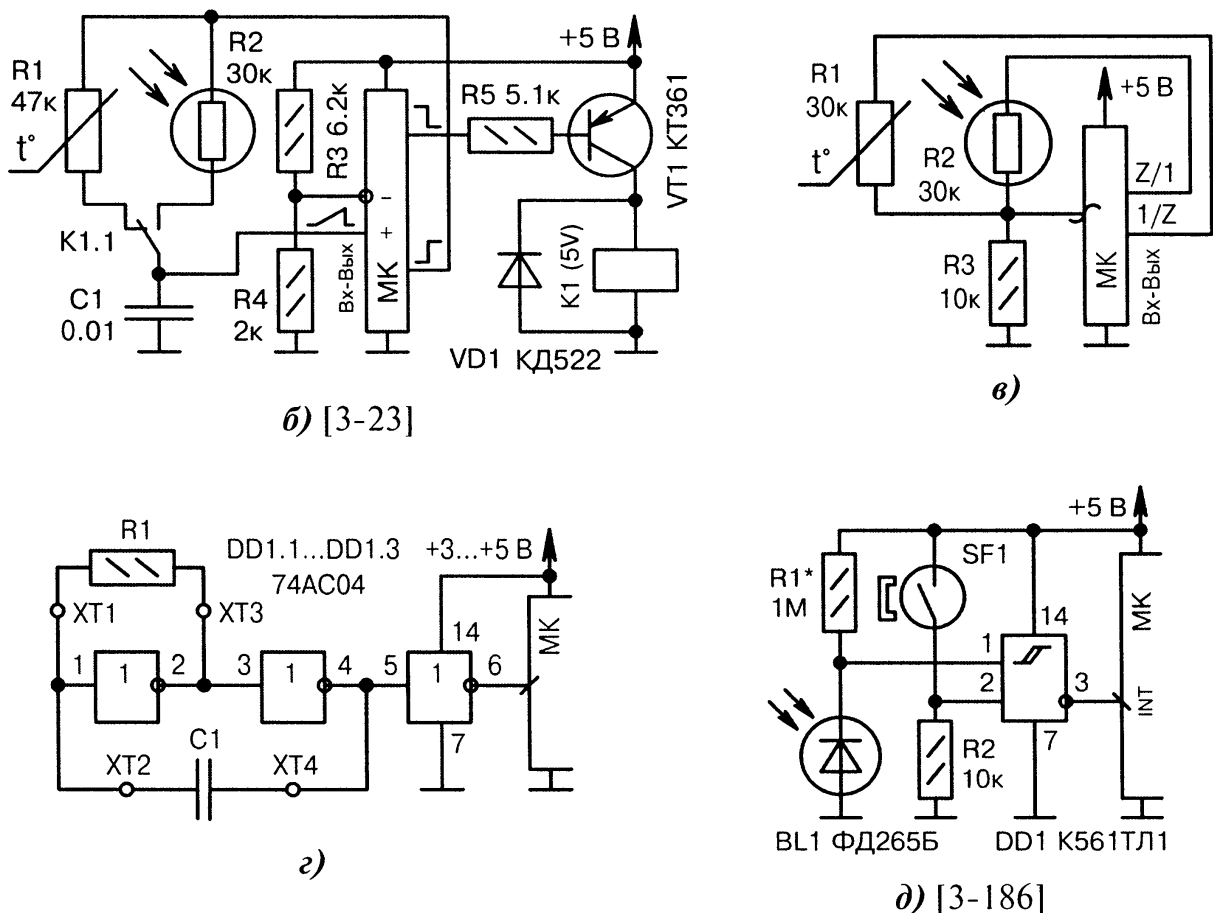


Рис. 3.80. Схемы подключения нескольких датчиков к одному входу МК (окончание):

б) съём информации с датчика температуры  $R1$  и с датчика освещённости  $R2$  проводится стандартным методом через аналоговый компаратор МК (формирование «пилы» и подсчёт времени до пересечения порога срабатывания). Реле  $K1$  по сигналу от МК переключает датчики. Контакты реле  $K1.1$  следует подключить так, чтобы при ВЫСОКОМ уровне на «верхнем» выходе МК активным был тот датчик, с которого чаще требуется снимать показания (экономится ток через реле при закрытом транзисторе  $VT1$ ). Оба датчика можно отключить НИЗКИМ уровнем, выставляемым на «нижнем» выходе МК;

в) термодатчик  $R1$  и фотодатчик  $R2$  поочерёдно подключаются к АЦП сигналами ВЫСОКОГО уровня с выходов МК. Для устранения взаимовлияния датчиков противоположный выход синхронно переводится в режим входа с большим сопротивлением (высокоимпедансное Z-состояние);

г) универсальная схема генератора, позволяющая изменять частоту выходных импульсов путём подстройки сразу двух элементов:  $R1$  и  $C1$ . Частота генератора определяется по приближённой формуле:  $F_T[\text{кГц}] = 490000 / (R_1[\text{кОм}] \cdot C_1[\text{пФ}])$ , следовательно, МК может измерить частоту импульсов  $F_T$  и дальше определить сопротивление резистивного датчика  $R1$  при известном  $C1$  или определить ёмкость датчика  $C1$  при известном  $R1$ ;

д) в светлое время суток фотодиод  $BL1$  имеет низкое сопротивление, из-за чего на выводе 1 триггера Шмитта  $DD1$  устанавливается НИЗКИЙ, а на входе МК — ВЫСОКИЙ уровень. В такой ситуации геркон  $SF1$  оказывается как бы отключённым от системы. В тёмное время суток сопротивление фотодиода  $BL1$  становится большим, на выводе 1 микросхемы  $DD1$  появляется ВЫСОКИЙ уровень, после чего МК может принимать сигналы замыкания/размыкания от геркона  $SF1$ .

### 3.12. Необычные схемы узлов ввода

На Рис. 3.81, а...у показаны необычные схемы узлов ввода сигналов в МК.

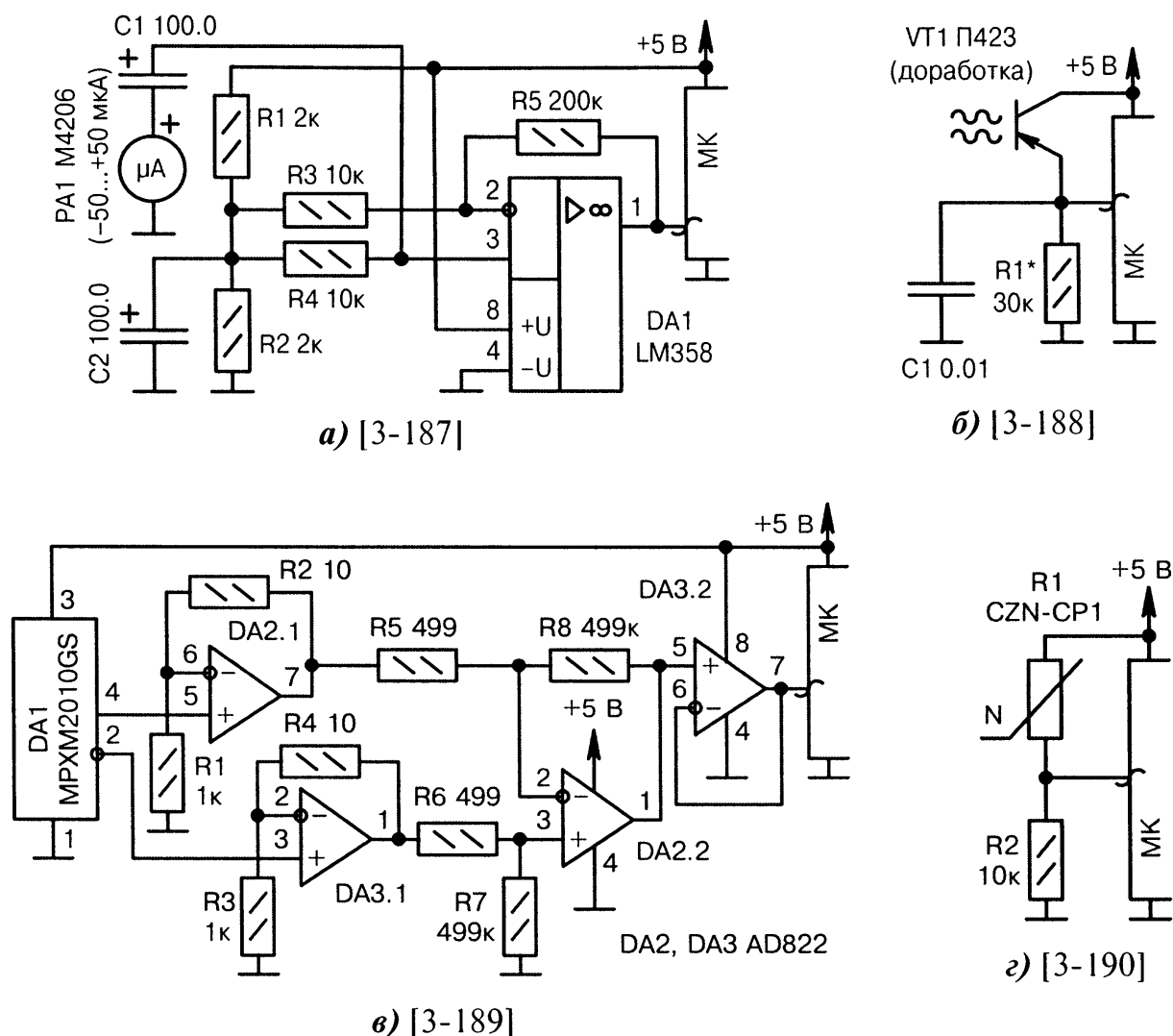


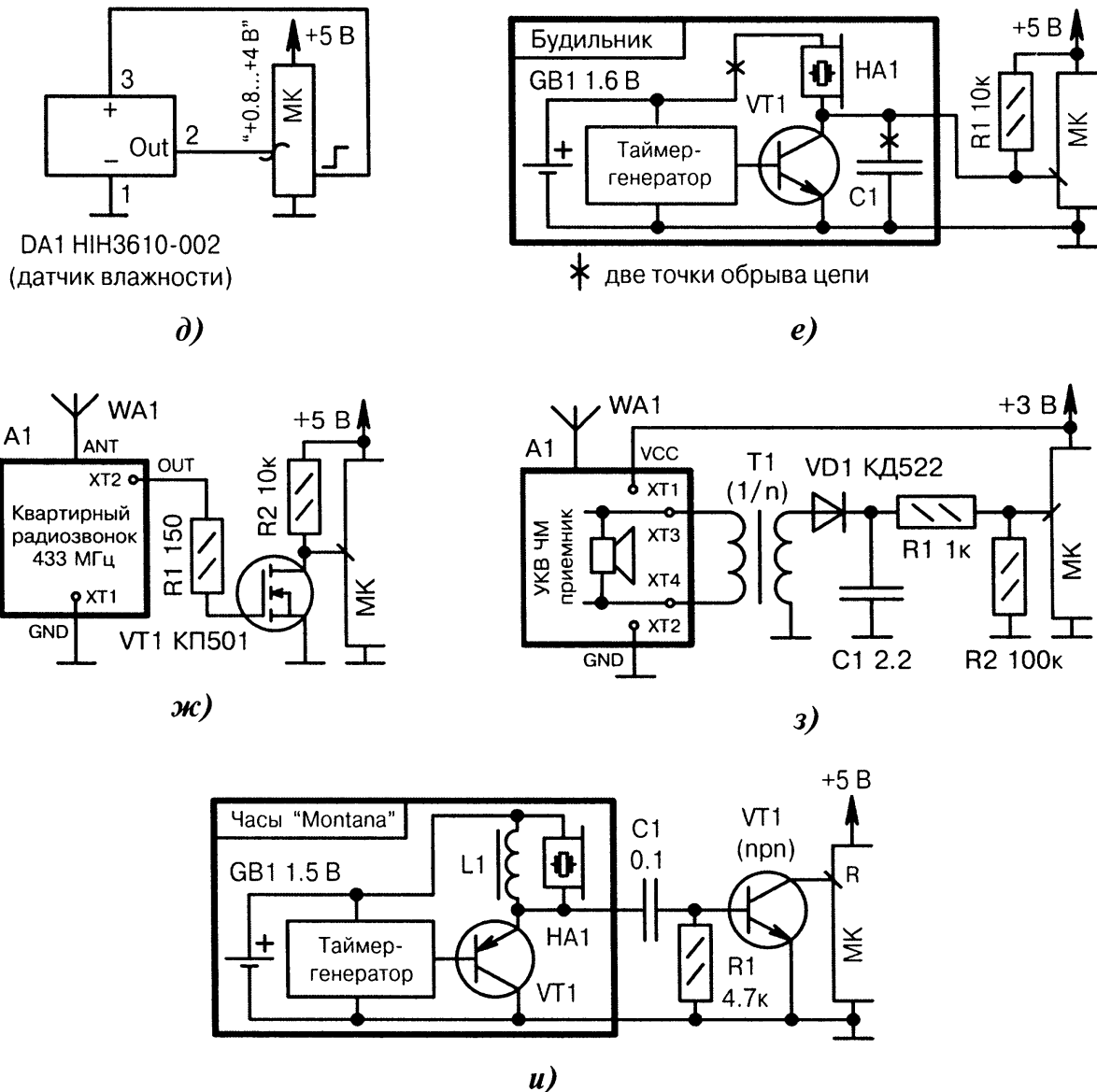
Рис. 3.81. Необычные схемы узлов ввода сигналов в МК (начало):

а) измерительная головка *PA1* (микроамперметр) является датчиком механической вибрации. Когда стрелка указателя раскачивается, то в катушке микроамперметра наводится ЭДС самоиндукции. Датчик весьма «нежный», его необходимо предохранять от резких ударов;

б) оригинальный датчик дыхания (датчик влажности воздуха). В германиевом транзисторе *VT1* спиливается крышка, чтобы открыть доступ к кристаллу полупроводника. Когда человек дышит на кристалл, то сопротивление между коллектором и эмиттером транзистора изменяется от 100...200 кОм до 10...20 кОм. В качестве замены *VT1* можно использовать МП39...МП42, П416, поскольку только у этих старинных транзисторов кристалл ещё не покрывался лаком;

в) пьезорезистивный датчик давления *DA1* (фирма Freescale Semiconductor) является «сердцем» измерителя уровня воды. Выходные сигналы датчика *DA1* противофазные. Суммирование производится двумя усилителями *DA2*, *DA3*. Диапазон измерения давления 0...10 кПа;

г) *R1* — это датчик силы (программа поставок фирмы TME). Его сопротивление составляет 10 кОм при давлении в 1 ньютон (1 Н). Чем больше сила, тем меньше сопротивление. В диапазоне 0.1...100 Н сопротивление датчика изменяется по экспоненте; ●



⊖ Рис. 3.81. Необычные схемы узлов ввода сигналов в МК (продолжение):

д) интегральный датчик влажности воздуха *DA1* (фирма Honeywell) получает питание от выходной линии МК. Коэффициент преобразования процентов влажности в постоянное напряжение на выходе датчика составляет 30 мВ/%;

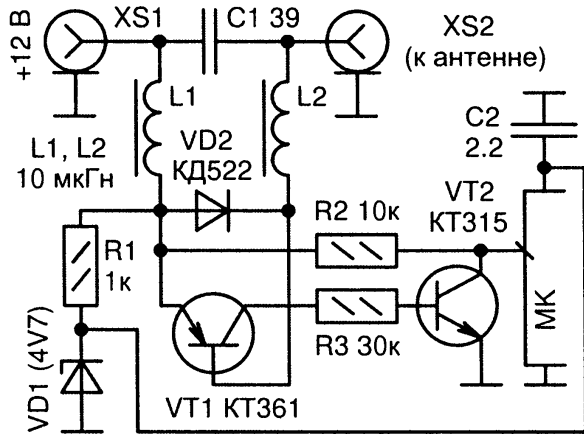
е) подключение МК к малогабаритному бытовому будильнику китайского производства. На печатной плате будильника требуется произвести доработку надрезом двух дорожек или физическим отсоединением элементов *HA1*, *C1*;

ж) *A1* — это приёмная часть промышленного квартирного радиозвонка (частота 433.925 МГц). Точка подключения *XT2* определяется экспериментально на одном из выводов микросхемы, входящей в радиозвонок. На вход МК должны поступать импульсы (или одиночный импульс) в момент нажатия кнопки брелока передающей части;

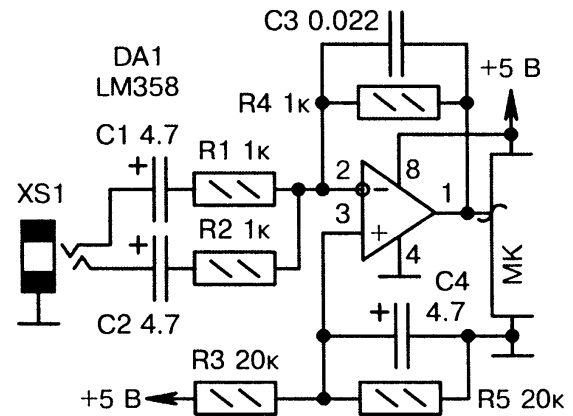
з) подключение МК к звуковому выходу УКВ ЧМ приёмника через согласующий трансформатор *T1* от радиоточки. Если приёмник настроен точно на частоту внешнего носимого радиопередатчика, то в громкоговорителе будет «тишина». При ослаблении или пропадании сигнала радиопередатчика, в громкоговорителе появляется громкий шум, который регистрирует МК;

и) подключение наручных электронных часов «Montana» к МК. Анализируются звуковые сигналы таймера. Провода из часов выводятся через отверстие в нижней крышке; ⊖

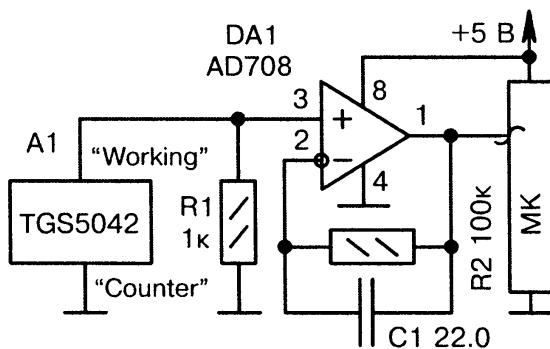




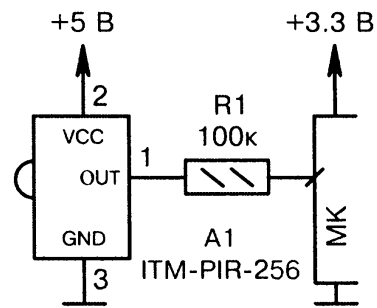
к) [3-191]



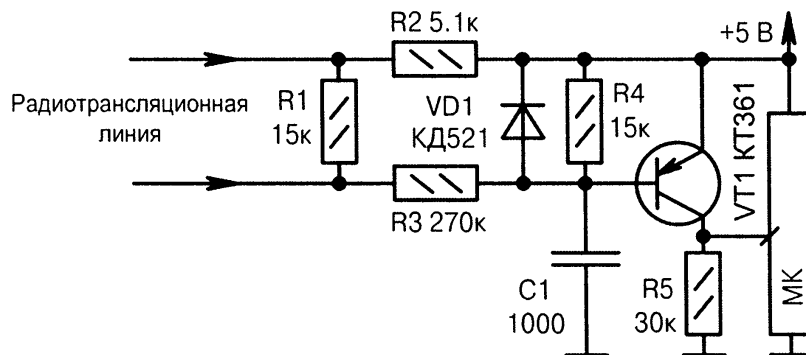
л) [3-192]



м) [3-130]



н) [3-130]



о) [3-193]

⊕ Рис. 3.81. Необычные схемы узлов ввода сигналов в МК (продолжение):

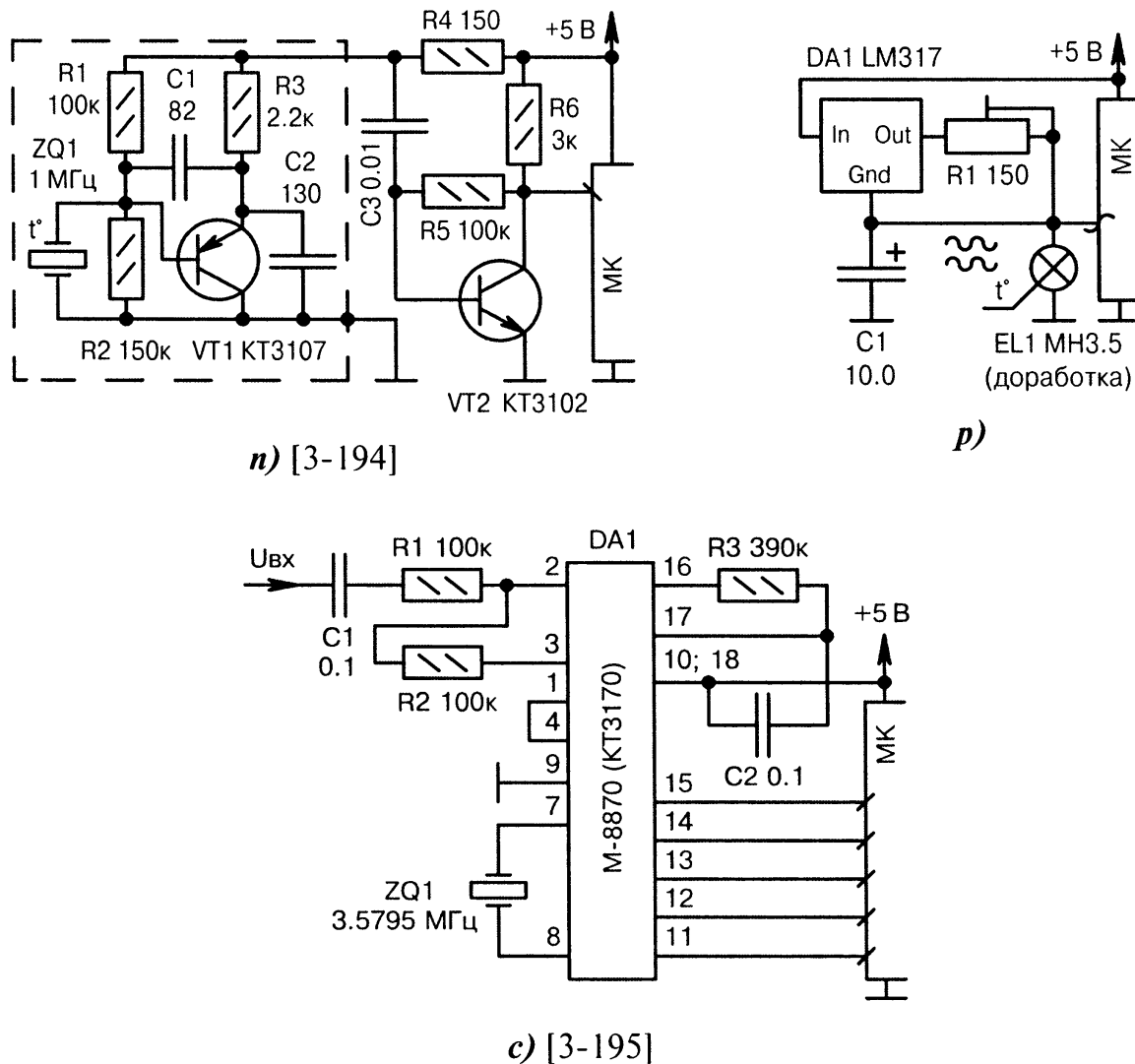
к) датчик охраны спутниковой антенны. Питание +12 В подаётся по антенному проводу вместе с основным ВЧ-сигналом;

л) суммирование сигналов левого и правого каналов звука через цепочки  $C1$ ,  $R1$  и  $C2$ ,  $R2$ . Штеккер, вставляемый в разъём  $XS1$ , должен разрывать связь между конденсаторами  $C1$  и  $C2$ ;

м)  $A1$  — это датчик газа  $CO_2$  фирмы Figaro Engineering. Выходным параметром датчика является ток, который преобразуется в напряжение через ОУ  $DA1$ ;

н)  $A1$  — это датчик присутствия фирмы Intertec Components. По принципу действия это PIR-датчик (пассивный инфракрасный детектор), применяемый в системах охраны объектов. Резистор  $R1$  согласовывает уровни сигналов, его сопротивление может быть уменьшено;

о) приём сигналов точного времени в начале каждого часа с радиотрансляционной линии. Амплитуда регистрируемых звуковых сигналов на входе составляет 9...30 В; ⊕

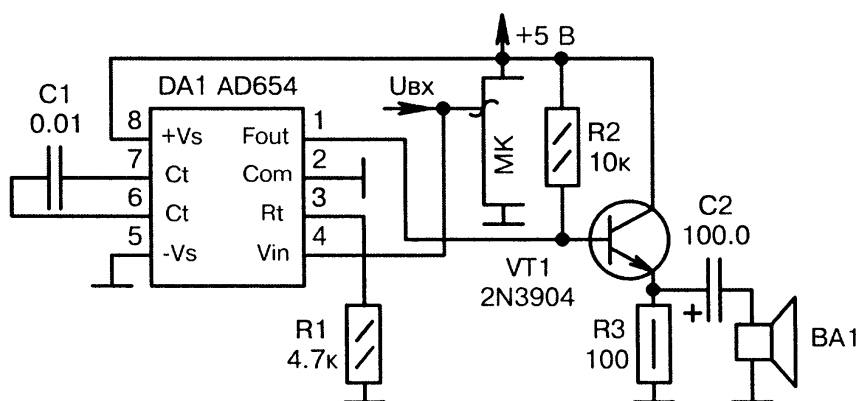


⊖ **Рис. 3.81.** Необычные схемы узлов ввода сигналов в МК (продолжение):

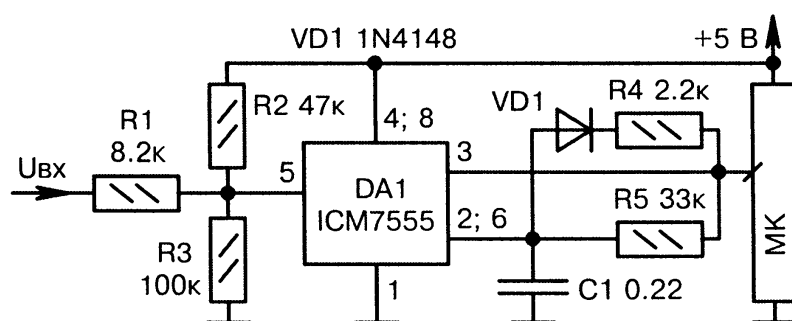
п) датчиком температуры выступает специализированный кварцевый резонатор  $ZQ1$  (TQC — Thermometric Quartz Crystal), имеющий нормированную температурную характеристику. К особенностям устройства относятся: двухпроводная схема соединения, экранирование генератора, линейное изменение частоты от температуры. Достоинство — высокая стабильность показаний за длительный промежуток времени (годы). Недостатки — более высокая стоимость, трудность единичных поставок, сложность точного измерения частоты с низкой погрешностью (нужен термостабильный эталон частоты для самого МК);

р) измеритель скорости потока воздуха. Лампа  $EL1$  дорабатывается, в ней удаляется стеклянный баллон, но оставляется нить накаливания (соблюдать осторожность, чтобы не пораниться осколками стекла!). При обдуве ламповой нити потоком воздуха, её температура снижается и одновременно уменьшается омическое сопротивление накала, что фиксирует АЦП МК. Резистором  $R1$  устанавливается постоянный ток нагрева нити лампы. Чем больше средняя скорость потока воздуха, тем больше должен быть ток;

с) выделение из входного аудиосигнала  $U_{вх}$  посылок DTMF при помощи декодера  $DA1$  фирмы Clage. Резисторы, конденсаторы и кварцевый резонатор входят в типовую схему включения  $DA1$ . Выходные сигналы считываются МК, при этом ВЫСОКИЙ уровень на выводе 15 означает факт обнаружения сигнала DTMF, а конкретный номер передаваемой шестнадцатеричной цифры «0»...«9», «А»...«F» выставляется в двоичном коде на выводах 11...14; ⊖



m) [3-196]



y) [3-197]

● **Рис. 3.81.** Необычные схемы узлов ввода сигналов в МК (окончание):

т) входной сигнал одновременно поступает на АЦП МК и на преобразователь «напряжение-частота», выполненный на микросхеме *DA1*. Разновысотный звук из динамика *BA1* позволяет на слух отслеживать изменение уровня входного сигнала;

у) таймер *DA1* включён по схеме генератора частоты, который управляется постоянным или медленно изменяющимся напряжением  $U_{вх}$  в диапазоне  $0...+5$  В. МК измеряет период следования импульсов генератора и рассчитывает входное напряжение. Такой приём обычно используется для программной синхронизации процессов в системах с обратной связью, а также при отсутствии в МК канала АЦП.

**Список использованных источников и литературы к главе 3**

- 3-1. Irwin, C. Tech Forum (#7065 — July 2006) / Charles Irwin // Nuts & Volts. — 2006. — № 9. — P. 103.
- 3-2. Hahn, R. Professionelle Schaltungstechnik. Band 4 / Reinherd Hahn, Lothar Sabrowsky. — Feldkirchen : Franzis. — 1996. — ISBN 3-7723-4005-9.
- 3-3. Bryndza, L. Mikroprocesorowy regulator temperatury PID z interfejsem MODBUS, czesc 2 / Lucjan Bryndza // Elektronika Praktyczna. — 2007. — № 11. — S. 28–30.
- 3-4. Исаев, А. Блок управления вентилятором микроволновой печи / А. Исаев // Радио. — 2005. — № 2. — С. 38–39.
- 3-5. Абрамов, С. Стабилизатор напряжения на PIC / Сергей Абрамов // Радиомир. — 2006. — № 1. — С. 14–15.
- 3-6. Armstrong, B. Power Line Frequency Monitor / Bob Armstrong // Nuts & Volts. — 2006. — № 10. — P. 42–45.
- 3-7. Stonard, P. Holiday Lights / Peter J. Stonard // Nuts & Volts. — 2007. — № 11. — P. 50–59.
- 3-8. Сбоев, Ю. Защита электродвигателя / Ю. Сбоев // Радиолюбитель. — 1997. — № 6. — С. 30.
- 3-9. Кравцов, В. Измеритель толщины немагнитного покрытия стальной поверхности [Электронный ресурс] / Виталий Кравцов. — Режим доступа: <http://kravitnik.narod.ru/other/cover.html>. — 05.07.2009.
- 3-10. Clarke, J. A charger for deep-cycle 12V batteries / John Clarke // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 1. — P. 52–61.
- 3-11. Sander, K. Oszilloskop mit OLED-Display / Klaus Sander // Funkamateurl. — 2007. — № 11. — S. 1195–1197.
- 3-12. Cicchinelli, L. Audio Spectrum Analyzer / Larry Cicchinelli // Nuts & Volts. — 2008. — № 8. — P. 44–51.
- 3-13. Professionelle Schaltungstechnik. Band 5. Uber 1300 Applikationsschaltungen fur Praxis, Labor und Studium. — Feldkirchen : Franzis. — 1997. — ISBN 3-7723-5693-1.
- 3-14. Ossmann, M. Lesegerat fur RFID-Transponder selbst gebaut (2) / Martin Ossmann // Funkamateurl. — 2007. — № 6. — S. 622–625.
- 3-15. Graubner, N. Bausatz Netzwerktester FA-NWT (2): Funktion und Details / Norbert Graubner, Gunther Borchert // Funkamateurl. — 2006. — № 11. — S. 1278–1282.
- 3-16. Схемотехника элементов защиты. Защита входов интегральных схем [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://сахара.ru/sch/protect\\_logic.html](http://сахара.ru/sch/protect_logic.html). — 05.07.2009.
- 3-17. Anderson, K. Implementing a software PLL for serious users of PICs — Part One / Keith Anderson // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 1. — P. 20–21.
- 3-18. Clarke, J. Intelligent Car Air-Conditioner Controller / John Clarke // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 10. — P. 20–30.
- 3-19. Smith, P. SMS Controller — Part 1 / Peter Smith // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 3. — P. 10–19.
- 3-20. Swain, G. 20W Class-A Amplifier — Part 3 / Greg Swain, Peter Smith // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 12. — P. 21–27.
- 3-21. Lohani, S. Digital Instrument Panel / Samir Lohani // Circuit Cellar. — 2006. — № 12. — P. 22–31.
- 3-22. AN-D11. Application Note.  $\pm 500$  Volt Protection Circuit (revision 040109) [Электронный ресурс] / Supertex Inc., 2009. — Режим доступа: [http://www.supertex.com/pdf/app\\_notes/AN-D11.pdf](http://www.supertex.com/pdf/app_notes/AN-D11.pdf) (англ.). — 05.07.2009.

- 3-23. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры. Шаг 8 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2004. — № 10. — С. 35–39.
- 3-24. Клочко, А. Цифровой спидометр + часы и термометр для автомобиля / А. Клочко // Радиомир. — 2009. — № 5. — С. 25–27.
- 3-25. Lerner, L. Inductance & Q-Factor Meter / Leonid Lerner // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 10. — P. 28–35.
- 3-26. Абрамов, С. Цифровой УМЗЧ / Сергей Абрамов // Радиомир. — 2005. — № 6. — С. 3–5.
- 3-27. Дайджест по устройствам на импортной элементной базе // Радиокомпоненты. — 2004. — № 1. — С. 9–13.
- 3-28. Кашкаров, А. Ещё раз о «пиратах» / Андрей Кашкаров // Радиомир. — 2007. — № 6. — С. 11–12.
- 3-29. Дайджест. Блокиратор межгорода // Радиоаматор. — 2001. — № 6. — С. 41.
- 3-30. Byers, T. Q & A (I'm Busy!) / TJ Byers // Nuts & Volts. — 2006. — № 3. — P. 21.
- 3-31. Csaszar, P. Message Acquisition / Peter Csaszar & Monica Flores // Circuit Cellar. — 2008. — № 6. — P. 14–18.
- 3-32. Byers, T. Q & A (Phone XMTR Key) / TJ Byers // Nuts & Volts. — 2007. — № 1. — P. 25–26.
- 3-33. Rowe, J. Phone/Fax Missed Call Allert / Jim Rowe // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 1. — P. 50–55.
- 3-34. Быков, Е. Микросхемы цифровой логики [Электронный ресурс] / Е. Быков. — Режим доступа: <http://www.chip-news.ru/archive/chipnews/200306/6.html>. — 05.07.2009.
- 3-35. Борисевич, К. Помехоустойчивость КМОП-элементов / К. Борисевич // Радиоаматор. — 2007. — № 4. — С. 32–34.
- 3-36. Петров, А. Измерения в звукотехнике / Александр Петров // Радиомир. — 2005. — № 2. — С. 32–35.
- 3-37. Рюмик, С. Электронная лоза-2 или детектор лжи / Сергей Рюмик // Радиолюбитель. — 2004. — № 4. — С. 47–49.
- 3-38. Hajduk, Z. Uniwersalny miernik: czestotliwosci, czasu, okresu na FPGA, czesc 4 / Zbigniew Hajduk // Elektronika Praktyczna. — 2008. — № 2. — S. 33–38.
- 3-39. Дайджест зарубежной периодики. Схемное решение уменьшения нелинейности усилителя напряжения с общим эмиттером на два порядка без применения ООС // Радиолюбитель. — 2003. — № 4. — С. 17.
- 3-40. Скрыпник, В. Малогабаритный частотомер / В. Скрыпник // В помощь радиолюбителю: Сборник. Вып. 84. — М. : ДОСААФ, 1983. — С. 13–22.
- 3-41. Ciszewski, M. Wielokanalowy rejestrator danych pomiarowych A/C (1) / Mariusz Ciszewski // Elektronika Praktyczna. — 2008. — № 9. — S. 58–62.
- 3-42. Sander, K. Dreikanaliger EKG-Verstärker / Klaus Sander // Funkamateur. — 2007. — № 10. — S. 1075–1077.
- 3-43. Clarke, J. A «Tiptronic-style» Gear Indicator / John Clarke // Everyday Practical Electronics. — 2006. — № 1. — P. 10–20.
- 3-44. Church, K. Digital Stompboxing / Kit Church // Circuit Cellar. — 2008. — № 11. — P. 32–43.
- 3-45. Mullins, M. Microcontroller Clock-Locking / Michael Mullins // Circuit Cellar. — 2008. — № 12. — P. 14–21.
- 3-46. Smith, P. Widgy Box Distortion Effects For Your Guitar / Peter Smith // Everyday Practical Electronics. — 2006. — № 6. — P. 30–39.

- 3-47. Clarke, J. Digital Instrument Display For Cars / John Clarke // *Everyday Practical Electronics*. — 2006. — № 6. — P. 18–25.
- 3-48. Lindley, C. Psychedelia-II. A Digital Color Organ / Craig A. Lindley // *Nuts & Volts*. — 2008. — № 1. — P. 52–58.
- 3-49. Baier, T. SoftRock RXTXv6.1: ein software-definierter QRP-Transceiver / Thomas Baier // *Funkamateuer*. — 2007. — № 6. — S. 606–612.
- 3-50. Rowe, J. USB Electrocardiograph / Jim Rowe // *Everyday Practical Electronics*. — 2007. — № 11. — P. 34–45.
- 3-51. Cobby, D. A Fuel Cut Defeater For Cars With Variable Boost Control / Denis Cobby // *Everyday Practical Electronics*. — 2008. — № 11. — P. 46–47.
- 3-52. Papp, R. Sound Effects Processing / Robert Papp // *Circuit Cellar*. — 2008. — № 7. — P. 69–73.
- 3-53. Byers, T. Q & A (Power Supply Ripple Meter) / TJ Byers // *Nuts & Volts*. — 2007. — № 1. — P. 22.
- 3-54. Clarke, J. A Low-Cost 50 MHz Frequency Meter / John Clarke // *Everyday Practical Electronics*. — 2006. — № 9. — P. 10–19.
- 3-55. Таранов, Н. Индикаторы постоянного тока и их применение / Н. Таранов // *Радио*. — 2005. — № 4. — С. 53–55.
- 3-56. Шатун, А. Любительская радиостанция «FM-2003» на 144–146 МГц / Александр Шатун // *Радиолюбби*. — 2003. — № 4. — С. 35–39.
- 3-57. Тарасов, А. Синтезатор частот для КВ-трансивера с использованием ИМС «прямого» синтеза / Александр Тарасов // *Радиолюбби*. — 2003. — № 6. — С. 26–32.
- 3-58. Botner, J. Use the Pushbutton Rotary Encoder / Jack Botner // *Nuts & Volts*. — 2008. — № 8. — P. 52–55.
- 3-59. Kremin, V. Pulse Sensing Optical Mouse / Victor Kremin, Serhiy Matvienko // *Circuit Cellar*. — 2006. — № 9. — P. 12–17.
- 3-60. Barnard, C. Climat Controller / Colin Barnard // *Nuts & Volts*. — 2006. — № 10. — P. 52–58.
- 3-61. Sander, K. Locator-Ermittlung und Entfernungsberechnung ohne PC / Klaus Sander // *Funkamateuer*. — 2007. — № 6. — S. 629–631.
- 3-62. Ward, P. Programmable Voltage Source / Paul Ward // *Circuit Cellar*. — 2007. — № 12. — P. 46–54.
- 3-63. Ринский, В. Индикаторы магнитных полей / В. Ринский // В помощь радиолюбителю: Сборник. Вып. 91. — М.: ДОСААФ, 1985. — С. 3–10.
- 3-64. Опрос герконов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://сахара.ru/sch/io.html#gercon>. — 05.07.2009.
- 3-65. Byers, T. Q & A (Follow the debouncing ball) / TJ Byers // *Nuts & Volts*. — 2006. — № 9. — P. 20–21.
- 3-66. Nisley, E. Resistance Soldering / Ed Nisley // *Circuit Cellar*. — 2008. — № 6. — P. 30–35.
- 3-67. Irwin, C. Household Thermostat and Heating/Cooling Control / Chuck Irwin // *Nuts & Volts*. — 2008. — № 4. — P. 44–49.
- 3-68. Cossio, C. Internet Password Manager / Carlos Cossio // *Circuit Cellar*. — 2007. — № 7. — P. 22–32.
- 3-69. Becker, J. RS232 serial communication, basic of Timer 1, plus introduction to ADC / John Becker // *Everyday Practical Electronics*. — 2008. — № 6. — P. 48–52.
- 3-70. Долгий, А. Аналоговое управление в микроконтроллерном устройстве / Александр Долгий // *Радио*. — 2005. — № 4. — С. 33.

- 3-71. Боровский, В. П. Справочник по схемотехнике для радиолюбителя / В. П. Боровский, В. И. Костенко, В. М. Михайленко, О. Н. Партала; под ред. В. П. Боровского. — К. : Техніка, 1987. — Гл. 9. — С. 209.
- 3-72. Puskas, I. Автомобильный стетоскоп / I. Puskas; перевод В. Стасюка // Радиомир. — 2004. — № 5. — С. 24–26.
- 3-73. Clarke, J. MIDI Drum Kit / John Clarke // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 12. — P. 12–23.
- 3-74. Кузев, Г. Сенсорные коммутаторы / Г. Кузев; перевод А. Бельского // Радиомир. — 2004. — № 9. — С. 24–25.
- 3-75. Турчинский, Д. Музыкальная шкатулка с сенсорным управлением / Д. Турчинский // Радио. — 2005. — № 1. — С. 52–53.
- 3-76. Hegter, C. Adjustable Touch Switch. — Light Fingered / Chris Hegter // Everyday Practical Electronics. — 2006. — № 8. — P. 40.
- 3-77. Дайджест зарубежной периодики. Ёмкостный датчик приближения // Радиолюбитель. — 2002. — № 6. — С. 20.
- 3-78. Соломыков, В. Фотосигнализатор / В. Соломыков // Радиомир. — 2003. — № 4. — С. 21.
- 3-79. Grand, J. Making the DEFCON 15 Badge / Joe Grand // Nuts & Volts. — 2008. — № 7. — P. 52–59.
- 3-80. Кашкаров, А. Датчик присутствия / Андрей Кашкаров // Радиомир. — 2003. — № 9. — С. 40.
- 3-81. Рудаков, А. Датчик уровня топлива на AVR-микроконтроллере / Александр Рудаков, Михал Рудаков // Схемотехника. — 2007. — № 1. — С. 44–45.
- 3-82. Tsukashima, R. Touch-N-Talk Learning Toy / Ross Tsukashima, Ha Le Cao // Circuit Cellar. — 2006. — № 6. — P. 26–30.
- 3-83. Vachiochi, J. Digital Touch / Jeff Vachiochi // Circuit Cellar. — 2008. — № 4. — P. 73–78.
- 3-84. Flipse, M. Using the Microchip PICkit-2 Debug Express to build a Capacitive Switch / Marcel Flipse // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 12. — P. 38–40.
- 3-85. Фигурнов, Е. Бесконтактный сигнализатор напряжения в каске / Е. Фигурнов, Н. Азаров, А. Бочев, С. Голутвин // В помощь радиолюбителю: Сборник. Вып. 77. — М.: ДОСААФ, 1982. — С. 14–20.
- 3-86. Шеститко, А. Ultra extra mouse / А. Шеститко, Л. Левандовский // Радиолюбитель (Радиомир). — 2001. — № 4. — С. 35.
- 3-87. Шелестов, И. П. Радиолюбителям: полезные схемы. Книга 5 / Игорь Шелестов. — М. : СОЛОН-Пресс, 2003. — 240 с. — ISBN 5-98003-087-5.
- 3-88. Кашкаров, А. Охрана входной двери / Андрей Кашкаров // Радиомир. — 2003. — № 4. — С. 38.
- 3-89. Кашкаров, А. Бесконтактный датчик присутствия / Андрей Кашкаров // Радиомир. — 2003. — № 5. — С. 38–39.
- 3-90. Vilela, J. Data Acquisition for Mobile Applications / Jean Paul Talledo Vilela // Circuit Cellar. — 2006. — № 4. — P. 24–33.
- 3-91. Grygorenko, V. Digital Compassing / Vadym Grygorenko // Circuit Cellar. — 2006. — № 3. — P. 40–46.
- 3-92. Кизлюк, А. И. Справочник по устройству и ремонту телефонных аппаратов / Анатолий Кизлюк. — М. : АНТЕЛКОМ, 1999. — 207 с.
- 3-93. Филатов, К. Измерение электроакустических характеристик громкоговорителей / К. Филатов // Радио. — 2005. — № 6. — С. 16–19.

- 3-94. Пугачёв, И. Микрофоны МКЭ-100 и МКЭ-271 / И. Пугачёв // Радиомир. — 2005. — № 4. — С. 7–9.
- 3-95. Коркин, М. Сигнализация с акустическим датчиком / М. Коркин // Радиоконструктор. — 2007. — № 1. — С. 40–41.
- 3-96. Byers, T. Interface Your iPod / TJ Byers // Nuts & Volts. — 2007. — № 1. — P. 54–56.
- 3-97. Lindley, C. Psychedelia-II. A Digital Color Organ / Craig A. Lindley // Nuts & Volts. — 2008. — № 1. — P. 52–58.
- 3-98. Becker, J. PIC Speech Synthesiser / John Becker // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 12. — P. 36–42.
- 3-99. Мирющенко, А. Подключение компьютерной гарнитуры / Алексей Мирющенко // Радио. — 2005. — № 3. — С. 71.
- 3-100. Колдунов, А. Усилители для динамического микрофона / А. Колдунов // Радиомир. — 2006. — № 1. — С. 10.
- 3-101. Кривецкий, А. Переговорное устройство / Андрей Кривецкий // Схемотехника. — 2007. — № 1. — С. 39–42.
- 3-102. Лемке, В. Радиоловительские фотоэлектронные устройства / В. Лемке // В помощь радиолюбителю: Сборник. Вып. 91. — М. : ДОСААФ, 1985. — С. 54–63.
- 3-103. Wolgajew, R. iDom System automatyki domowej AVT-5126 / Robert Wolgajew // Elektronika Praktyczna. — 2008. — № 3. — S. 29–33.
- 3-104. Jackson, T. Serial I/O controller & analogue sampler / Trent Jackson // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 1. — P. 12–21.
- 3-105. Компаненко, Л. Автомат — коммутатор нагрузки на оптоэлектронном реле / Л. Компаненко // Радио. — 2005. — № 4. — С. 27–28.
- 3-106. Бутов, А. Л. Генерирующий оптрон на мигающем светодиоде / Андрей Бутов // Радиоаматор. — 2004. — № 2. — С. 26.
- 3-107. Абрамов, С. Автоматический рукомойник / Сергей Абрамов // Радиомир. — 2004. — № 7. — С. 16.
- 3-108. Borysiuk, A. Slave Flash Trigger / Aleksander Borysiuk // Circuit Cellar. — 2007. — № 6. — P. 38–45.
- 3-109. Byers, T. Q & A (UV-C Monitor) / TJ Byers // Nuts & Volts. — 2006. — № 1. — P. 12–13.
- 3-110. Sander, K. Optimales Licht für Pflanzen / Klaus Sander // Funkamateur. — 2007. — № 9. — S. 959–961.
- 3-111. Collum, P. Radiation Detection / Pete McCollum // Circuit Cellar. — 2006. — № 11. — P. 14–23.
- 3-112. Davis, H. Bass Pedal Upgrade / Hovard Davis // Circuit Cellar. — 2006. — № 6. — P. 32–37.
- 3-113. General Photoelectric Applications Circuits Appnote 36 [Электронный ресурс] / Siemens, 1998. — Режим доступа: <http://measure.feld.cvut.cz/groups/edu/bm/app36.pdf> (англ.). — 05.07.2009.
- 3-114. Рюмик, С. Особенности схемотехники восьмибитных видеоприставок / Сергей Рюмик // Радио. — 1997. — № 10. — С. 27–30.
- 3-115. Молчанов, А. Индикатор инфракрасного излучения / А. Молчанов // Радио. — 2003. — № 10. — С. 57.
- 3-116. Каравкин, В. Схема управления сигнализацией / В. Каравкин // Радиоконструктор. — 2006. — № 6. — С. 33.
- 3-117. Рюмик, С. Микроконтроллерное управление звуком-2 / Сергей Рюмик // Радио-хобби. — 2006. — № 1. — С. 44–47.



- 3-118. Филипович, А. ПДУ — выключатель света / А. Филипович // Радиомир. — 2003. — № 9. — С. 16–17.
- 3-119. Nuhrmann, D. Professionelle Schaltungstechnik. Band 1 / Dieter Nuhrmann. — Feldkirchen: Franzis. — 1996. — ISBN 3-7723-4002-4.
- 3-120. Пахоменков, Ю. Преобразователь сигналов частотных датчиков / Юрий Пахоменков // Схемотехника. — 2007. — № 1. — С. 17–19.
- 3-121. Hirschmann, G. Part 2 — Plastic Fiber, Light-Link Optocouplers are Faster. Application Example Appnote 40 / Gunther Hirschmann. — Siemens, 1998. — P. 11-126–11-128.
- 3-122. Dobeson, D. Seismograph / Dave Dobeson // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 10. — P. 62–71.
- 3-123. Тональный декодер LM567 // Радиоконструктор. — 2006. — № 6. — С. 9.
- 3-124. Hareendran, T. Infrared Proximity Switch / T. K. Hareendran // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 2. — P. 52.
- 3-125. Garcia, F. Build a High-Power LED Strobe / Fernando Garcia // Nuts & Volts. — 2008. — № 1. — P. 32–37.
- 3-126. Lick, V. Advanced System for Vehicle Back Up / Victor Lick // Circuit Cellar. — 2006. — № 1. — P. 62–69.
- 3-127. Monat, L. Intelligent Video Switcher [Электронный ресурс] / Luhan Monat. — Режим доступа: <http://mondo-technology.com/vax.html>. — 05.07.2009.
- 3-128. Рюмик, С. Автоматический тир из «DENDY»-пистолета / Сергей Рюмик // Радио. — 1998. — № 4. — С. 43–45.
- 3-129. Altenburg, J. Image Processing for Robots / Jens Altenburg // Circuit Cellar. — 2006. — № 5. — P. 28–32.
- 3-130. Bitti, A. The Witness Camera / Alberto Ricci Bitti // Circuit Cellar. — 2007. — № 5. — P. 48–56.
- 3-131. Дайджест зарубежной периодики. Бесконтактный мониторинг сетевого напряжения // Радиолюбби. — 2002. — № 1. — С. 22.
- 3-132. Партин, А. Двухпороговый сигнализатор оборотов / Алексей Партин // Радиомир. — 2004. — № 10. — С. 26–28.
- 3-133. Scarborough, T. Electrosmog Sniffer / Thomas Scarborough // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 2. — P. 10–14.
- 3-134. Сыч, С. Компрессор-сустейнер для бас-гитары / С. Сыч // Радиомир. — 2004. — № 5. — С. 8.
- 3-135. Becker, J. Electric Mobility Buggy Monitor / John Becker // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 5. — P. 42–47.
- 3-136. Miller, W. TechForum (#10082, October 2008) / Wesley K. Miller // Nuts & Volts. — 2008. — № 12. — P. 95.
- 3-137. AN512. Implementing Ohmmeter/Temperature Sensor (revision DS00512E) [Электронный ресурс] / Microchip Technology Inc., 1999. — Режим доступа: <http://www1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00512e.pdf> (англ.). — 05.07.2009.
- 3-138. Кузнецов, А. Интересные приёмы практического использования микроконтроллеров PIC12F6xx фирмы Microchip / А. Кузнецов // CHIP NEWS Украина. — 2003. — № 4. — С. 52–56 ; № 5. — С. 63–68.
- 3-139. Ihara, K. Build a Reflow Oven Controller / Ko Ihara, Kashif Javed // Circuit Cellar. — 2007. — № 2. — P. 46–53.
- 3-140. Millier, B. Temperature Calibration System / Brian Millier // Circuit Cellar. — 2007. — № 5. — P. 32–39.

- 3-141. Byers, T. Q & A (All-Purpose Thermostat) / TJ Byers // Nuts & Volts. — 2006. — № 1. — P. 14.
- 3-142. Barlow, K. Microprocessor Controlled Wood Stove / Kerry Barlow // Nuts & Volts. — 2008. — № 11. — P. 36–41.
- 3-143. Тушнов, В. Термостабилизатор с широким интервалом / В. Тушнов // Радио. — 2002. — № 2. — С. 31–32.
- 3-144. Becker, J. PIC Ambilux / John Becker // Everyday Practical Electronics. — 2006. — № 1. — P. 40–45.
- 3-145. Kekesi, I. Измеритель температуры — приставка к вольтметру / I. Kekesi; перевод А. Бельского // Радиомир. — 2004. — № 2. — С. 34–35.
- 3-146. Крошко, Д. Л. Электроблок для подвесного лодочного мотора / Д. Л. Крошко // Радиоаматор. — 2001. — № 7. — С. 21.
- 3-147. Byers, T. Q & A (The Chill Chaser) / TJ Byers // Nuts & Volts. — 2006. — № 12. — P. 21–23.
- 3-148. Ридико, Л. Управляем кулером (термоконтроль вентиляторов на практике) [Электронный ресурс] / Леонид Ридико. — Режим доступа: <http://www.ixbt.com/cpu/fan-thermal-control.shtml>. — 05.07.2009.
- 3-149. Нечаев, И. Простой многоточечный термометр / И. Нечаев // Радио. — 2003. — № 7. — С. 35.
- 3-150. Becker, J. Electric Mobility Buggy Monitor / Jon Becker // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 5. — P. 42–47.
- 3-151. Jackson, T. Serial I/O controller & analogue sampler / Trent Jackson // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 1. — P. 12–21.
- 3-152. Fox, T. Make the Smart Room Air Conditioner Controller / Tom Fox // Nuts & Volts. — 2008. — № 10. — P. 42–49.
- 3-153. Irwin, C. Household Thermostat and Heating/Cooling Control / Chuck Irwin // Nuts & Volts. — 2008. — № 4. — P. 44–49.
- 3-154. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры. Шаг 9 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2004. — № 11. — С. 35–39.
- 3-155. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры PIC. Действие 7 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2006. — № 8. — С. 38–43.
- 3-156. Шабронов, А. А. Восстановитель импульсных сигналов [Электронный ресурс] / Андрей Шабронов. — Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6645.html>. — 05.07.2009.
- 3-157. Белоусов, О. Индикатор тока / Олег Белоусов // Радиомир. — 2001. — № 9. — С. 33.
- 3-158. Lapsansky, P. Remotely Programmable Power / Paul Lapsansky // Nuts & Volts. — 2008. — № 7. — P. 39–43.
- 3-159. Ahmed, R. Electronic Bicycle Design / Roxanne Ahmed, Michael Buchanan, Andrew Clarke, Chris Elder, Warren Shrieves // Circuit Cellar. — 2007. — № 8. — P. 24–38.
- 3-160. Becker, J. Mains Monitor / Jon Becker // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 8. — P. 35–43.
- 3-161. Vaclavik, R. HiBox — digitaler Spannungs-, Strom- und Leistungsmesser / Radek Vaclavik // Funkamateer. — 2006. — № 5. — S. 534–537.
- 3-162. Рысин, В. С. Датчики положения с магниточувствительным элементом на основе эффекта Холла / В. С. Рысин, В. И. Филь // Радикомпоненты. — 2004. — № 4. — С. 44.

- 3-163. Дайджест зарубежной периодики. Анемометр Г.Самбланката // Радиолюбби. — 2004. — № 3. — С. 19.
- 3-164. Старунский, В. Преобразовательное тахометрическое устройство / В. Старунский, К. М. Ципцюра // Радиоаматор. — 2004. — № 5. — С. 24–25.
- 3-165. Kincaid, R. Tech Forum (#5063 — May 2006) / Russell Kincaid // Nuts & Volts. — 2006. — № 6. — P. 103.
- 3-166. Sander, K. Anschlagloser Drehwinkelsensor mit Fernubertragung / Klaus Sander // Funkamateurr. — 2006. — № 9. — S. 1034–1036.
- 3-167. Егиазарян, Г. А. Магнитодиоды, магниторезисторы и их применение / Герберт Егиазарян, Виталий Стафеев. — М. : Радио и связь, 1987. — С. 88.
- 3-168. Caruana, J. Modular Wireless Tracking System / John Caruana, Doug Irvine, Matthew Quenet, Chris Cheng // Circuit Cellar. — 2007. — № 2. — P. 14–22.
- 3-169. Kincaid, R. Q & A (Digital Compass) / Russell Kincaid // Nuts & Volts. — 2008. — № 2. — P. 24–26.
- 3-170. Kaniewski, P. Kompas elektroniczny AVT-986 / Piotr Kaniewski, Jakub Kazubek, Piotr Komur // Elektronika Praktyczna. — 2007. — № 6. — S. 17–22.
- 3-171. Самелюк, В. Улучшение приёмника прямого усиления / В. Самелюк // Радиосхема. — 2006. — № 2. — С. 25.
- 3-172. Воронцов, А. Простые радиоприёмники на микросхеме МК484 / А. Воронцов // Радио. — 2005. — № 6. — С. 57–59.
- 3-173. Hall, F. Solar Radio / Francis Hall // Everyday Practical Electronics. — 2006. — № 9. — P. 34.
- 3-174. Bachiochi, J. Portable Lightning Detector / Jeff Bachiochi // Circuit Cellar. — 2006. — № 12. — P. 74–78.
- 3-175. Виноградов, Ю. Детектор излучения сотового телефона / Юрий Виноградов // Радио. — 2004. — № 2. — С. 43.
- 3-176. Концевич, А. Индикатор излучения СВЧ-печи / А. Концевич // Радио. — 2003. — № 3. — С. 43.
- 3-177. Scarborough, T. Atmospheric Charge Monitor / Thomas Scarborough // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 8. — P. 70–71.
- 3-178. Сосновський, В. М. Пристрій для виявлення «жучків» / В. М. Сосновський // Радиоаматор. — 2001. — № 8. — С. 49.
- 3-179. Днищенко, В. Принципы сверхрегенеративного приёма / В. Днищенко // Радиомир. — 2003. — № 5. — С. 3–4.
- 3-180. Becker, J. Standby Power Saver / John Becker // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 10. — P. 52–58.
- 3-181. Byers, T. Q & A (Expanded Scale) / TJ Byers // Nuts & Volts. — 2006. — № 8. — P. 27.
- 3-182. Simpson, M. Double Future: Two Barometric Pressure Systems in One / Michael Simpson // Nuts & Volts. — 2007. — № 7. — P. 40–46.
- 3-183. Black, T. The Monarch Butterfly / Thomas Black // Circuit Cellar. — 2007. — № 10. — P. 26–34.
- 3-184. Sander, K. Ermittlung der Luftqualitat / Klaus Sander // Funkamateurr. — 2007. — № 8. — S. 860–862.
- 3-185. Clarke, J. Universal High-Energy LED lighting System / John Clarke // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 6. — P. 10–18.
- 3-186. Евсеев, А. Автомат включения освещения ворот / А. Евсеев // Радиомир. — 2009. — № 4. — С. 18–19.

- 3-187. Коверга, Ю. Охранное устройство для автомобилей / Ю. Коверга // В помощь радиолюбителю: Сборник. Вып. 108. — М. : Патриот, 1990. — С. 9–18.
- 3-188. Колдунов, А. Пациент скорее жив... / А. Колдунов // Радиолюбитель (Радиомир). — 2001. — № 4. — С. 34.
- 3-189. Smith, C. Multifunctional Wireless Alarm / Carl Smith // Circuit Cellar. — 2006. — № 9. — P. 30–37.
- 3-190. Wiazania, M. Miernik sily nacisku AVT-5132 / Marcin Wiazania // Elektronika Praktyczna. — 2008. — № 5. — S. 19–22.
- 3-191. Высоцкий, Г. Электронный «сторож» для спутниковой антенны [Электронный ресурс] / Г. Высоцкий, С. Прозоров // Теле-Спутник. — 1998. — № 4 (30). — Режим доступа: <http://www.telesputnik.ru/archive/30/article/72.html>. — 05.07.2009.
- 3-192. Lindley, C. Psychedelia-II. A Digital Color Organ / Craig A. Lindley // Nuts & Volts. — 2008. — № 1. — P. 52–58.
- 3-193. Каширских, Д. По сигналам точного времени / Д. Каширских // Моделист-конструктор. — 1998. — № 3. — С. 16–18.
- 3-194. Солодовник, В. Стабильный терморегулятор / В. Солодовник, М. Чебан // Радио. — 2002. — № 2. — С. 33.
- 3-195. Asuroglu, B. PIC Uygulamalari-7 [Электронный ресурс] / Barbaros Asuroglu. — Режим доступа: <http://www.antrak.org.tr/~ta2cba>. — 05.07.2009.
- 3-196. Millier, B. Low-Cost Gas Leak Detector / Brian Millier // Circuit Cellar. — 2006. — № 11. — P. 44–51.
- 3-197. Clarke, J. V8 Doorbell / John Clarke // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 10. — P. 12–20.

## ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УЗЛОВ УПРАВЛЕНИЯ МК

*Уметь управлять — значит уметь выбирать  
(Ф. Панантти)*

### 4.1. Формирователи сигнала начального сброса

Начальный сброс требуется любому МК. Организуется он через выходы  $\overline{RES}$  (активный НИЗКИЙ уровень) или RST (активный ВЫСОКИЙ уровень). В идеализированном МК используется сигнал  $\overline{RES}$ , как и в большинстве широкораспространённых моделей.

Предполагается, что внутри МК в цепи начального сброса находится «pull-up» резистор сопротивлением примерно 30...100 кОм. Он подтягивает к питанию вход внутреннего триггера Шмитта. Пороги срабатывания последнего напрямую зависят от напряжения питания  $V_{CC}$ . Однако, унификация в этом направлении отсутствует, что видно из анализа даташитов (Табл. 4.1). Следовательно, при «слепой» замене одного типа МК другим, можно столкнуться с проблемами сброса.

**Таблица 4.1.** Пороги срабатывания и сопротивления резисторов на входе  $\overline{RES}$  у разных МК

Семейство МК	$V_{IL}$ [В]	$V_{IH}$ [В]	$R_{\overline{RES}}$ [кОм]
Microchip PIC12C508	$0...+0.15 V_{CC}$	$0.85 V_{CC}...V_{CC}$	4...50
Microchip PIC12F/16F/18F	$0...+0.2 V_{CC}$	$0.8 V_{CC}...V_{CC}$	> 200
Atmel ATmega16/32/48/88/168	$-0.5...+0.2 V_{CC}$	$0.9 V_{CC}...V_{CC}+0.5$	30...60
Atmel ATmega8	$-0.5...+0.2 V_{CC}$	$0.9 V_{CC}...V_{CC}+0.5$	30...80
Atmel ATtiny26	$-0.5...+0.2 V_{CC}$	$0.9 V_{CC}...V_{CC}+0.5$	20...100
Atmel ATmega325	$-0.5...+0.2/+0.3 V_{CC}$	$0.85 V_{CC}...V_{CC}+0.5$	20...100
Atmel ATmega162/165	$-0.5...+0.2/+0.3 V_{CC}$	$0.9 V_{CC}...V_{CC}+0.5$	30...60
Atmel AT90S2313/2323/2343	$-0.5...+0.3 V_{CC}$	$0.85 V_{CC}...V_{CC}+0.5$	100...500

Вход  $\overline{RES}$ , кроме своего прямого назначения, также используется как приёмник сигналов подсистемы программирования. Это накладывает определённый отпечаток на схемотехнику, т.к. разработчик должен предусмотреть дополнительные развязки и защиты, чтобы «сброс» не мешал «программированию».

**ВНИМАНИЕ!** Программирование во всех последующих схемах будет осуществляться через низковольтный интерфейс ISP. Но существует ещё и высоковольтное программирование с подачей напряжения +8...+14 В на вывод  $\overline{RES}$ . В таких случаях надо использовать специальные типы программаторов и вносить изменения в схемы согласно рекомендациям даташитов МК.

На Рис. 4.1, а...л показаны схемы организации внешнего сброса в МК без подключения программатора. На Рис. 4.2, а...ж показаны схемы сброса, совмещённые с цепями низковольтного программирования через интерфейс ISP.

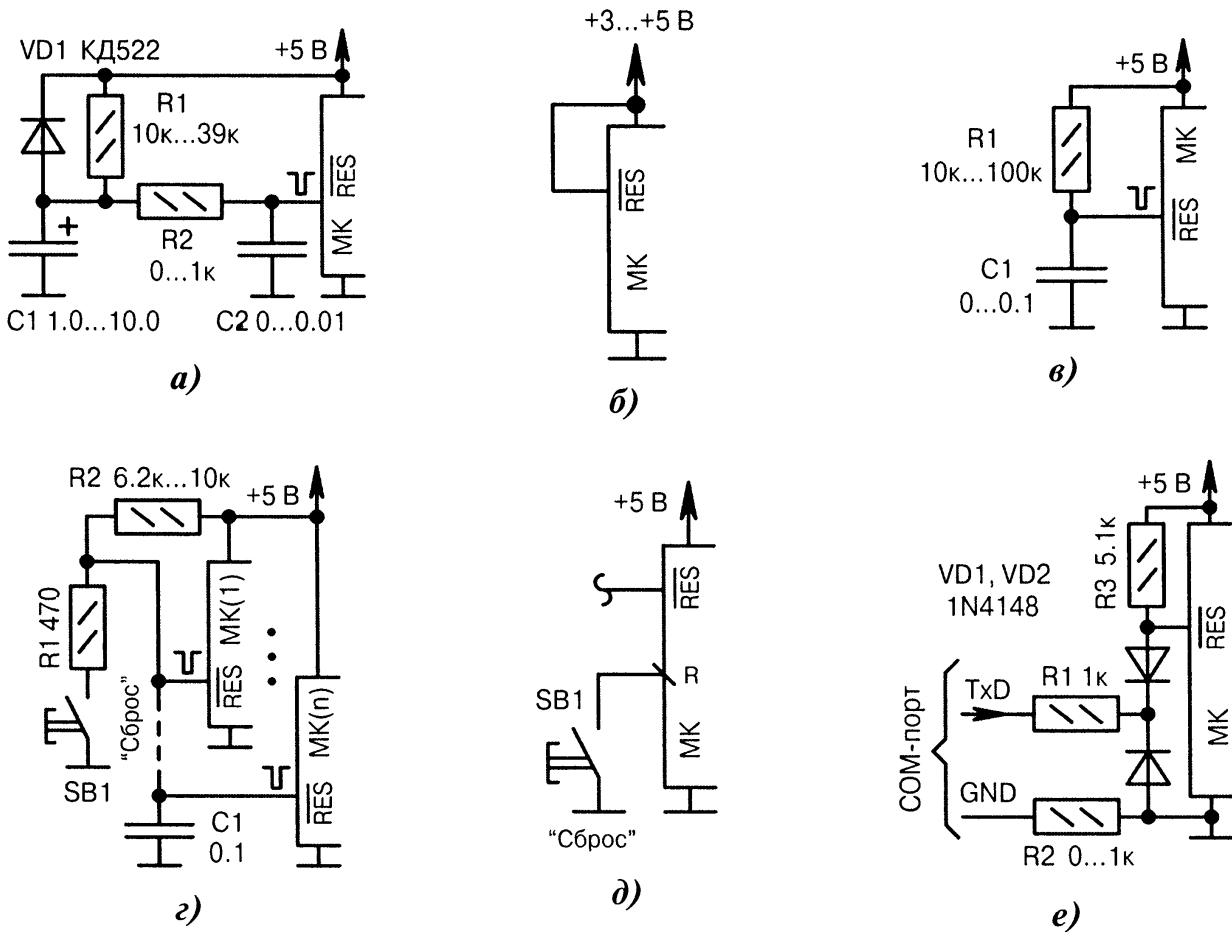


Рис. 4.1. Схемы организации внешнего сброса МК без подключения программатора (начало):

а) защитный диод  $VD1$  ставится при большой ёмкости конденсатора  $C1$  для ускорения его разряда при выключении питания. Фильтр  $R2, C2$  устраняет колебательные процессы на фронтах сигнала и снижает высокочастотные наводки. Согласно указанию в даташитах PIC-контроллеров, резистор  $R2$  ограничивает ток во входную цепь МК при стрессовых напряжениях EOS (Electrical OverStress) и при электростатических разрядах ESD (ElectroStatic Discharge);

б) сигнал начального сброса формируется автоматически внутренними цепями МК. Достоинство схемы — высокая помехозащищённость, простота, охрана от «взлома» прошивки в уже собранной конструкции. Недостатки — невозможность внешнего «кнопочного» сброса и необходимость выпаивания МК (либо изъятия его из панельки) для повторного программирования. Кроме того, придётся использовать достаточно сложный автономный программатор вместо простого внутрисхемного;

в) упрощённый вариант организации начального сброса, часто применяемый на практике. Допускается большой разброс номиналов  $R1, C1$ . Конденсатор  $C1$  устраняет случайные перезапуски МК в условиях сильных наводок и помех;

г) кнопкой  $SB1$  осуществляется одновременный ручной сброс нескольких МК в многопроцессорной системе, что полезно для синхронизации начала их работы;

д) МК анализирует состояние кнопки  $SB1$  и при её нажатии производит принудительный программный самосброс (запуск программы с начального адреса), что в первом приближении эквивалентно нажатию кнопки сброса;

е) удалённый сброс МК через COM-порт компьютера. Резисторы  $R1, R2$  ограничивают входные токи. Диоды  $VD1, VD2$  при отрицательном уровне сигнала TxD обеспечивают «истинный» нуль на входе сброса  $\overline{RES}$  благодаря взаимной компенсации напряжений; ⚡

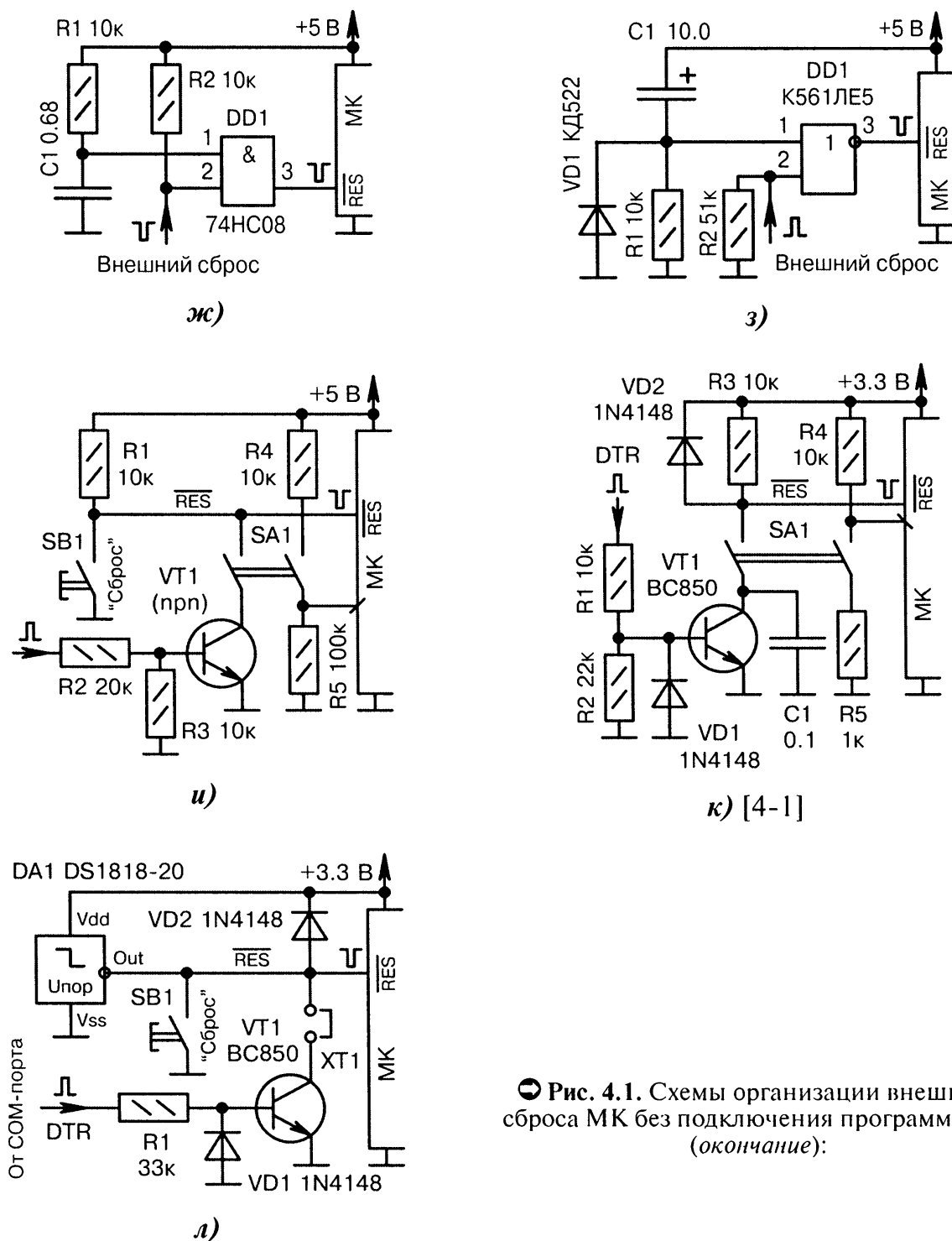


Рис. 4.1. Схемы организации внешнего сброса МК без подключения программатора (окончание):

ж) сброс при начальной подаче питания осуществляется цепочкой  $R1, C1$ , а принудительный внешний сброс — импульсом отрицательной полярности через логический элемент  $DD1$ ;

з) аналогично Рис. 4.1, ж, но с импульсом внешнего сброса положительной полярности;

и) при разомкнутом положении переключателя  $SA1$  сброс производится только от кнопки  $SB1$ , а при замкнутом — организуется дополнительный канал сброса через транзистор  $VT1$ . Одновременно на вход МК через делитель  $R4, R5$  поступает ВЫСОКИЙ уровень, который сигнализирует о смене режима;

к) аналогично Рис. 4.1, и, но без кнопки сброса и с другой полярностью сигнала смены режима на входе МК. Управление транзистором  $VT1$  производится от COM-порта компьютера;

л)  $DA1$  — это детектор «просадок» питания с внутренним «pull-up» резистором 5.5 кОм.

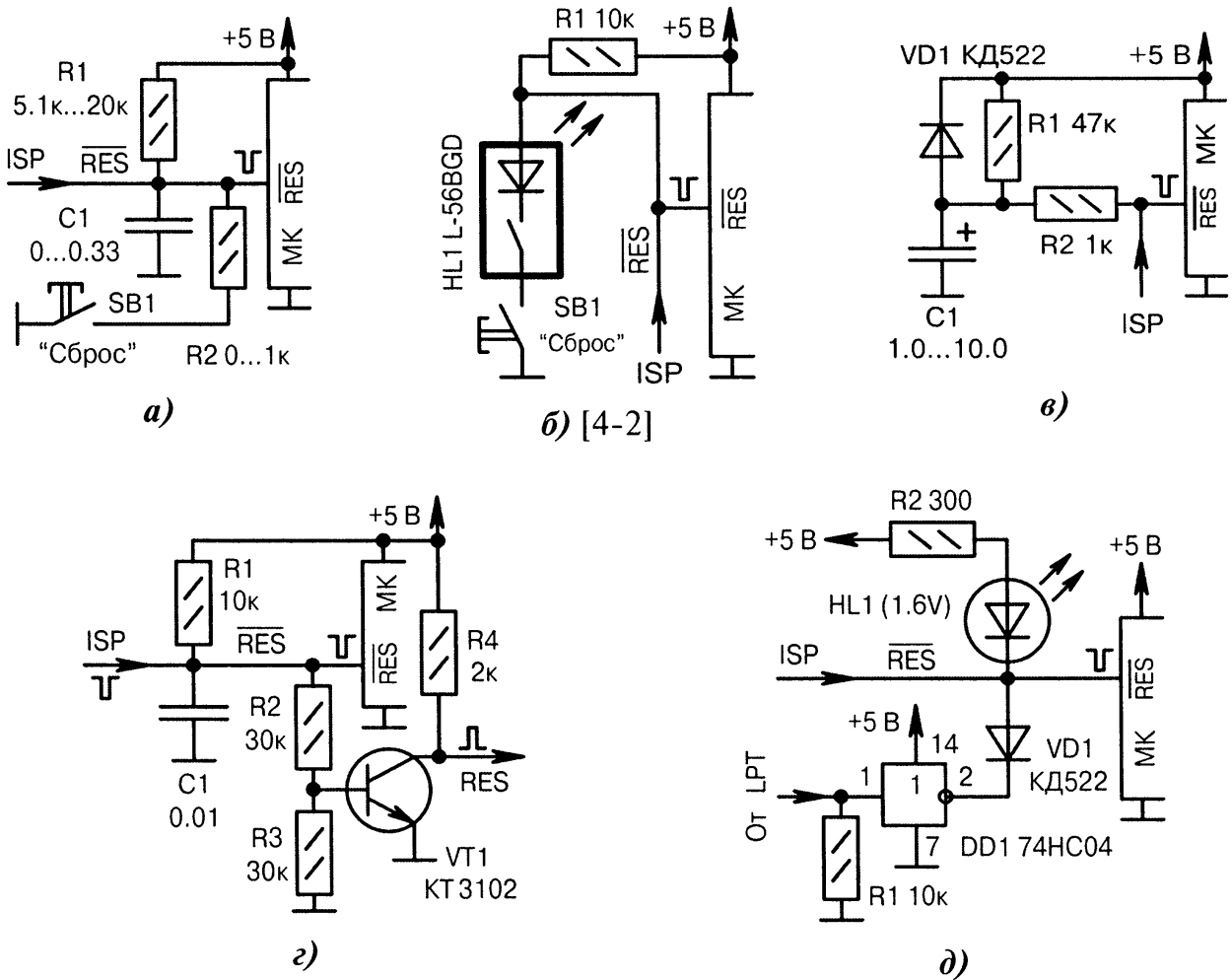


Рис. 4.2. Схемы организации начального сброса МК с подключением низковольтного внутрисхемного программатора ISP (начало):

а) здесь и далее к входу ISP подключается внутрисхемный адаптер программирования. Резистор  $R2$  защищает его от перегрузок по току при нажатии кнопки  $SB1$ . Элементы  $R1, C1$  формируют при включении питания импульс начального сброса, длительность которого подбирается экспериментально. Кнопка сброса  $SB1$  может быть с фиксацией или без фиксации контактов. Если резистор  $R2$  заменить перемычкой, то во время программирования нельзя замыкать контакты кнопки  $SB1$ , иначе произойдет сбой или выход из строя адаптера ISP;

б) мигающий светодиод  $HL1$  позволяет устранить «дребезг» контактов кнопки  $SB1$ . На вход сброса МК при кратковременном нажатии кнопки  $SB1$  поступает одиночный импульс отрицательной полярности длительностью около 80 мс (зависит от типа светодиода  $HL1$ ). При длительном замыкании контактов кнопки  $SB1$  происходит периодический сброс МК с частотой «мигания» светодиода 2...3 Гц, что может пригодиться при тестовых проверках;

в) резистор  $R2$  развязывает цепь начального сброса  $R1, C1, VD1$ , которая формирует импульс рестарта при включении питания, от сигналов адаптера программатора ISP;

г) транзистор  $VT1$  инвертирует сигнал сброса  $\overline{RES}$  и выдает его в положительной полярности для синхронизации работы других узлов устройства;

д) внешний сброс импульсным сигналом, подаваемым с LPT-порта компьютера. Диод  $VD1$  обеспечивает развязку от адаптера ISP. Резистор  $R1$  поддерживает ВЫСОКИЙ уровень на выходе микросхемы  $DD1$  при отключенном кабеле от LPT-разъема. Светодиод  $HL1$  индицирует момент генерации импульса сброса; ⦿



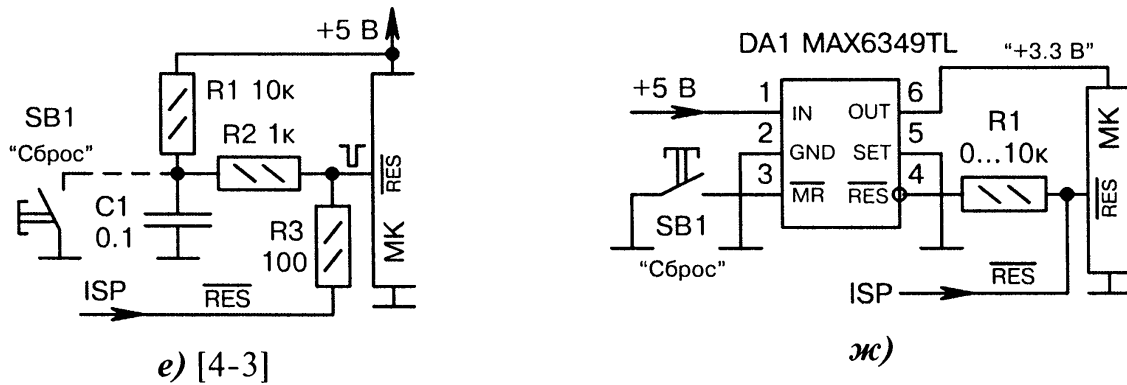


Рис. 4.2. Схемы организации начального сброса МК с подключением низковольтного внутрисхемного программатора ISP (окончание):

е) цепь сброса  $R1$ ,  $C1$  и вход программирования ISP развязаны между собой резисторами  $R2$ ,  $R3$ . Кнопка внешнего сброса  $SB1$  может отсутствовать;

ж) микросхема  $DA1$  одновременно является стабилизатором питания +3.3 В, формирователем сигнала сброса от кнопки  $SB1$  и детектором пониженного напряжения с пороговым уровнем +3 В. Если сигнал ISP не используется, то резистор  $R1$  можно заменить перемычкой.

## 4.2. Детекторы «просадок» напряжения питания

BOD (Brown-Out Detector) — это детектор, который следит за колебаниями напряжения питания МК и генерирует сигнал сброса при его значительных «просадках». Такие узлы часто называют «супервизорами» или «мониторами питания».

Детекторы BOD разделяются на внутренние и внешние. Считается, что внутренний аппаратный узел BOD, имеющийся в современных моделях МК Atmel AVR, Microchip PIC, обеспечивает достаточную надёжность и ему можно доверять автоматическую перезагрузку устройства при аварии. Однако иногда требуется выставить нестандартный порог срабатывания детектора или подстраховаться «на всякий пожарный случай». В таких ситуациях применяют отдельный узел внешнего BOD, собранный на транзисторах или микросхемах.

Промышленностью выпускаются следующие типы микросхем BOD:

- трёхвыводные супервизоры с однотактным выходным каскадом. Они содержат на выходе  $n-p-n$ -транзистор, включённый по схеме с общим эмиттером, и внутренний «pull-up» резистор;
- трёхвыводные супервизоры с выходным каскадом, имеющим открытый коллектор или открытый сток без нагрузочного «pull-up» резистора;
- трёхвыводные супервизоры с двухтактным выходным каскадом. Они формируют уровни «rail-to-rail», близкие к напряжению  $V_{CC}$  и GND;
- четырёхвыводные супервизоры, совмещённые с элементами начального сброса POR (Power-On-Reset) или со сторожевым таймером Watch-Dog;
- многовыводные мониторы питания, содержащие одновременно узлы BOD, POR и Watch-Dog.

На Рис. 4.3, а...д показаны схемы подключения узлов BOD, собранных на «россыпи» элементов, а на Рис. 4.4, а...п — на микросхемах супервизоров.

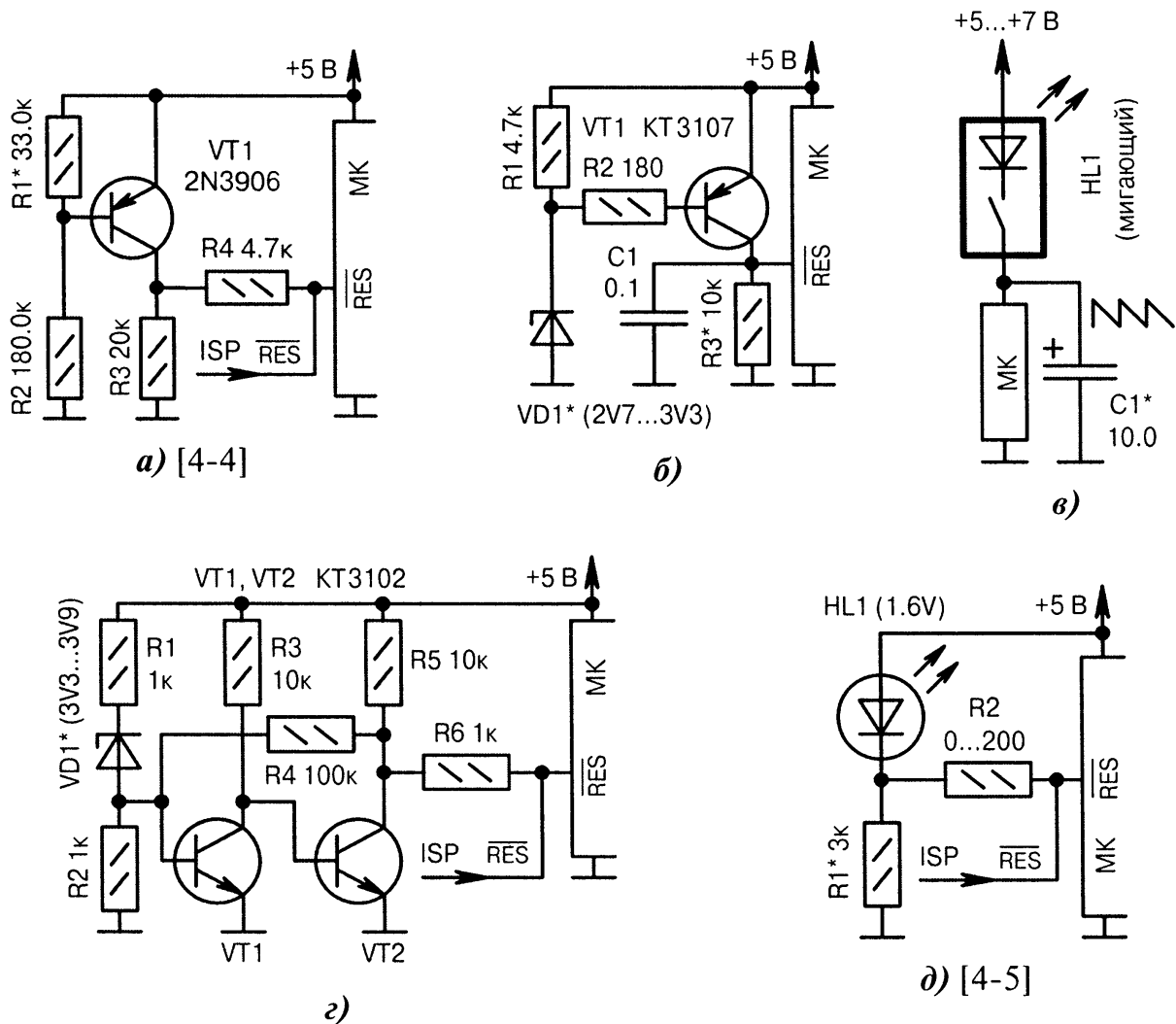


Рис. 4.3. Схемы подключения узлов VOD, выполненных на «россыпи» элементов:

а) резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  должны иметь точность  $\pm 1\%$ . Они задают порог срабатывания VOD согласно формуле  $V_{\text{BOD}}[\text{В}] = 0.65 \cdot (R_1[\text{кОм}] + R_2[\text{кОм}]) / R_1[\text{кОм}]$ . Сопротивление резистора  $R_3$  должно быть примерно в три раза меньше, чем у внутреннего «pull-up» резистора МК. Резистор  $R_4$  можно заменить переключкой, если не используется адаптер программирования ISP;

б) напряжение VOD определяется порогом срабатывания стабилитрона  $VD1$  и напряжением перехода «база — эмиттер» транзистора  $VT1$ . В рабочем состоянии транзистор открыт и на вход сброса МК поступает ВЫСОКИЙ уровень. При снижении напряжения питания ниже порога, транзистор закрывается ( $R_1$ ,  $R_2$ ) и МК сбрасывается НИЗКИМ уровнем от резистора  $R_3$ ;

в) питание МК пилообразным напряжением для проверки устойчивости срабатывания узла VOD. Сигнал «пилы», снимаемый с обкладок конденсатора  $C1$ , имеет частоту 2...3 Гц (зависит от типа «мигающего» светодиода  $HL1$ ) и может использоваться в качестве синхронизирующего для других трактов устройства;

г) аналогично Рис. 4.3, б, но с более крутыми фронтами импульса сброса за счёт триггера Шмитта, собранного на транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$ . Пороговое напряжение VOD задаётся стабилитроном  $VD1$  и напряжением «база — эмиттер» транзистора  $VT1$ ;

д) светодиод  $HL1$  индицирует напряжение +5 В и одновременно осуществляет функцию внешнего VOD при «просадках» питания. Порог срабатывания подбирается резистором  $R1$ , чтобы при напряжении питания +3...+3.5 В на входе  $\overline{\text{RES}}$  гарантированно был НИЗКИЙ уровень (зависит от конкретного МК).

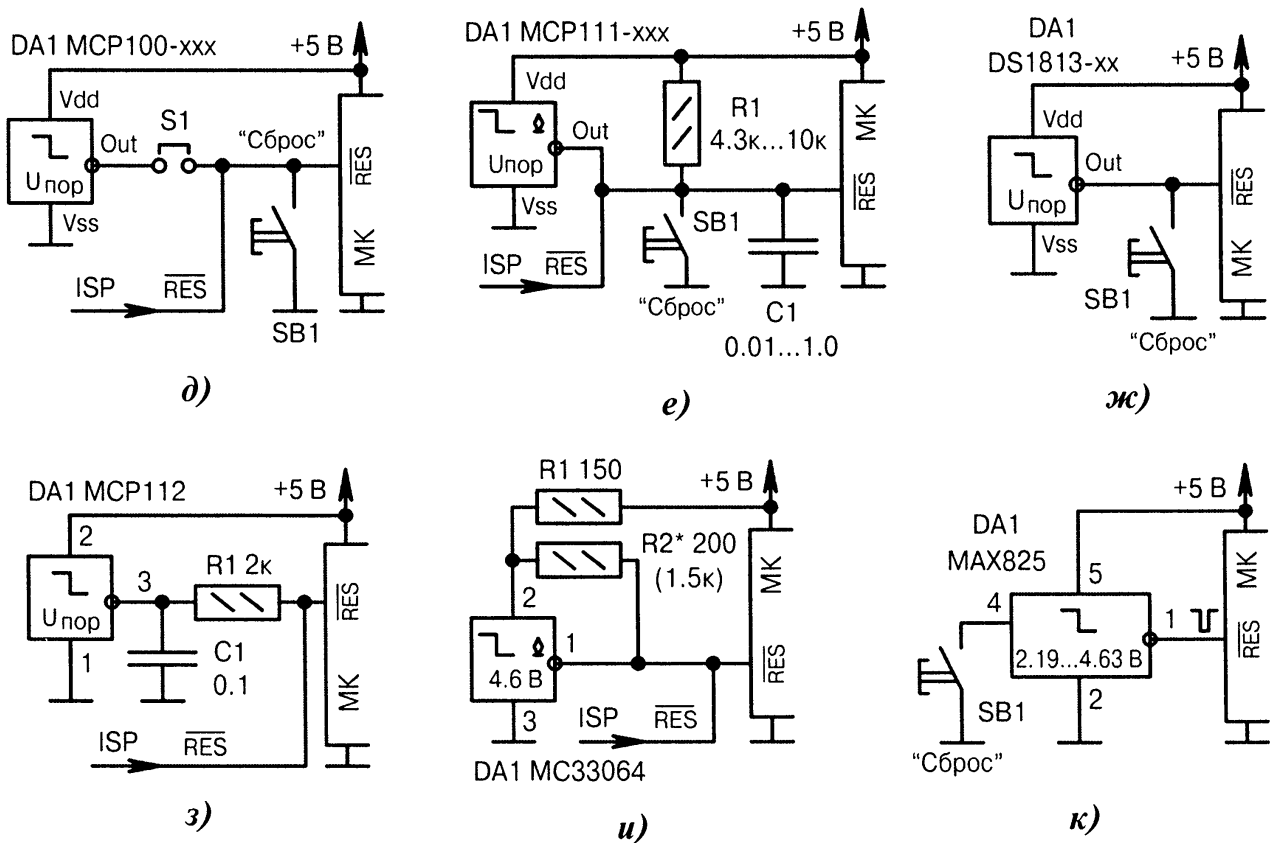


Рис. 4.4. Схемы подключения микросхем супервизоров питания к МК (начало):

д) супервизор *DA1* (фирма Microchip) формирует на выходе «Out» логические уровни НИЗКОГО уровня  $V_{OL} < 0.4$  В и ВЫСОКОГО уровня  $V_{OH} = V_{CC} - 0.7$  В. Порог срабатывания BOD зависит от модификации микросхемы *DA1* (цифры «xxx» в названии) и выбирается из ряда напряжений: 2.7; 3.0; 3.15; 4.5; 4.6; 4.75; 4.85 В. Переключатель *S1* временно удаляется при программировании, иначе канал ISP не сможет сформировать сигнал  $\overline{RES}$ . Замена *DA1* — MCP112;

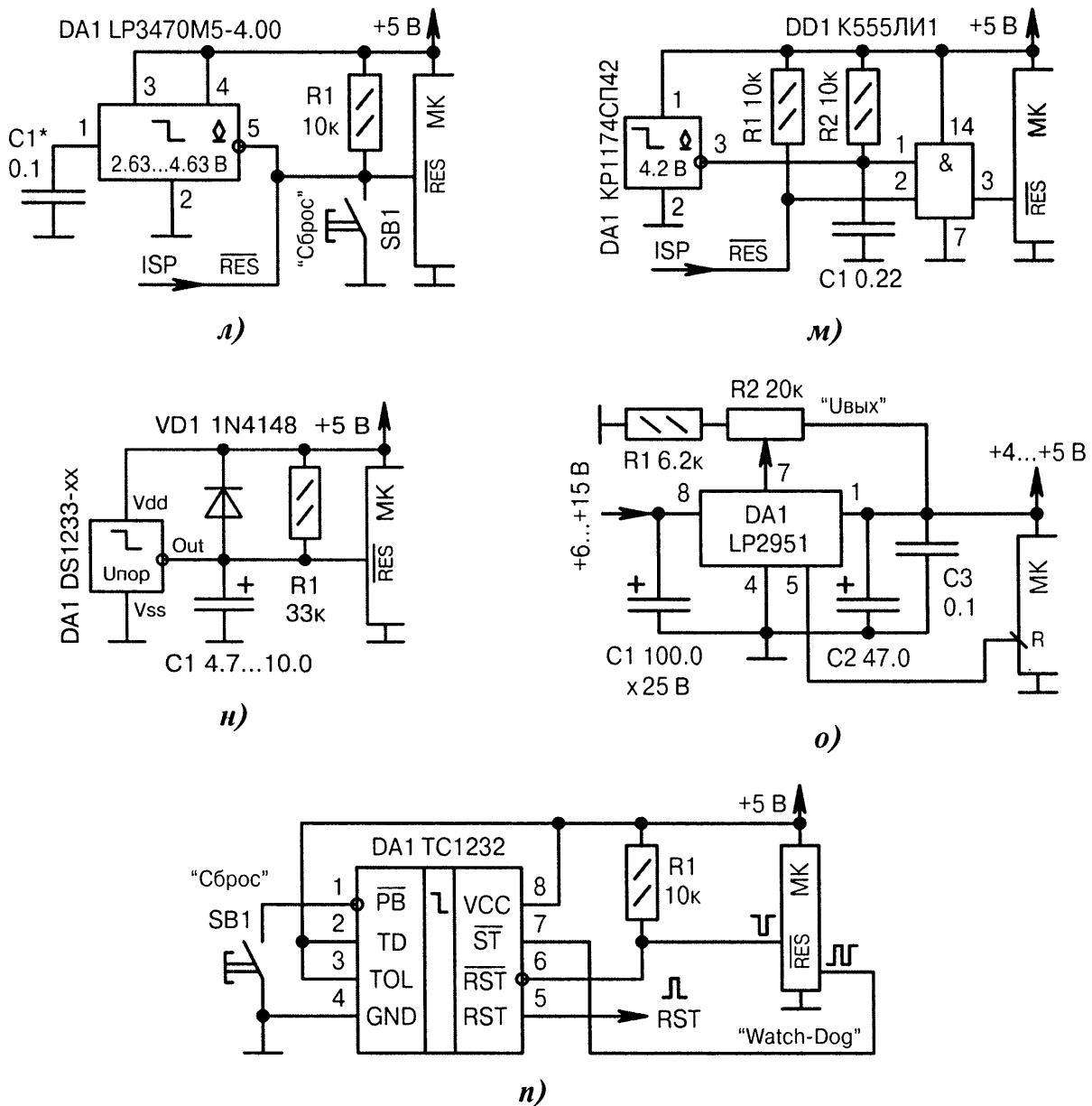
е) супервизор *DA1* (фирма Microchip) имеет выход с открытым стоком. Это позволяет физически не отключать адаптер ISP при программировании. Порог срабатывания BOD зависит от модификации микросхемы супервизора (цифры «xxx» в названии) и выбирается из ряда напряжений: 1.95; 2.4; 2.7; 2.9; 3.0; 3.15; 4.5; 4.75 В. Замена *DA1* — MC33064;

ж) супервизор *DA1* (фирма Maxim/Dallas) имеет на выходе транзисторный ключ и «pull-up» резистор сопротивлением 3.5...7.5 кОм. Дополнительно в супервизор встроена схема мониторинга состояния кнопки *SB1*. При её нажатии *DA1* автоматически вырабатывает импульс сброса длительностью 150 мс, который шунтирует «дребезг» контактов кнопки. Наличие схемы мониторинга не позволяет подключать напрямую к МК адаптер ISP, поскольку его сигналы будут восприниматься как нажатие кнопки. Порог срабатывания BOD зависит от модификации микросхемы *DA1* (цифры «xx» в названии) и выбирается из ряда напряжений: 4.0; 4.25; 4.5 В;

з) супервизор *DA1* (фирма Microchip) имеет двухтактный выходной каскад. Резистор *R1* необходим для развязки от цепей адаптера ISP. Конденсатор *C1* устраняет ложные срабатывания супервизора *DA1* в условиях сильных помех. Подобный конденсатор можно устанавливать и в других аналогичных схемах;

и) резисторы *R1*, *R2* обеспечивают гистерезис порога срабатывания супервизора *DA1* (фирма ON Semiconductor), имеющего выход с открытым стоком;

к) нажатие кнопки *SB1* вызывает формирование на выходе супервизора *DA1* одиночного импульса сброса длительностью 140...280 мс, свободного от «дребезга» контактов; ☹



⊖ Рис. 4.4. Схемы подключения микросхем супервизоров питания к МК (окончание):

- л) длительность импульса сброса супервизора DA1 (фирма National Semiconductor) регулируется конденсатором C1. Достоинство — низкое собственное потребление тока DA1;
- м) развязка микросхемы супервизора DA1 и адаптера программирования ISP через логический элемент DD1. Для ТТЛ-логики следовало бы ещё поставить резистор как на Рис. 3.16, з;
- н) подключение детектора BOD DA1 (фирма Maxim/Dallas) к уже существующей цепи сброса VDI, R1, C1. Резистор R1 в данной схеме может отсутствовать, т.к. внутри микросхемы DA1 уже находится свой «pull-up» резистор сопротивлением 3.75...6.25 кОм;
- о) DA1 — это регулируемый стабилизатор напряжения (фирма National Semiconductor), используемый для питания МК. Стабилизатор имеет встроенный детектор «просадок» выходного напряжения. При снижении напряжения больше, чем на 5%, вырабатывается сигнал НИЗКОГО уровня на выводе 5. Этот сигнал поступает в МК, который и принимает решение о целесообразности программного «самосброса». Схема рассчитана на МК с широким диапазоном питания;
- п) многофункциональный монитор питания выполнен на микросхеме DA1 фирмы TelCom Semiconductor. Для его нормальной работы требуется, чтобы МК (или другой цифровой узел) периодически генерировал контрольные импульсы на линии «Watch-Dog».

### 4.3. Внешний сторожевой таймер (Watch-Dog)

Узел Watch-Dog появился в составе современных МК сравнительно недавно. Первые МК его не имели, поэтому разработчики использовали для принудительного сброса внешний управляемый генератор Watch-Dog, собранный на специализированных микросхемах или на «россыпи» дискретных элементов.

Существует несколько веских причин, заставляющих всегда держать внешний Watch-Dog «на параллельных рельсах» (читай, в подсознании) и владеть типовыми приёмами его подключения к МК.

Во-первых, внешний Watch-Dog полезен при отладке и тестировании программ, чтобы определить источник сбоев и исключить влияние внутреннего сторожевого таймера.

Во-вторых, внешний Watch-Dog может функционировать одновременно с внутренним сторожевым таймером для подстраховки и для снижения вероятности пропуска сбоя.

В-третьих, внешний Watch-Dog пригодится, если в МК мало свободной памяти или программа имеет слишком сложную структуру. В последнем случае внутренний сторожевой таймер из-за недосмотра программиста может пропустить очередное обнуление регистра WDR, в связи с чем МК будет ошибочно перезапущен «с нуля».

В-четвёртых, внешний Watch-Dog допускает плавную или дискретную подстройку длительности «сторожевой» паузы, вплоть до очень больших пределов, что может быть полезным при проведении различных модельных экспериментов.

На Рис. 4.5, а...е показаны схемы подключения узлов Watch-Dog к МК.

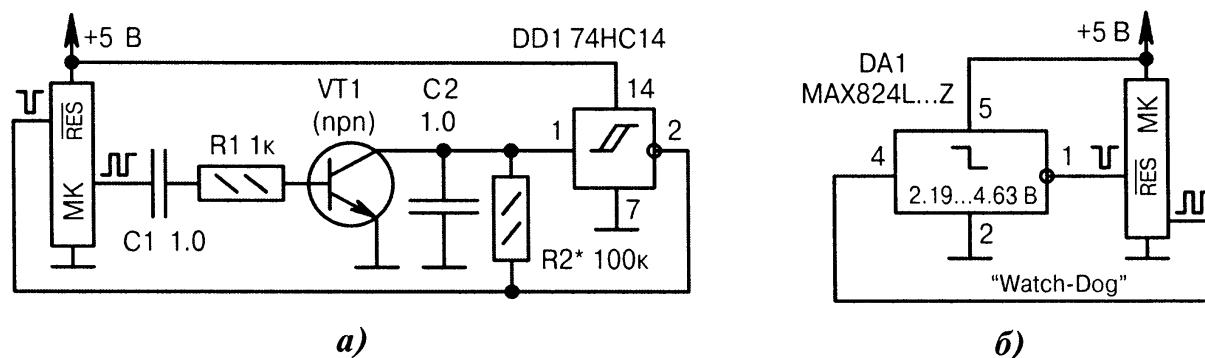


Рис. 4.5. Схемы подключения узлов Watch-Dog к МК (начало):

а) в исходном состоянии транзистор *VT1* периодически открывается импульсами с выхода МК, тем самым, постоянно разряжая конденсатор *C2*. При пропадании указанных импульсов, например, в случае «зависания» программы, конденсатор *C2* заряжается через резистор *R2* до порогового уровня триггера Шмитта *DD1*. Чем больше номиналы элементов *R2*, *C2*, тем больше время заряда. Если генерация импульсов прекращается, то триггер Шмитта перебрасывается в противоположное состояние и формирует НИЗКИЙ уровень  $\overline{\text{RES}}$  для принудительного сброса МК. После этого конденсатор *C2* быстро разряжается через резистор *R2* и на выходе триггера Шмитта устанавливается ВЫСОКИЙ уровень, т.е. получается полноценный импульс сброса;

б) *DA1* — это супервизор «просадок» питания (фирма Maxim/Dallas), совмещённый с узлом Watch-Dog. На выходе МК периодически должны генерироваться импульсы, свидетельствующие о нормальной работе программы, иначе произойдёт принудительный начальный сброс; Ⓞ

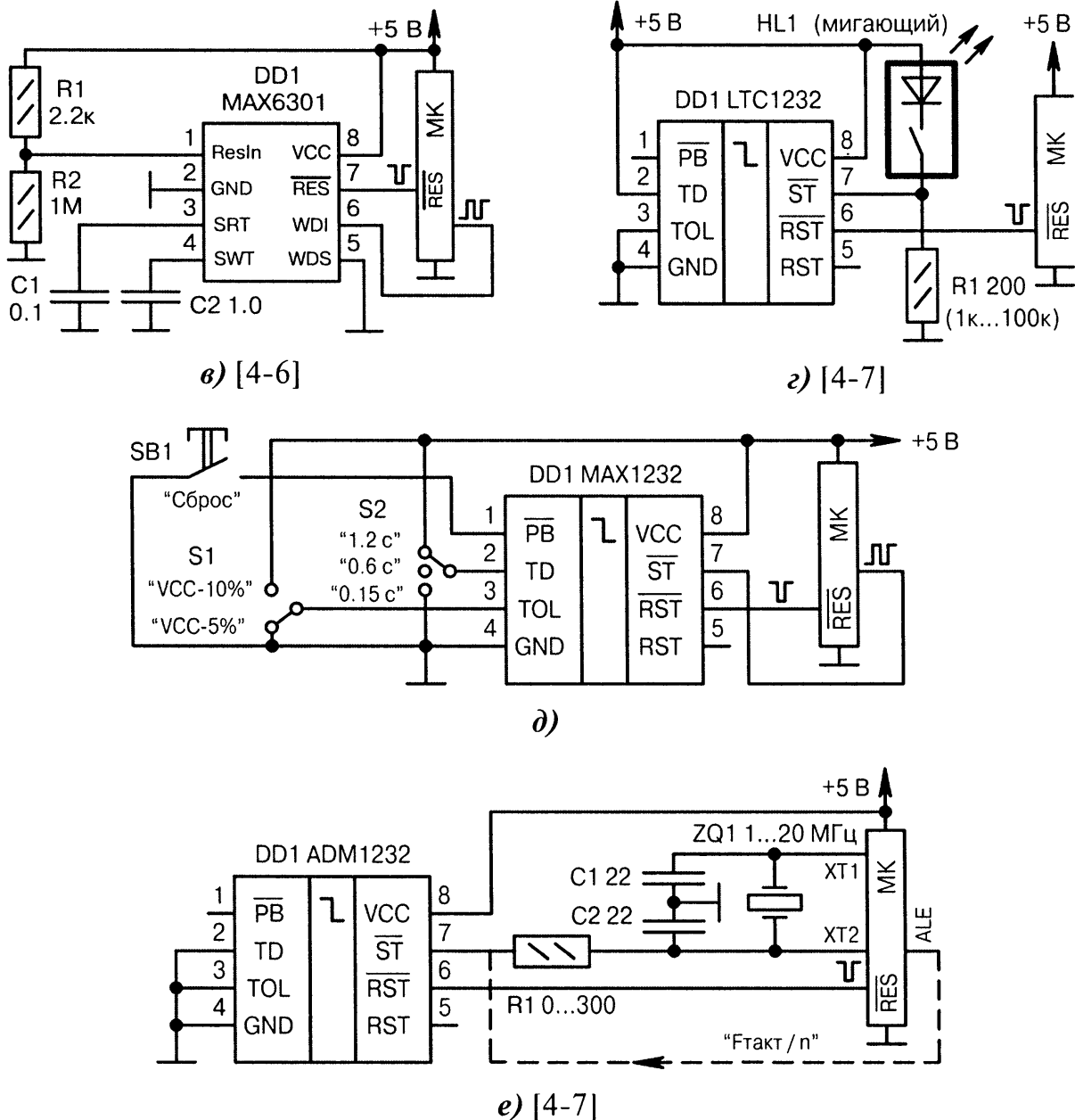


Рис. 4.5. Схемы подключения узлов Watch-Dog к МК (окончание):

в) время паузы Watch-Dog (допустимое отсутствие импульсов на выводе 6 микросхемы *DD1*) составляет 6 с. Зависит оно от ёмкости конденсатора *C2* и логического уровня на выводе 5 *DD1*;

г) импульсы Watch-Dog, необходимые для нормальной работы супервизора *DD1*, генерируются «мигающим» светодиодом *HL1* вне зависимости от состояния МК. При низких сопротивлениях резистора *R1* (0.2...1 кОм) будут наблюдаться вспышки света с частотой 2...3 Гц, что позволяет визуально оценить наличие питания;

д) полная схема включения монитора питания *DD1* серии «1232». Имеются режимы: BOD, POR, Watch-Dog, PushButton (вывод для кнопки сброса). Перемычками *S1*, *S2* задаётся порог срабатывания супервизора –5 или –10% от  $V_{CC}$ , а также пауза для узла Watch-Dog в пределах 0.15...1.2 с. Важный нюанс — допуск на паузу в даташитах составляет до 50% от номинала, т.е. ориентироваться надо на минимум. Замены *DD1* — ADM1232, LTC1232, HN1232, IMP1232;

е) сигнал Watch-Dog на вывод 7 микросхемы *DD1* может подаваться двумя путями: через резистор *R1* от кварцевого генератора МК (высокая частота  $F_{\text{ТАКТ}}$ ) и со специального выхода ALE (низкая частота  $F_{\text{ТАКТ}}/n$ ), имеющегося, например, в семействе MCS-51.

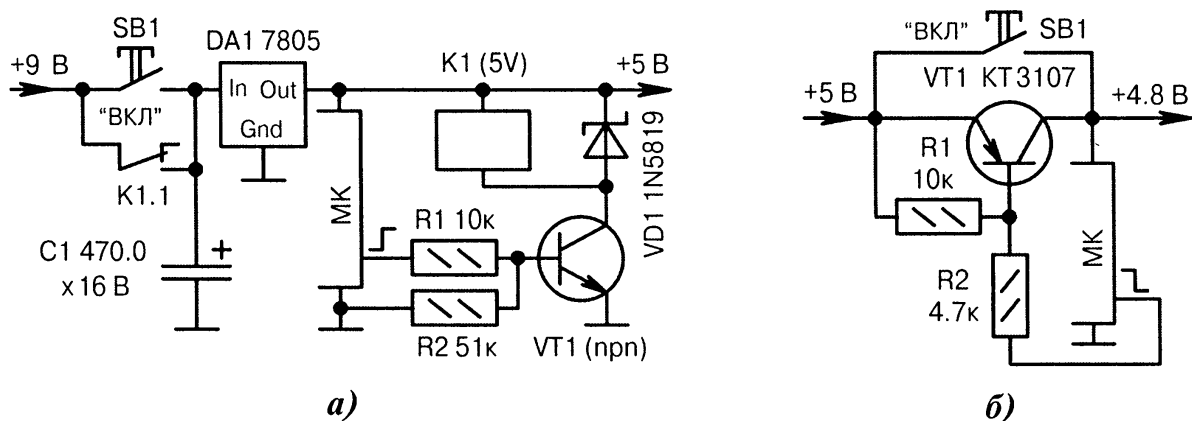
## 4.4. Схемы «самоблокировки» питания

«Научиться управлять самим собой» — это качество мечтает воспитать в себе каждый человек. Правда, далеко не у всех мечты совпадают с реальностью, отсюда стрессы, отрицательные эмоции, плохое настроение. Мудр тот, кто в сложной обстановке контролирует свои поступки, к чему надо стремиться и всем остальным.

МК, подобно человеку, тоже умеет управлять самим собой, точнее, процессом коммутации собственного напряжения питания. Эта функция полезна в следующих случаях:

- для устройств, которые питаются от батарей/аккумуляторов;
- для входа и выхода из «спящего» режима;
- для организации дистанционного включения/выключения питания;
- для минимизации потребляемой мощности;
- для автоматического отключения аппаратуры без участия человека.

В большинстве случаев для активизации МК можно обойтись одним тумблером питания. А как быть, если по дизайну конструкции лучше смотрится миниатюрный переключатель, не допускающий протекания большого тока, или нажимная (сенсорная) кнопка без фиксации контактов? На помощь придут схемы, изображённые на **Рис. 4.6, а...г**.



**Рис. 4.6.** Схемы включения/выключения питания с использованием МК (начало):

а) после нажатия кнопки *SB1* напряжение +5 В подаётся на МК, который через выходную линию открывает ключ на транзисторе *VT1* и включает реле *K1*. Контакты реле *K1.1* закорачивают кнопку *SB1*, которую теперь можно отпустить. Выключение питания производится НИЗКИМ уровнем на выходе МК или переводом линии в режим входа без «pull-up» резистора. Резистор *R2* не даёт открываться транзистору *VT1* при начальном сбросе МК. Кнопка *SB1* должна быть рассчитана на большой импульсный ток, равный полной нагрузке МК и подключённых к нему цепей. Транзистор *VT1* выбирается в зависимости от мощности реле *K1*;

б) после нажатия кнопки *SB1* напряжение +5 В подаётся на узлы устройства и на МК, который через выходную линию открывает транзистор *VT1*. Контакты кнопки шунтируются открытым переходом «коллектор — эмиттер» и её теперь можно отпустить. Выключение питания производится ВЫСОКИМ уровнем на выходе МК или переводом линии в режим входа без «pull-up» резистора. Резистор *R1* удерживает транзистор *VT1* в закрытом состоянии при снятии питания. Кнопка *SB1* должна быть рассчитана на большой импульсный ток, равный полной нагрузке МК и всего устройства в целом; ●

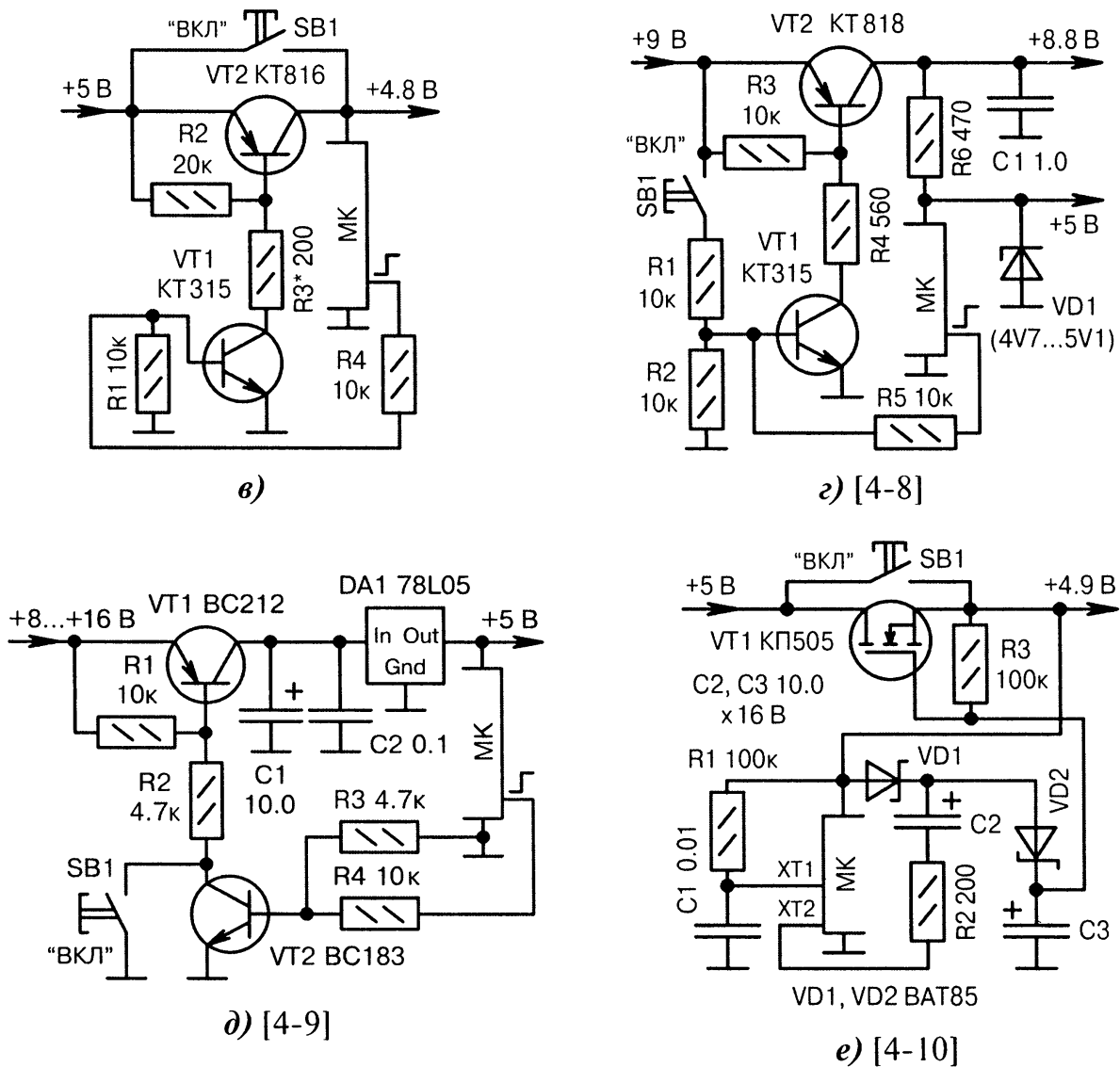


Рис. 4.6. Схемы включения/выключения питания с использованием МК (продолжение):

в) аналогично Рис. 4.6, б, но с двумя ключевыми транзисторами. Это имеет смысл при повышенной мощности в нагрузке транзистора VT2, когда для его перевода в открытое состояние требуется большой базовый ток, который определяется резистором R3;

г) схема Д.Мэниера. После нажатия кнопки SB1 открываются транзисторы VT1, VT2, напряжение +5 В поступает в МК, который выставляет на выходной линии порта ВЫСОКИЙ уровень. Кнопку SB1 теперь можно отпустить, поскольку ток в базу транзистора VT1 подаётся через резистор R5. Выключение питания производится НИЗКИМ уровнем на выходе МК или переводом линии в режим входа без «pull-up» резистора. Достоинство схемы — кнопка SB1 может быть маломощная, рассчитанная на ток меньше 1 мА;

д) аналогично Рис. 4.6, г, но с интегральным стабилизатором DA1, с другими номиналами резисторов и с подключением кнопки SB1 к общему проводу. Вместо DA1 можно использовать любой другой стабилизатор, рассчитанный на выходное напряжение +3...+5 В;

е) ключом, коммутирующим питание, является полевой транзистор VT1. Из-за этого снижается падение напряжения между входом и выходом и повышается экономичность. Умножитель напряжения собран на элементах VD1, VD2, C2, C3. Он формирует повышенное напряжение для отпириания транзистора VT1. Источником импульсов для умножителя служит внешний тактовый RC-генератор МК, собранный на элементах R1, C1 и имеющий отдельный выход XT2; ◉



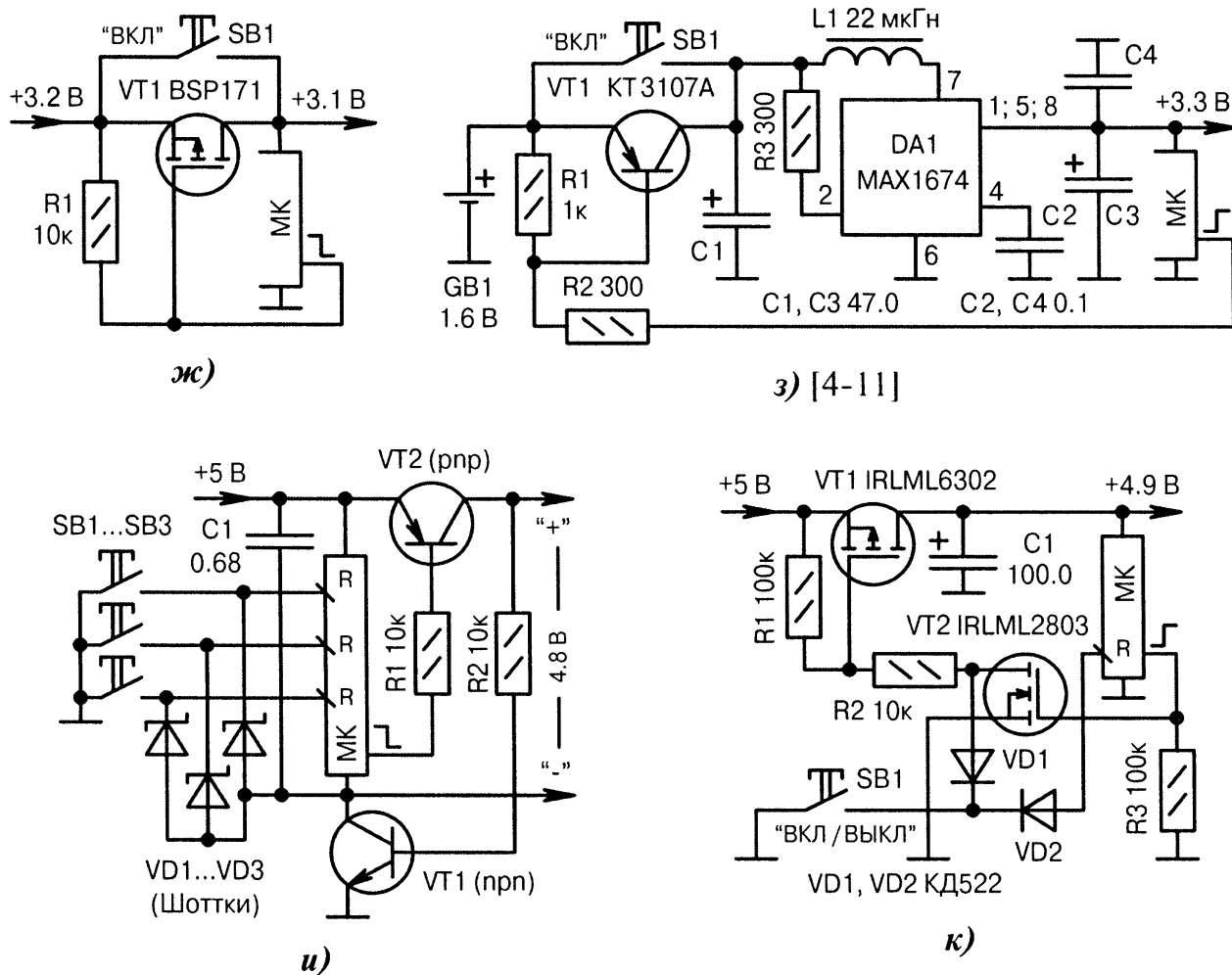


Рис. 4.6. Схемы включения/выключения питания с использованием МК (продолжение):

ж) аналогично Рис. 4.6, б, но с полевым транзистором  $VT1$  и с пониженным напряжением питания. Достоинство схемы — экономичность ввиду меньшего падения напряжения на транзисторе  $VT1$ ;

з) аналогично Рис. 4.6, б, но между транзистором  $VT1$  и МК встроен импульсный умножитель напряжения, собранный на микросхеме  $DA1$  фирмы Maxim/Dallas. Если отсоединить вывод 1 микросхемы  $DA1$  от выводов 5, 8 и соединить его с выводом 6, то напряжение питания МК повысится с +3.3 до +5 В;

и) нажатие одной или нескольких кнопок  $SB1...SB3$  приводит к подаче питания на МК через открытые диоды  $VD1...VD3$ . Далее МК выставляет НИЗКИЙ уровень на линии выхода, открывая транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  и блокируя действие кнопок. Теперь кнопки  $SB1...SB3$  можно использовать по прямому назначению для управления тремя входами МК с «pull-up» резисторами (диоды  $VD1...VD3$  закрыты). Выключение питания производится ВЫСОКИМ уровнем на выходе МК. Если при этом будет постоянно замкнута хотя бы одна из кнопок, то МК останется в рабочем состоянии, но без подачи тока во внешнюю «взвешенную» цепь 4.8 В;

к) после нажатия кнопки  $SB1$  открывается транзистор  $VT1$  через элементы  $R2$ ,  $VD1$ . Напряжение +5 В поступает в МК, который выставляет на своём выходе ВЫСОКИЙ уровень. Транзистор  $VT2$  открывается, после чего кнопку  $SB1$  можно отпустить. В дальнейшем её используют как обычную управляющую, при этом вход МК замыкается с общим проводом через кнопку  $SB1$  и диод  $VD2$ . Выключение питания производится НИЗКИМ уровнем на выходе МК или переводом данной линии в режим входа без «pull-up» резистора; ◐

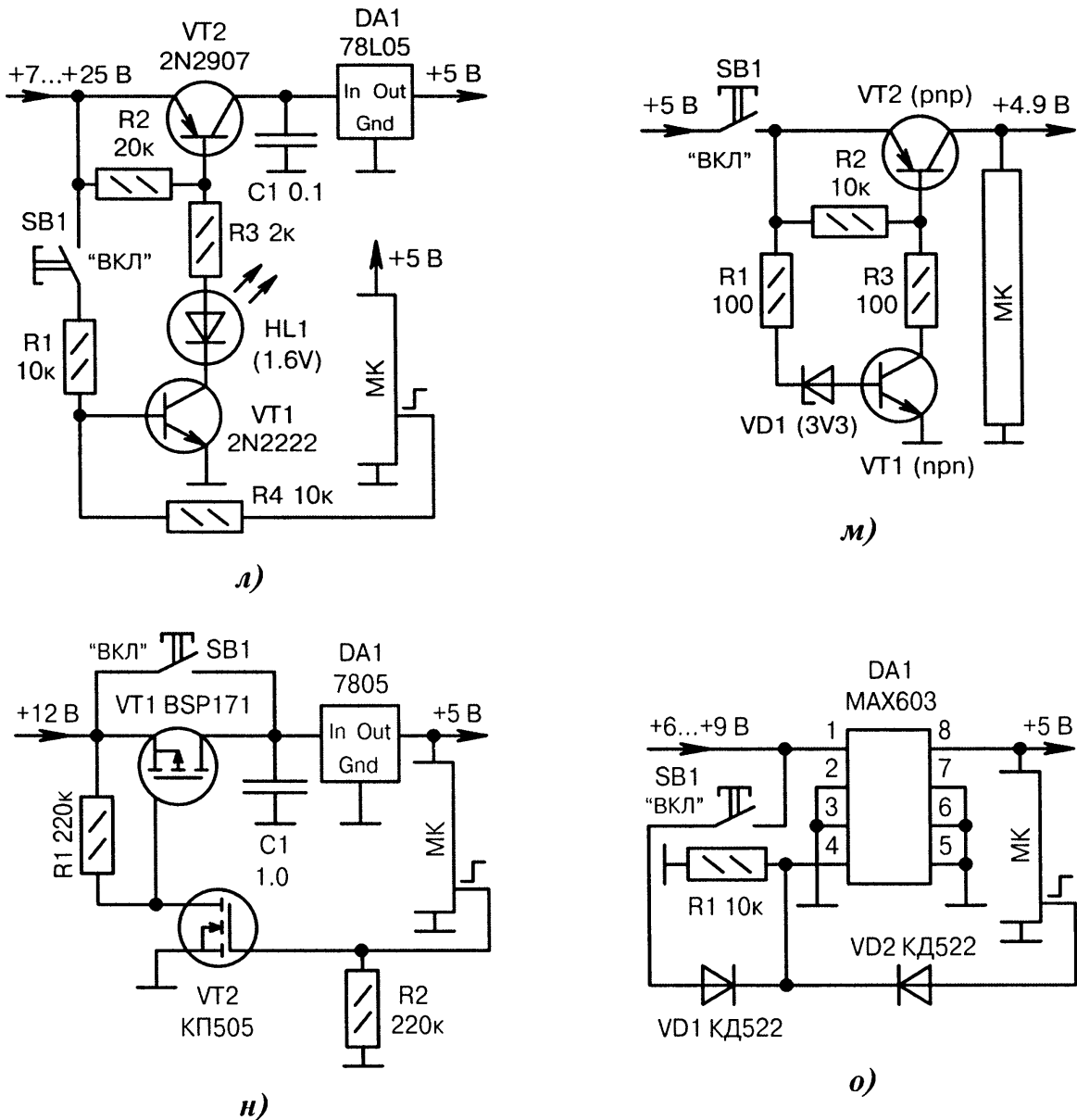


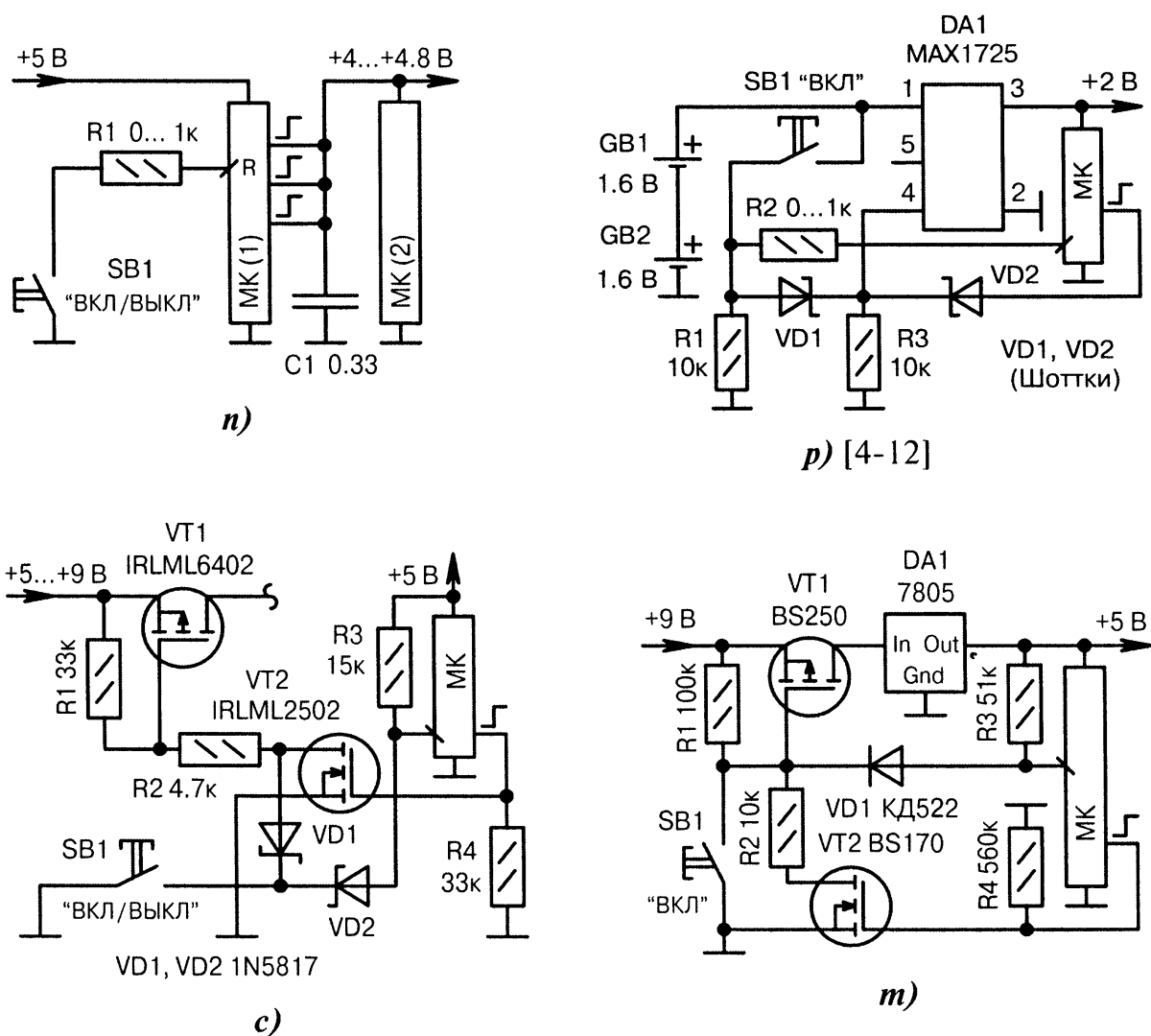
Рис. 4.6. Схемы включения/выключения питания с использованием МК (продолжение):

л) аналогично Рис. 4.6, г, но с интегральным стабилизатором напряжения *DA1* и с визуальным индикатором подачи питания на светодиоде *HL1*;

м) транзистор *VT2* открывается только в том случае, когда напряжение питания после кнопки *SB1* будет больше, чем +4 В (определяется суммой порогового напряжения стабилитрона *VD1* и напряжения между базой и эмиттером транзистора *VT1*);

н) аналогично Рис. 4.6, в, но на полевых транзисторах *VT1*, *VT2* и с интегральным стабилизатором напряжения *DA1* (диапазон замены +3...+5 В). Резистор между выходом МК и затвором транзистора *VT2* не нужен, поскольку полевой транзистор управляется напряжением, а не током. Резистор *R2* поддерживает закрытое состояние транзистора *VT2* при сбросе МК;

о) при замыкании контактов кнопки *SB1* напряжение ВЫСОКОГО уровня подаётся через диод *VD1* на вывод 4 линейного стабилизатора напряжения *DA1* фирмы Maxim Integrated Products. На выходе стабилизатора появляется напряжение +5 В, которое поступает в МК. В управляющей программе сразу же формируется ВЫСОКИЙ выходной уровень, который открывает диод *VD2*. Теперь кнопку *SB1* можно отпустить. Выключение питания производится НИЗКИМ уровнем на выходе МК или переводом его в режим входа без «pull-up» резистора; ☉



⊖ **Рис. 4.6.** Схемы включения/выключения питания с использованием МК (окончание):

п) запараллеленные выходные линии МК(1) в режиме ВЫСОКОГО уровня являются источником питания для МК(2). Нагрузочная способность составляет несколько десятков миллиампер. Кнопка *SB1* работает в триггерном режиме, т.е. каждое её нажатие приводит к установке ВЫСОКОГО/НИЗКОГО уровня одновременно на всех трёх выходах и, соответственно, к включению/выключению питания МК(2). «Дребезг» контактов кнопки *SB1* устраняется программно. Резистор *R1* защищает вход МК(1) от наводок при большой длине проводов до кнопки *SB1*. Число запараллеленных выходных линий МК(1) может быть больше, чем три;

р) аналогично **Рис. 4.6, о**, но с другой микросхемой стабилизатора напряжения *DA1* (фирма Maxim Integrated Products) и с дополнительным входом МК, через который проверяется состояние кнопки *SB1*, например, для триггерного включения/выключения питания. Резистор *R2* ограничивает ток, протекающий через внутренний диод МК. Это актуально в первый момент времени после нажатия кнопки *SB1*;

с) аналогично **Рис. 4.6, к**, но с другими типами транзисторов, с другими сопротивлениями резисторов, с диодами Шоттки *VD1, VD2* и с повышенным напряжением на входе. Для питания МК требуется отдельный стабилизатор напряжения, например, на микросхеме 78L05;

т) аналогично **Рис. 4.6, к**, но с одним диодом *VD1* и с интегральным стабилизатором напряжения *DA1*. Если нагрузка по мощности для микросхемы *DA1* меньше, чем 0.5 Вт, то её лучше заменить микросхемой 78L05 или аналогичной с низким собственным потреблением тока.

## 4.5. Внешние источники опорного напряжения

Для нормальной работы АЦП МК необходим источник опорного напряжения (ИОН). Если использовать внутренний ИОН, то могут возникнуть проблемы с его низкой температурной стабильностью и большим технологическим разбросом номинального напряжения. Для точных измерений (в том числе с нестандартными опорными напряжениями) практикуют подключение внешнего ИОН к выводу  $V_{REF}$  МК. Состоять он может из дискретных элементов (Рис. 4.7, а...и) или из интегральных микросхем (Рис. 4.8, а...к).

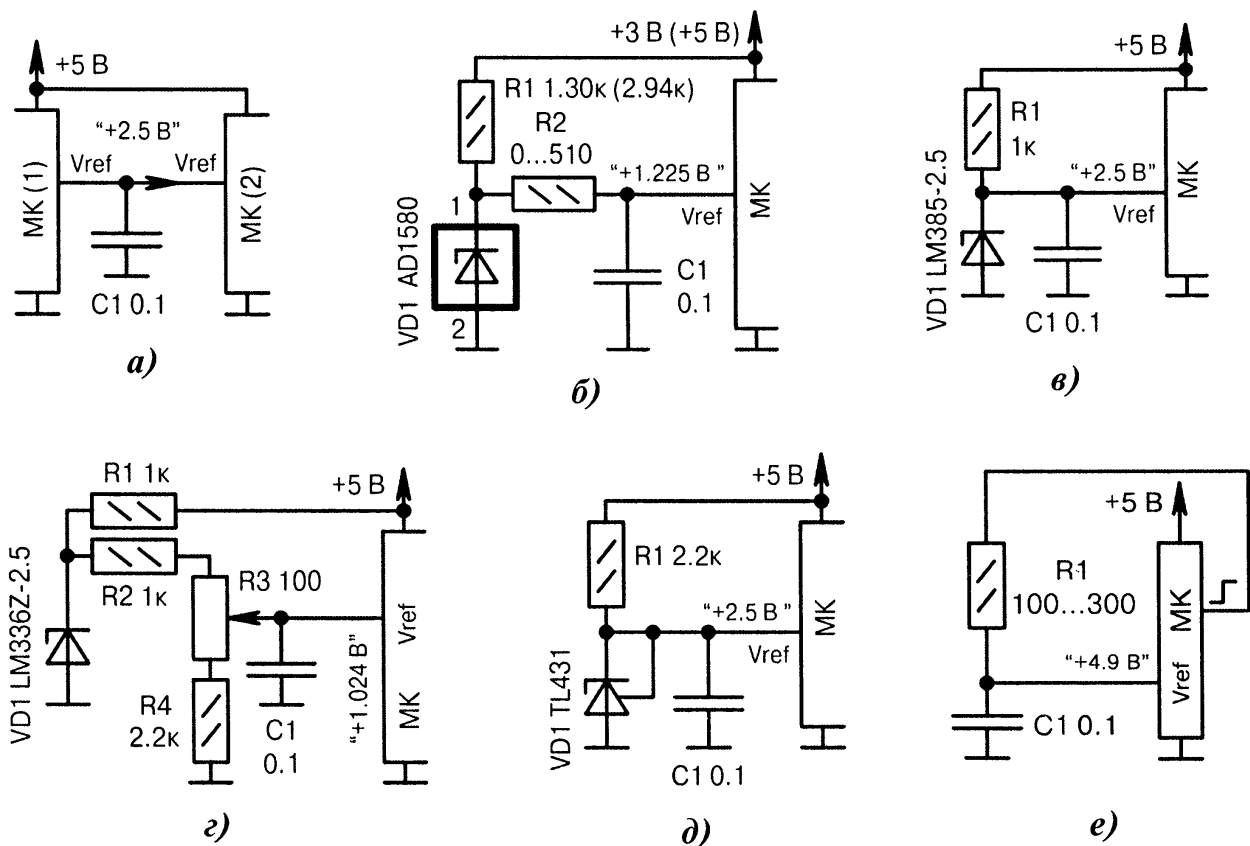


Рис. 4.7. Схемы подключения внешних ИОН на дискретных элементах (начало):

а) МК(1) использует для своих измерений внутренний ИОН. Его выходное напряжение  $V_{REF}$  является внешним ИОН по отношению к МК(2). Достоинство — синхронизация измерений;

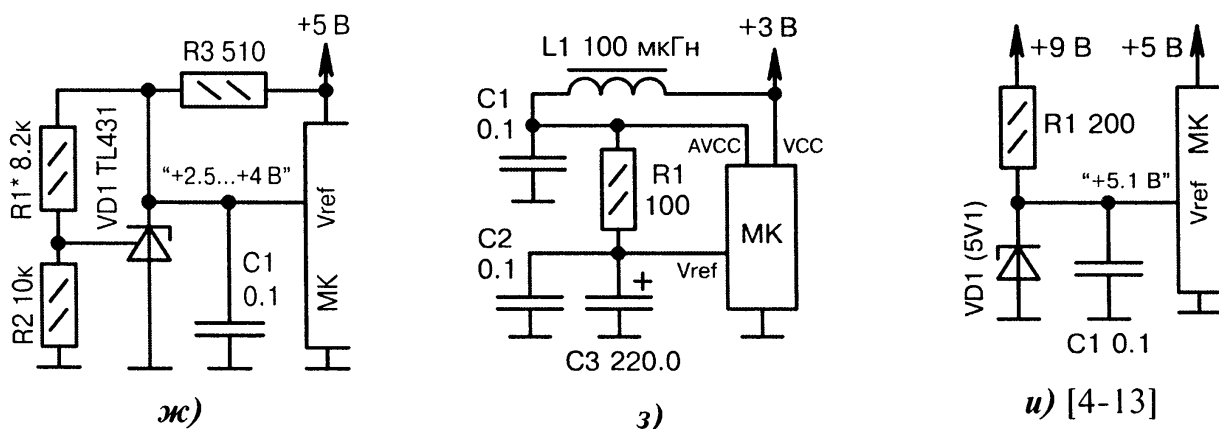
б)  $VD1$  — это прецизионный стабилизатор «Shunt Voltage Reference» (фирма Analog Devices) с точностью поддержания выходного напряжения  $\pm 0.1\%$ . Фильтр  $R2$ ,  $C1$  снижает ВЧ-помехи. При переходе на повышенное питание +5 В необходимо заменить резистор  $R1$  (2.94 кОм). Для снижения потребляемого тока можно увеличить сопротивление резистора  $R1$  до 34.8...41.2 кОм;

в)  $VD1$  — это широкодиапазонный стабилизатор «Adjustable Voltage Reference» фирмы National Semiconductor. Резистор  $R1$  задаёт ток через  $VD1$  в пределах 0.01...20 мА. Если вместо LM385-2.5 поставить LM4040-4.1 и увеличить резистор  $R1$  до 10 кОм, то  $V_{REF}$  станет равным +4.096 В;

г) регулируемый ИОН с плавной юстировкой напряжения многооборотным резистором  $R3$ ;

д)  $VD1$  — это трёхвыводной стабилизатор «Programmable Shunt Regulator» (серия «431»). Двухполюсное включение  $VD1$  определяет опорное напряжение +2.5 В (или +1.25 В в серии «1431»);

е) опорное напряжение +4.9 В поступает с выходной линии МК. Такое включение полезно при тестах (НИЗКИЙ/ВЫСОКИЙ уровень) и для удобства разводки печатной платы; ☉



⊖ Рис. 4.7. Схемы подключения внешних ИОН на дискретных элементах (окончание):

ж) регулируемый ИОН на основе трёхвыводного стабилитрона *VD1* серии «431». Опорное напряжение определяется по формуле  $V_{REF}[B] = 2.5 \cdot (1 + R_1[\text{кОм}] / R_2[\text{кОм}])$ ;

з) напряжение  $V_{REF}$  близко к напряжению питания. Из особенностей — двухступенчатая фильтрация помех при помощи элементов *L1*, *C1* и *R1*, *C2*, *C3*;

и) на вход  $V_{REF}$  подаётся опорное напряжение, которое чуть больше напряжения питания  $V_{CC}$  МК. Это обеспечивает широкий динамический диапазон измерений, но надо следить, чтобы разница между  $V_{REF}$  и  $V_{CC}$  не превышала 0.2 В. Если поставить стабилитрон *VD1* LM4040DIZ-5.0, то опорное напряжение уменьшится до +5.0 В, а точность установки улучшится с 5 до 1%.

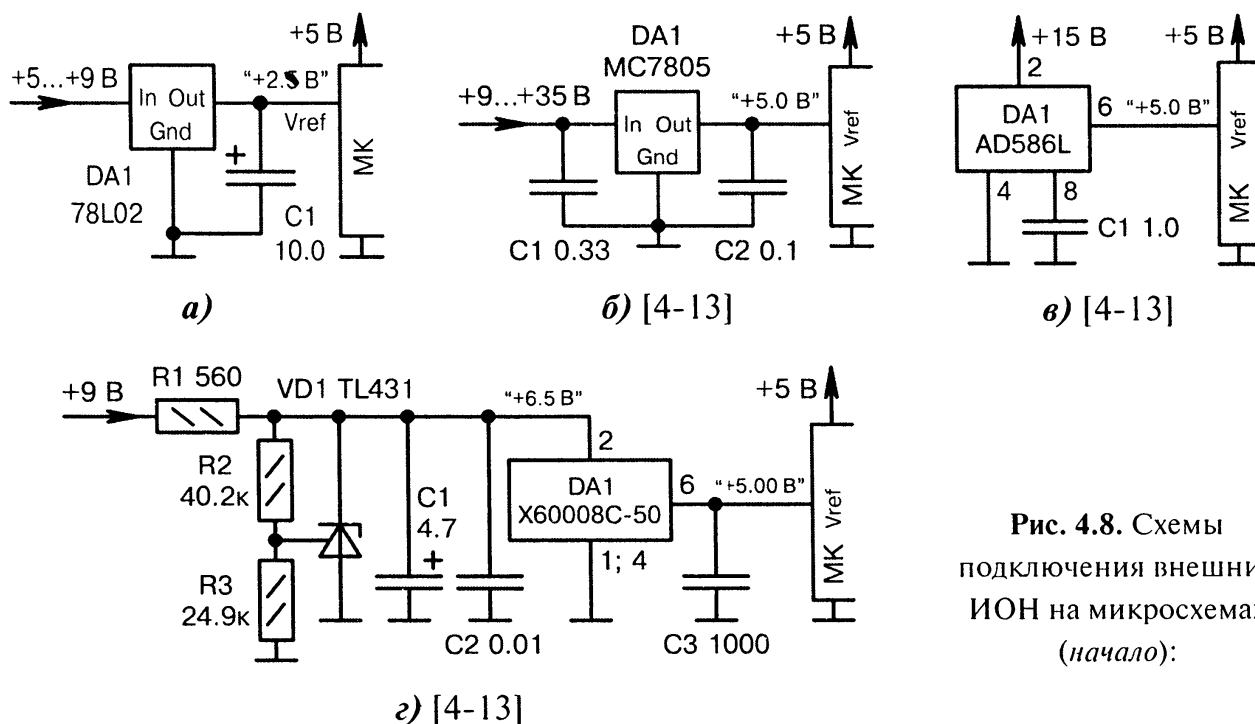


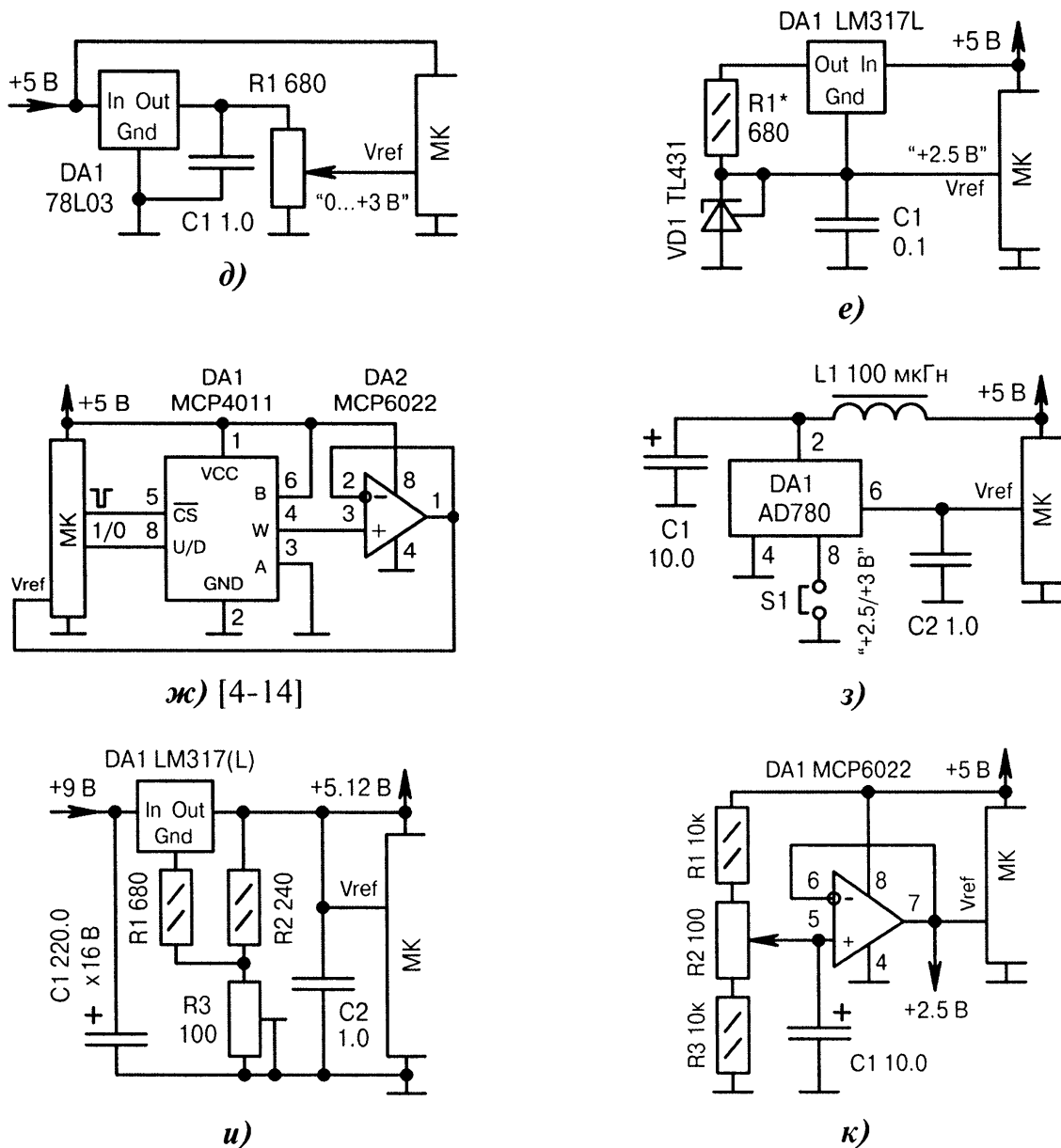
Рис. 4.8. Схемы подключения внешних ИОН на микросхемах (начало):

а) использование низковольтного стабилизатора напряжения *DA1* в качестве ИОН;

б) точность установки опорного напряжения составляет 2.4% (5.00 В ± 120 мВ). Замена стабилизатора *DA1* — 78L05. Конденсаторы *C1* и *C2* необходимо располагать возле выводов *DA1*;

в) точность установки опорного напряжения *DA1* составляет 0.05% (5.00 В ± 2.5 мВ), температурная стабильность 5 ppm/°C (25 мкВ на один градус);

г) двухступенчатый стабилизатор (*VD1*, *DA1*). Точность установки опорного напряжения *DA1* (фирма Intersil) составляет 0.01% (5.00 В ± 0.5 мВ), температурная стабильность 5 ppm/°C; ⊖



⊙ Рис. 4.8. Схемы подключения к МК внешних ИОН на микросхемах (окончание):

- д) плавно регулируемый ИОН в пределах 0...+3 В. Замена стабилизатора DA1 аналогичным, но с другим выходным напряжением (+2.5...+5 В), задаёт верхний предел регулирования;
- е) повышенная стабильность ИОН благодаря генератору тока на микросхеме DA1. Ток через трёхвыводной стабилитрон VD1 (1...8 мА) определяется по формуле  $I[\text{мА}] = 1.25 / R_1[\text{кОм}]$ ;
- ж) программно регулируемый ИОН 0...+5 В на микросхеме DA1 фирмы Microchip. Функционально это дискретный 6-битный переменный резистор с крайними выводами «А», «В» и средним выводом «W». Сопротивление от 2.1 до 50 кОм. Буферным повторителем служит ОУ DA2;
- з) оперативная смена двух напряжений. Высокоточный ИОН на микросхеме DA1 (фирма Analog Devices) выдаёт напряжение +2.5 или +3 В в зависимости от положения переключки S1. Фильтр L1, C1 снижает помехи по питанию;
- и) вывод  $V_{\text{REF}}$  МК соединяется с линией питания, которая и служит внешним ИОН. Напряжение питания регулируется резистором R3. Значение +5.12 В выбрано не случайно. Это сделано для того, чтобы при 10-битном АЦП МК цена одного деления составляла ровно 5 мВ;
- к) регулируемый ИОН с повышенной нагрузочной способностью на основе повторителя DA1. Выходное напряжение +2.5 В может использоваться для средней точки других ОУ.

## 4.6. Тракты аналогового и цифрового питания

Стабильность, помехоустойчивость и точностные параметры устройства, собранного на МК, часто зависят от незначительных на первый взгляд факторов. Одним из них является качество разводки аналоговых и цифровых цепей на печатной плате. Дело в том, что импульсный тракт МК является мощным источником электромагнитных помех. Чтобы снизить их уровень, аналоговый и цифровой тракты должны быть максимально изолированными друг от друга.

Вопросы разделения сигналов успешно решаются в рамках теории ЭМС (электромагнитная совместимость). Меры конструктивного характера, включающие разумную трассировку проводников на плате, оптимальный выбор элементной базы и режимов согласования, подробно описаны в [4-15]. Для устройств, содержащих МК, требуются специфические решения (Рис. 4.9, а...г, Рис. 4.10, а...г).

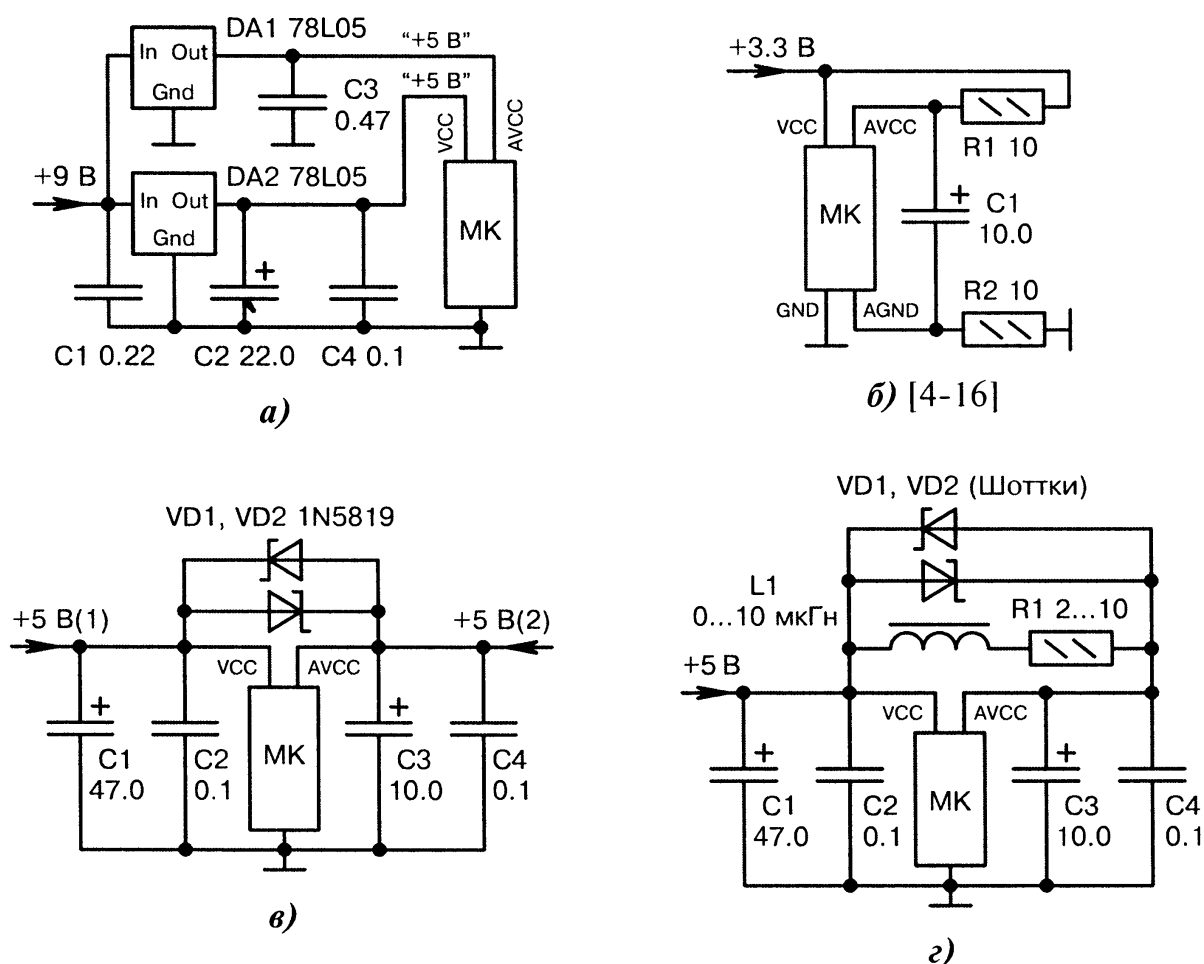


Рис. 4.9. Схемы организации аналогового питания МК:

- а) развязка цифрового (VCC) и аналогового (AVCC) питания МК через два одинаковых интегральных стабилизатора напряжения DA1, DA2;
- б) организация аналогового питания при «двухземельном» МК (GND, AGND);
- в) для отдельного питания цифровой и аналоговой части МК используются два независимых источника напряжения. Диоды VD1, VD2 обеспечивают разность потенциалов не более 0.2 В;
- г) совместное питание цифровой и аналоговой части МК от одного источника +5 В. Диоды VD1, VD2 шунтируют выбросы напряжения при колебательном «звоне» в катушке L1.

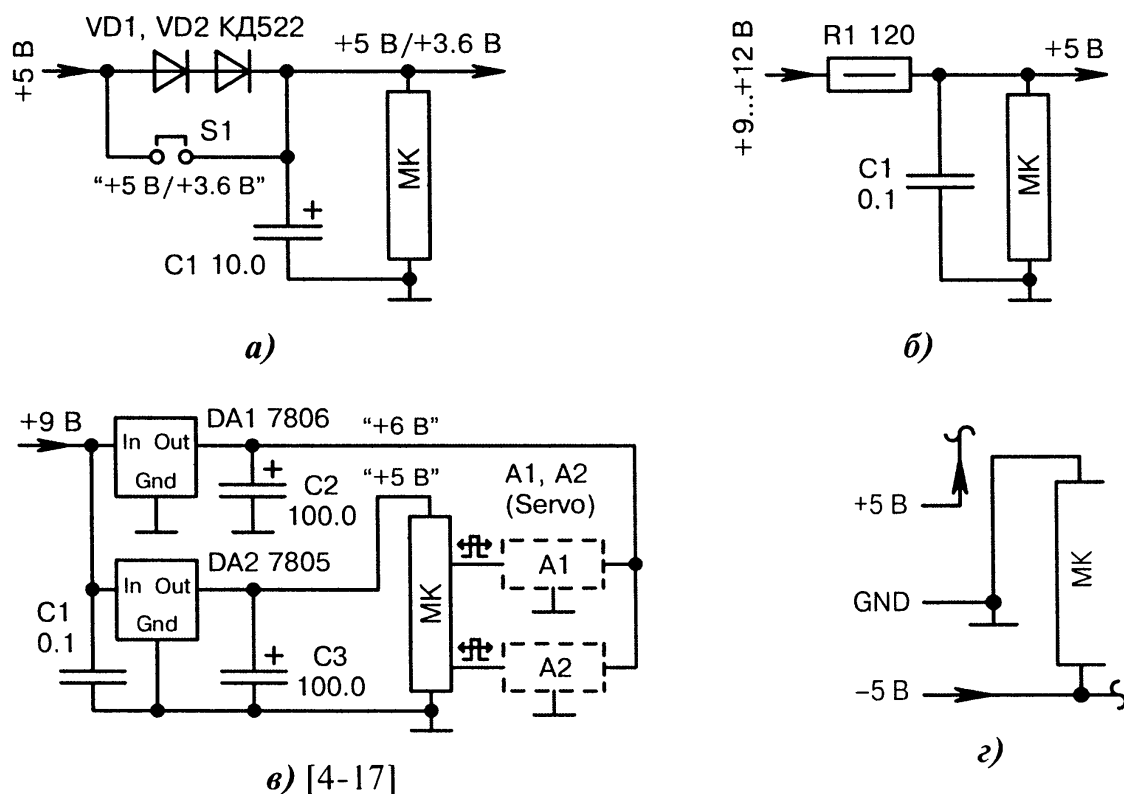


Рис. 4.10. Схемы организации аналого-цифрового питания МК:

а) оперативное изменение напряжения питания МК перемычкой *S1*. При разомкнутой перемычке диоды *VD1*, *VD2* совместно с конденсатором *C1* служат простейшим ФНЧ. Для точного подбора напряжения +3.6 В можно применить диоды Шоттки;

б) подача цифрового и аналогового питания на так называемый «высоковольтный» МК (например, Microchip PIC16HV616), имеющий внутренний параллельный стабилизатор напряжения +5 В. Допустимый ток стабилизации питания МК составляет 4...50 мА, что следует учитывать при выборе внешних цепей нагрузки. Входное напряжение может быть значительно больше, чем +12 В, но только при правильном выборе сопротивления и мощности резистора *R1*;

в) для снижения коммутационных помех по питанию, поступающих от сервомеханизмов *A1*, *A2*, применяются два отдельных интегральных стабилизатора *DA1*, *DA2*. Они могут иметь разное или одинаковое выходное напряжение;

г) при наличии двухполярного источника напряжения может использоваться инверсная подача питания на МК, при этом уровни входных информационных сигналов должны быть в пределах от -5 В (НИЗКИЙ уровень) до 0 В (ВЫСОКИЙ уровень). Если сигналы выходят за пределы -5.3 В и +0.3 В, то необходимо ставить диодную защиту по входу, при этом аноды диодов подключаются к цепи -5 В, а катоды — к цепи GND.



**Список использованных источников и литературы к главе 4**

- 4-1. Szymanski, J. Digital Audio Player / Jan Szymanski // Circuit Cellar. — 2006. — № 9. — P. 40–47.
- 4-2. Рюмик, С. Мигающие светодиоды — это не только 2–3 импульса в секунду / Сергей Рюмик // Радиохобби. — 2002. — № 1. — С. 31–34.
- 4-3. Eady, F. PCB Basics: From Your Brain to a Finished Board / Fred Eady // Nuts & Volts. — 2008. — № 6. — P. 74–80.
- 4-4. AVR180: External Brown-out Protection (Rev. 1051B–AVR–05/02) [Электронный ресурс] / Atmel Corporation, 2002. — Режим доступа: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc1051.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc1051.pdf) (англ.). — 05.07.2009.
- 4-5. Матанцев, А. Телефонный охранный сигнализатор / А. Матанцев // Радио. — 2005. — № 1. — С. 42–43.
- 4-6. Kibalo, T. Java-Based EarthBox Watering System / Tom Kibalo // Circuit Cellar. — 2007. — № 4. — P. 20–27.
- 4-7. Рюмик, С. Как заблокировать «watchdog»? / Сергей Рюмик // Радиомир. — 2004. — № 10. — С. 20–21.
- 4-8. Дайджест зарубежной периодики. Полифонический дверной звонок // Радиохобби. — 2003. — № 5. — С. 18.
- 4-9. Siddons, J. Automatic PSU Control / Jez Siddons // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 1. — P. 80.
- 4-10. Кузнецов, А. Интересные приёмы практического использования микроконтроллеров PIC12F6xx фирмы Microchip / А. Кузнецов // CHIP NEWS Украина. — 2003. — № 4. — С. 52–56; № 5. — С. 63–68.
- 4-11. Вакуленко, А. Экономичный цифровой термометр / А. Вакуленко // Радио. — 2005. — № 3. — С. 40–41.
- 4-12. Lacoste, R. Low-Power Techniques / Robert Lacoste // Circuit Cellar. — 2008. — № 4. — P. 22–31.
- 4-13. Malone, D. Build a .01% Accurate Voltage Reference / Doug Malone // Nuts & Volts. — 2007. — № 9. — P. 52–55.
- 4-14. McCollum, P. Radiation Detection / Pete McCollum // Circuit Cellar. — 2008. — № 11. — P. 14–23.
- 4-15. Уилльямс, Т. ЭМС для разработчиков продукции / Тим Уилльямс. — М.: Издательский Дом «Технологии», 2003. — 540 с. — ISBN 5-94833-003-6.
- 4-16. Eady, F. 16 Bits Equals Twice The Fun / Fred Eady // Nuts & Volts. — 2007. — № 11. — P. 82–87.
- 4-17. Gravatt, D. Two Axis Sun Tracker for Small Solar Panels / Dan Gravatt // Nuts & Volts. — 2007. — № 8. — P. 57–59.

## ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УЗЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ МК

*Наука объясняет то, что функционирует, а не то, что есть  
(Альбер Камю)*

### 5.1. Стабилизация частоты кварцевым резонатором

Чем стабильнее работает МК, тем лучше. Эта аксиома в первую очередь относится к тактовой частоте задающего генератора. Обеспечить её высокую стабильность могут кварцевые резонаторы, подключаемые к выводам ХТ1 (вход) и ХТ2 (выход) подсистемы синхронизации МК.

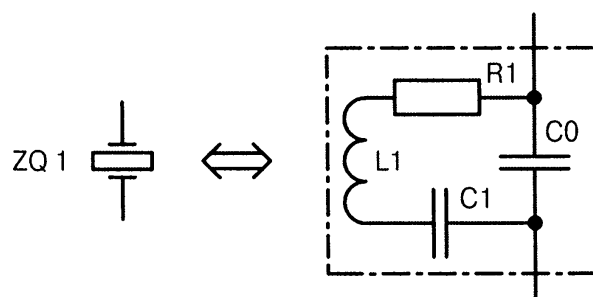
Немного истории. В 1880 г. французскими учёными братьями Пьером и Жаком Кюри было открыто новое физическое явление — пьезоэлектричество. В 1921 г. профессор Веслейского университета У. Кэди подключил кварцевую пластину к радиогенератору, что обеспечило заметную стабилизацию излучаемой частоты. Радиолюбители сразу же применили эту новинку в самодельных коротковолновых радиопередатчиках середины 1920-х годов.

К настоящему времени существование пьезоэлектрического эффекта обнаружено более чем у 1000 веществ. Вначале использовались кристаллы турмалина и сегнетовой соли. Позже стали применяться кристаллы природного кварца  $\text{SiO}_2$  различной окраски: горный хрусталь (бесцветный), раухтопаз (дымчатый), морион (чёрный), цитрин (золотисто-жёлтый), аметист (сиреневый).

В 1950-х годах была успешно решена проблема выращивания монокристаллов искусственного кварца, который не только не уступает, но и по ряду показателей даже превосходит свой природный аналог.

Диапазон частот современных кварцевых резонаторов составляет от 32768 Гц до 300...400 МГц. Среди них условно выделяют низкочастотные (до 1 МГц), среднечастотные (1...30 МГц) и высокочастотные (свыше 30 МГц) резонаторы.

На **Рис. 5.1** показана эквивалентная схема кварцевого резонатора. Элементы  $L1$ ,  $C1$ ,  $R1$  относятся к ветви последовательного контура. Физически они не существуют, но являются аналогами механических характеристик: массы ( $L1$ ),



**Рис. 5.1.** Эквивалентная схема кварцевого резонатора.

упругих свойств ( $CI$ ), потерь энергии ( $RI$ ). Последний параметр определяет добротность колебательной системы.

Статическая ёмкость кварцедержателя  $CO$  параллельно с элементами  $L1$ ,  $CI$ , образует ещё один контур, параллельный. Итого на частотной оси размещаются две базовые точки — последовательного и параллельного резонансов. В первой точке кварцевый резонатор имеет минимальное сопротивление, во второй — максимальное, между ними он ведёт себя подобно высокодобротной индуктивности.

Существование двух «седловых» частот у кварцевых резонаторов позволяет разделить схемы их включения на два типа [5-1]:

- генераторы с параллельным резонансом или осцилляторы генераторы (Рис. 5.2, а), у которых условие баланса фаз обеспечивается индуктивной составляющей. Колебательная система, состоящая из индуктивности (схема замещения резонатора  $ZQ1$ ) и последовательно соединённых конденсаторов  $C1$ ,  $C2$ , на рабочей частоте подобна параллельному контуру (отсюда и название). Усилитель  $A1$  должен изменять, точнее, инвертировать, фазу сигнала на нечётное число полупериодов:  $180^\circ$ ,  $540^\circ$ ,  $900^\circ$  и т.д.;
- генераторы с последовательным резонансом или фильтровые генераторы (Рис. 5.2, б), в которых резонатор  $ZQ1$  работает вблизи минимума своего сопротивления при малом сдвиге фазы между напряжением и током. Последовательный резонанс обеспечивает узкую полосу пропускания, в связи с чем отфильтровываются гармоники (отсюда и название). Усилитель  $A1$  должен изменять фазу сигнала на чётное число полупериодов:  $360^\circ$ ,  $720^\circ$ ,  $1080^\circ$  и т.д.

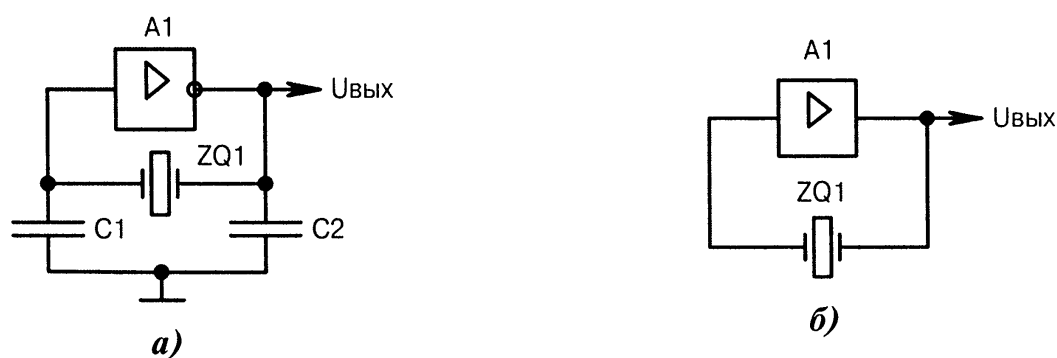


Рис. 5.2. Схемы пьезостабилизированных генераторов:

а) генератор с параллельным резонансом; б) генератор с последовательным резонансом.

При покупке кварцевого резонатора (на сленге «кварца») следует проверить его внешний вид на «фирменность», а именно, убедиться в наличии легко читаемой и не стираемой пальцами лазерной маркировки с обозначением частоты, знака изготовителя, даты производства, рекомендуемой ёмкости нагрузки. Последний параметр важен, если требуется обеспечить устойчивость запуска строго на штатной частоте в условиях разброса питания и температуры окружающей среды.

Для бытовых схем с МК, как правило, применяют недорогие низко- и средне-частотные кварцевые резонаторы без претензий на высокую стабильность параметров и точность настройки. Основным является режим генерации с параллельным резонансом (Рис. 5.3, а...и). Ещё бывают схемы с электронной подстройкой частоты (Рис. 5.4, а...в), а также с несколькими резонаторами (Рис. 5.5, а...г).

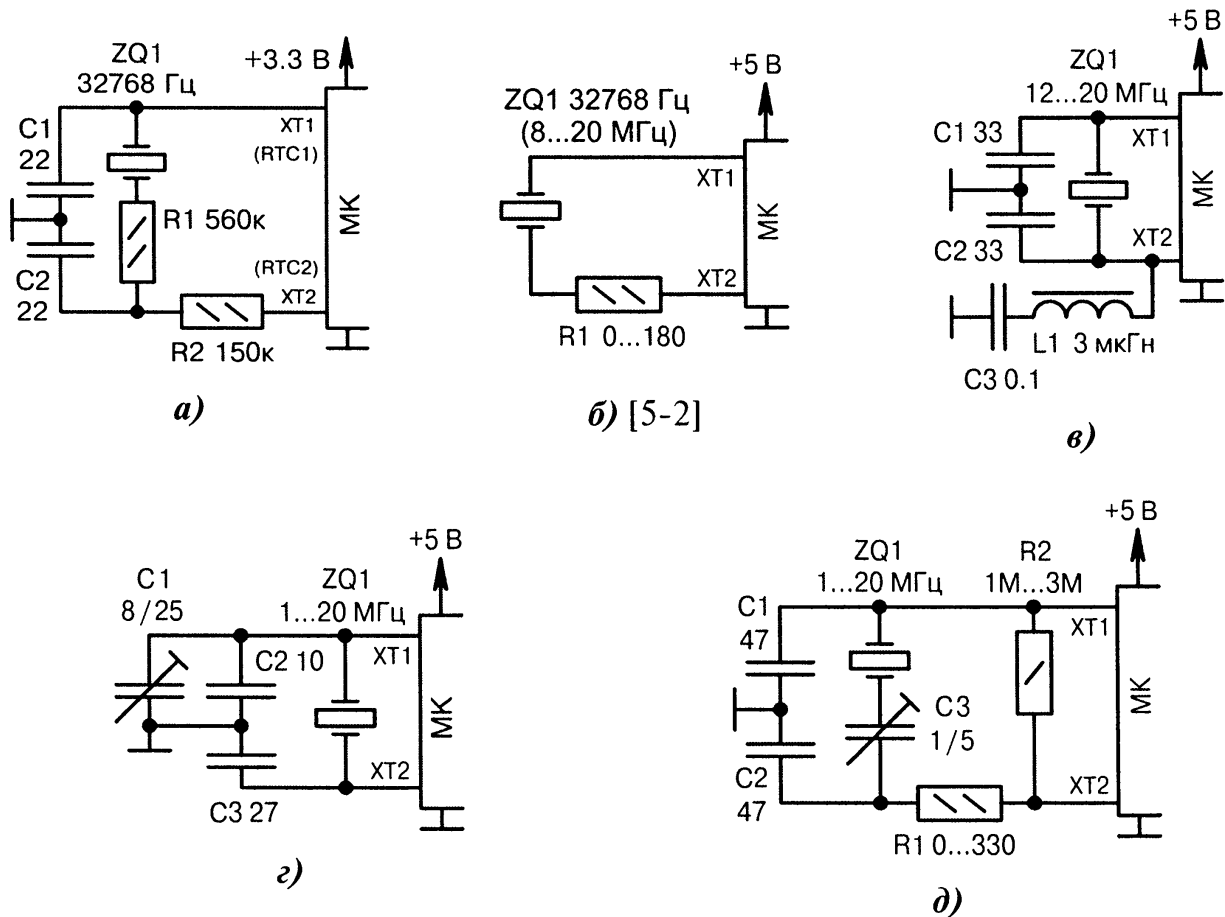


Рис. 5.3. Схемы подключения кварцевых резонаторов к МК (начало):

а) необходимость в резисторах  $R1$ ,  $R2$  определяется экспериментально по устойчивости запуска МК во всём диапазоне рабочих температур и напряжений питания. Реально в схемах ставится один из двух резисторов или оба заменяются перемычками. Конденсаторы  $C1$ ,  $C2$  могут отсутствовать, что определяется указаниями из даташита для выводов XT1, XT2 или RTC1, RTC2;

б) отсутствие конденсаторов «обвязки» возле низкочастотного кварцевого резонатора ZQ1 является штатным режимом работы при условии, что конденсаторы находятся внутри МК и подключаются к выводам XT1, XT2 установкой определённых конфигурационных битов. Высоко-частотные кварцевые резонаторы тоже могут подключаться к МК напрямую, но устойчивость запуска не гарантируется, надо проверять на практике;

в) цепочка  $C3$ ,  $L1$  шунтирует вывод XT2 на низких частотах, предотвращая запуск кварцевого резонатора ZQ1 на первой гармонике. Эта схема эффективна для кварцевых резонаторов, работающих на третьей и пятой механических гармониках. Элементы  $C3$ ,  $L1$  могут подключаться не только к выводу XT2, но и к выводу XT1;

г) кварцевый резонатор ZQ1 включается по стандартной схеме между выводами XT1 и XT2 МК. Конденсатор  $C1$  подстраивает в небольших пределах частоту генерации. Рекомендуемые ёмкости конденсаторов указываются в даташитах, но реально они могут быть другими и не обязательно одинаковыми. Общий принцип — чем выше частота, тем меньше ёмкость. Один из двух параллельно включённых конденсаторов  $C1$  и  $C2$  может отсутствовать;

д) конденсатором  $C3$  подстраивают частоту генерации в небольших пределах. Резисторы  $R1$ ,  $R2$  облегчают условия автозапуска при крайних значениях температуры и напряжения питания. Резистор  $R2$  может отсутствовать, а конденсатор  $C3$  и резистор  $R1$  допускается заменить перемычками; Ⓞ

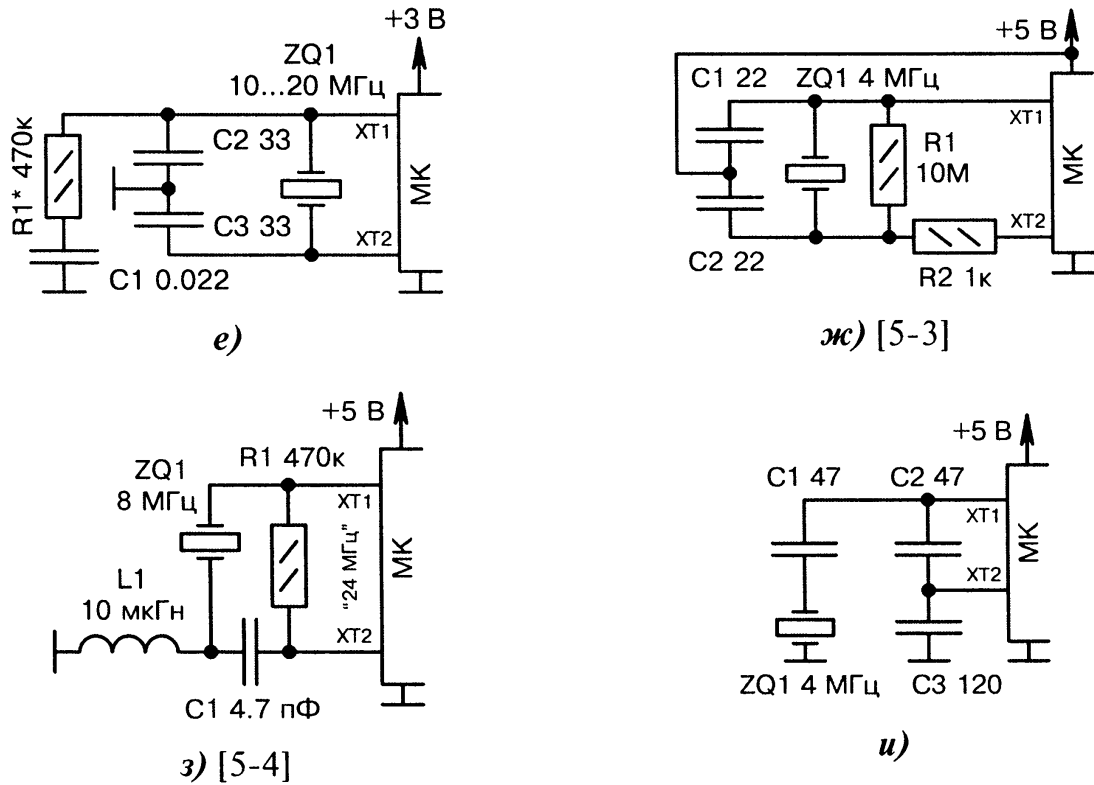


Рис. 5.3. Схемы подключения кварцевых резонаторов к МК (окончание):

е) резистор  $R1$  по высокой частоте шунтирует вход  $XT1$  генератора МК, что может улучшить условия самовозбуждения при низком напряжении питания;

ж) общая точка соединения конденсаторов  $C1, C2$  подключается не к общему проводу, а к питанию. Это может понадобиться, например, если «плюс» питания соединяется с «массой», или таким путём удобнее делать разводку проводников на печатной плате;

з) запуск кварцевого резонатора  $ZQ1$  на третьей гармонике (24 МГц). Требуется предварительное макетирование с подбором элементов  $L1, C1, R1$ ;

и) схема применяется, если один из выводов кварцевого резонатора  $ZQ1$  обязательно должен иметь соединение с общим проводом. Требуется предварительное макетирование с подбором ёмкостей конденсаторов.

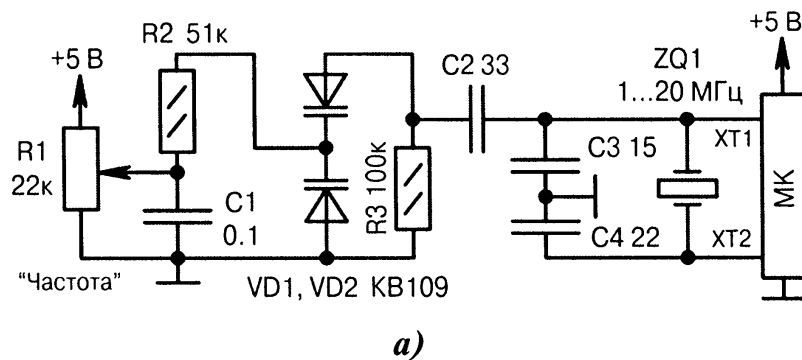


Рис. 5.4. Схемы с электронной подстройкой частоты кварцевого резонатора (начало):

а) параллельно конденсатору  $C3$  подключается цепочка, состоящая из конденсатора  $C2$  и двух варикапов  $VD1, VD2$ . Резистором  $R1$  изменяется напряжение на варикапах (их ёмкость), вследствие чего подстраивается в небольших пределах частота генерации; ◉

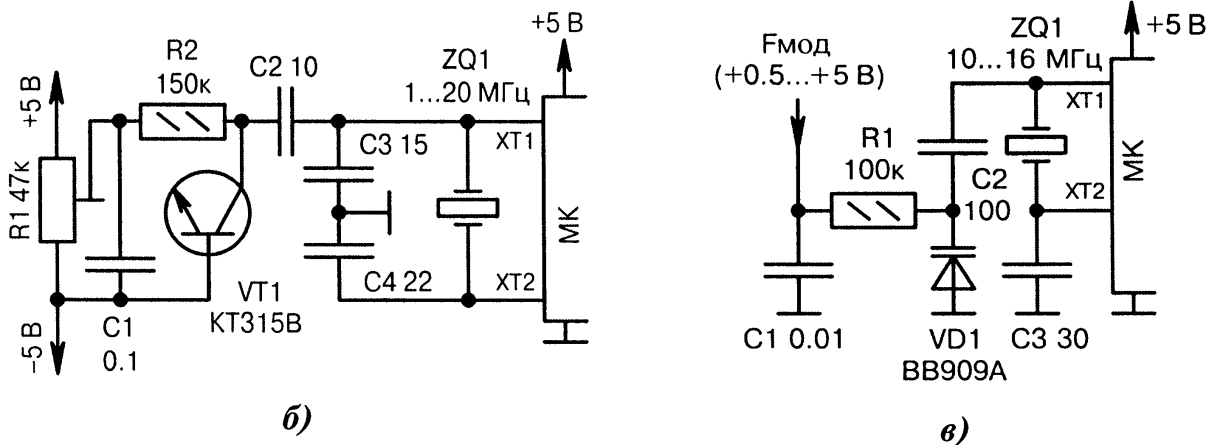


Рис. 5.4. Схемы с электронной подстройкой частоты кварцевого резонатора (окончание):

б) транзистор *VT1* используется как варикап с изменяемой ёмкостью. Частота генерации регулируется резистором *R1*. Вновь испечённый «транзисторный варикап» по высокой частоте подключается параллельно конденсатору *C3* с учётом последовательного конденсатора *C2*;

в) частота задающего кварцевого генератора МК модулируется управляющим напряжением с частотой  $F_{\text{мод}}$ . Ёмкость высокочастотного варикапа *VD1* изменяется в пределах от 20 до 40 пФ при напряжении модулирующего сигнала соответственно от +5 до +0.5 В.

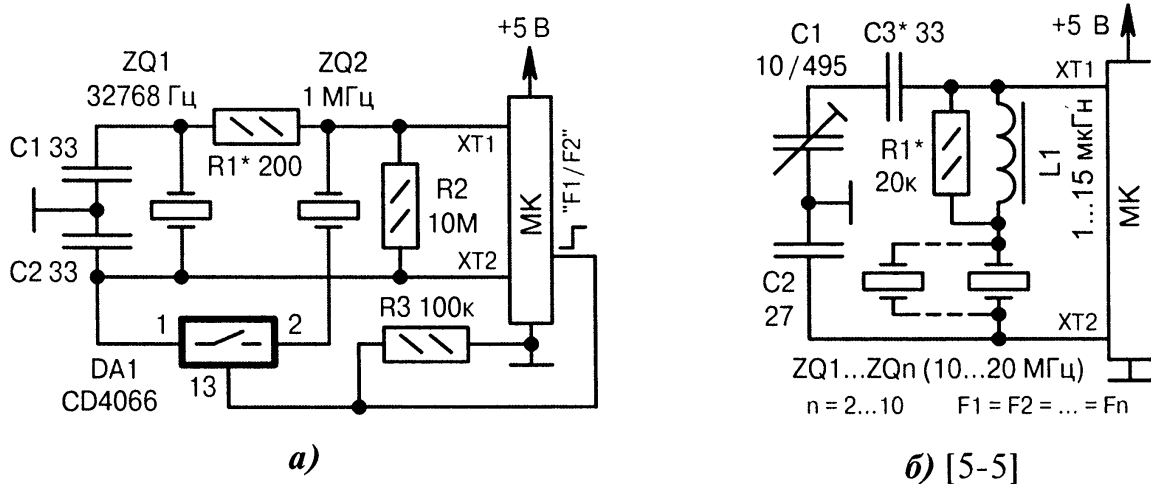


Рис. 5.5. Схемы подключения нескольких кварцевых резонаторов к МК (начало):

а) переключение двух тактовых частот  $F_1$  (32768 Гц) и  $F_2$  (1 МГц) осуществляется по сигналу от МК. Когда электронный ключ микросхемы *DA1* разомкнут, то МК работает на частоте  $F_1$ , когда замкнут — на частоте  $F_2$ . Резистор *R2* может отсутствовать. Вывод 7 микросхемы *DA1* соединяется с общим проводом, а вывод 14 — с цепью +5 В. На время переключения частоты должна быть сделана программная пауза. Не лишним будет предусмотреть рестарт МК;

б) параллельное включение нескольких низкочастотных кварцевых резонаторов  $ZQ1...ZQn$  расширяет диапазон регулирования частоты. Конденсатором *C1* можно плавно перестраивать тактовую частоту 20 МГц на 120 кГц при сохранении «кварцевой» стабильности генерации. Это очень хороший показатель для схем подобного класса. Резистор *R1* сопротивлением 4.7...20 кОм уменьшает неравномерность амплитуды. Конденсатор *C3* и катушка *L1* задают диапазон перекрытия по частоте. Кварцевые резонаторы должны быть одного типа и одной номинальной частоты. Оптимальное их количество подбирается экспериментально, обычно 4 или 5; ●

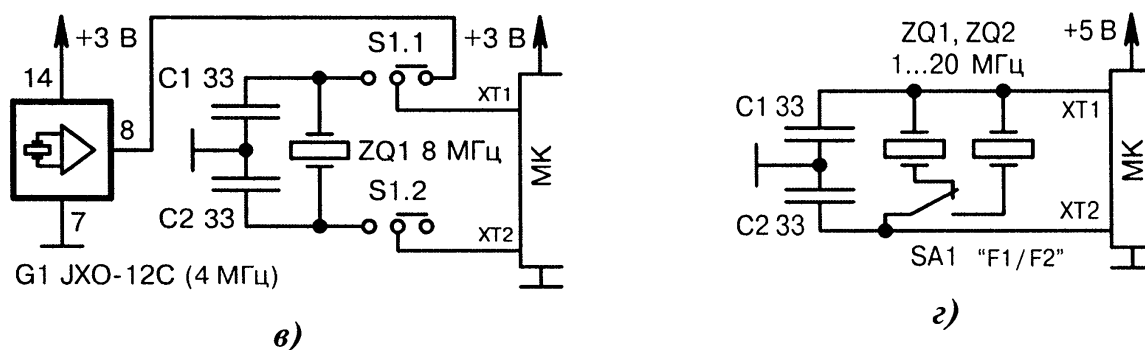


Рис. 5.5. Схемы подключения нескольких кварцевых резонаторов к МК (окончание):

- в) движковый переключатель  $S1$  коммутирует тактовый сигнал МК от кварцевого генератора  $G1$  или от кварцевого резонатора  $ZQ1$ . После переключения необходимо произвести сброс МК;
- г) смена частоты генерации осуществляется механическим переключателем  $SA1$ , который должен иметь малую переходную ёмкость между своими контактами (единицы пикофарад). После изменения частоты необходимо сделать начальный сброс МК.

## 5.2. Стабилизация частоты пьезокерамическим резонатором

Исторически первыми появились кварцевые резонаторы. Но в конце 1940-х годов независимые исследования советских, американских и японских учёных привели к обнаружению пьезоэлектрических свойств у керамики из титаната бария. Керамика гораздо дешевле, чем природный или искусственный кварц, поэтому следующей задачей стало получение материалов с максимально стабильными параметрами. Современная пьезокерамика изготавливается из цирконата-титаната свинца  $Pb(Zr, Ti)O_3$ . В литературе её называют PZT- или ЦТС-керамикой [5-6].

Термин «пьеzo» происходит от греческого «piezo» — давя. При воздействии на пьезокерамический резонатор (ПКР) переменного электрического поля резонатор начинает вибрировать. При внешней частоте, равной частоте внутренних механических колебаний, возникает высокочастотный резонанс.

На Рис. 5.6 показана эквивалентная схема ПКР. Она в целом совпадает со схемой кварцевого резонатора, но статическая ёмкость  $C0$  заменяется нелинейной «параллельной» ёмкостью  $C_{\Pi}$  и добавляется резистор утечки  $R_0 = 50...500 \text{ кОм}$  [5-1]. В современных ПКР сопротивление  $R0$  может быть гораздо больше (мегаомы).

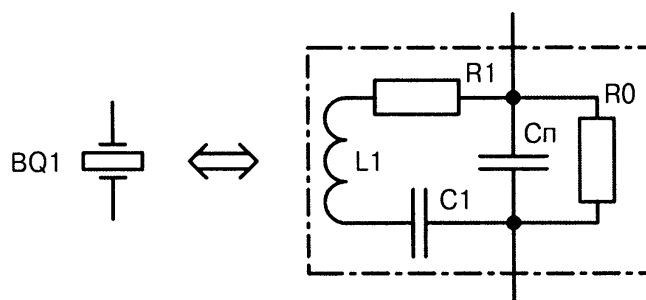


Рис. 5.6. Эквивалентная схема ПКР.

Типовые значения элементов, входящих в ПКР фирмы Murata Manufacturing, на частоте 3.58 МГц:  $L_1 = 0.445$  мГн;  $C_1 = 4.79$  пФ;  $C_{\Pi} = 41.7$  пФ;  $R_1 = 9.9$  Ом. По сравнению с кварцевыми резонаторами наблюдается на порядок меньшее отношение ёмкостей конденсаторов  $C_{\Pi}/C_1$ , что на практике означает более широкий диапазон перестройки по частоте (Табл. 5.1).

Таблица 5.1. Сравнение параметров кварцевых и пьезокерамических резонаторов

Сравнительные параметры	Кварцевые резонаторы	Пьезокерамические резонаторы
Отношение ёмкостей $C_0/C_1$ или $C_{\Pi}/C_1$	125...2000	5...100
Коэффициент старения за 1 год	$\pm(1...30)10^{-6}$	$\pm(300...500)10^{-6}$
Добротность	$10^4...10^6$	600...4000
Температурная стабильность	$\pm(0.5...2)10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\pm(10...60) 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Условная стоимость	1	0.2...0.7

Добротность, коэффициент старения и температурная стабильность у ПКР хуже, чем у кварцевых резонаторов. Это связано с внутренними потерями в пьезо-керамике, обусловленными доменной структурой и неоднородным поликристаллическим строением.

Наибольшая скорость старения пьезокерамики приходится на первый год эксплуатации. Интересно отметить, что старение приводит к увеличению резонансной частоты и повышению добротности. Налицо один из редких случаев, когда у радиоэлемента с течением времени в чем-то даже улучшаются параметры.

В частотном плане все ПКР можно условно разделить на следующие группы:

- низкочастотные (до 1 МГц);
- среднечастотные (1...10 МГц);
- высокочастотные (10...300 МГц);
- сверхвысокочастотные (300...4500 МГц).

На низких частотах ПКР могут дать фору кварцевым резонаторам, имея более низкое сопротивление при последовательном резонансе. Например, на частотах 200...800 кГц это сопротивление у ПКР составляет 20...70 Ом, а у кварцевых резонаторов — 100...1000 Ом. На средних частотах ПКР изготавливаются массово, но только в узком «ширпотребовском» диапазоне частот 3...4 МГц, что актуально, в частности, для пультов дистанционного управления. Высокочастотные ПКР уже вплотную осваивают частоты 50...70 МГц. К сверхвысокочастотным ПКР относятся керамические резонаторы коаксиального типа, применяемые для стабилизации и перестройки частоты разнообразных радиотехнических устройств.

В целом ПКР занимают промежуточное положение между кварцевыми резонаторами и LC-контурными. Основные достоинства ПКР: низкая стоимость, средняя стабильность, широкий диапазон перестройки по частоте, высокая устойчивость к падениям и ударам, большая допустимая перегрузка по мощности. В любительской практике обычно используются диапазоны 0.3...0.6 МГц и 1...4 МГц.

Схемы подключения ПКР и кварцевых резонаторов во многом совпадают и могут замещать друг друга. Различают двух- и трёхвыводные ПКР (Рис. 5.7, а...г). Последние имеют внутри два конденсатора, соединённые «треугольником», как в схемах генераторов МК с параллельным резонансом.



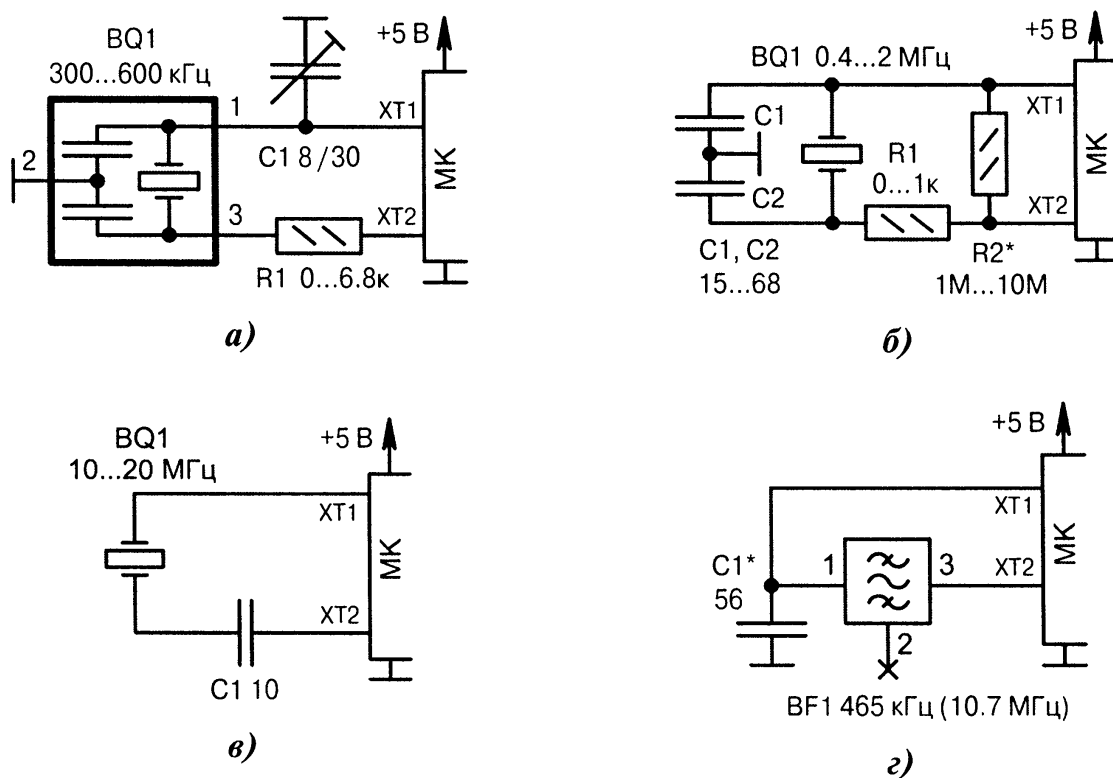


Рис. 5.7. Схемы подключения ПКР к МК:

а) *BQ1* — это трёхвыводной ПКР. Конденсатор *C1* подстраивает частоту генерации, но он может отсутствовать. Резистор *R1* в некоторых случаях облегчает начальный самозапуск;

б) типовое подключение двухвыводного ПКР *BQ1*. Резисторы *R1*, *R2* подбираются экспериментально по максимальной устойчивости запуска генератора и могут отсутствовать;

в) упрощённая схема подключения двухвыводного ПКР, требующая практической проверки в каждом конкретном случае. Конденсаторы «обвязки» должны находиться внутри МК и активизироваться программированием конфигурационных битов;

г) тактовый генератор на доработанном пьезокерамическом фильтре *BF1*. Доработка заключается в аккуратной разборке фильтра и извлечении из него отдельных дисков, каждый из которых можно рассматривать как самостоятельный ПКР. Конденсатором *C1* точно подстраивают частоту.

### 5.3. Внешние RC- и LC-генераторы

Внешние RC- и LC-генераторы применяются в микроконтроллерных схемах, если требуется установить нестандартную тактовую частоту, обеспечить её плавное регулирование, произвести частотную или фазовую модуляцию. В других случаях проще, дешевле и выгоднее использовать внутренний RC-генератор МК.

Стабильность частоты RC-генераторов (Рис. 5.8, а...е) на порядок хуже, чем у ПКР. Это связано с низкой добротностью RC-цепей. В генераторах, собранных на их основе, частота сильно зависит от температуры и напряжения питания.

Стабильность LC-генераторов (Рис. 5.9, а, б) занимает промежуточное положение между RC-генераторами и ПКР, однако их относят к схемной «экзотике». Дело в том, что LC-генераторы содержат моточные изделия и занимают больше площади на печатной плате, чем ПКР, не имея существенных преимуществ.

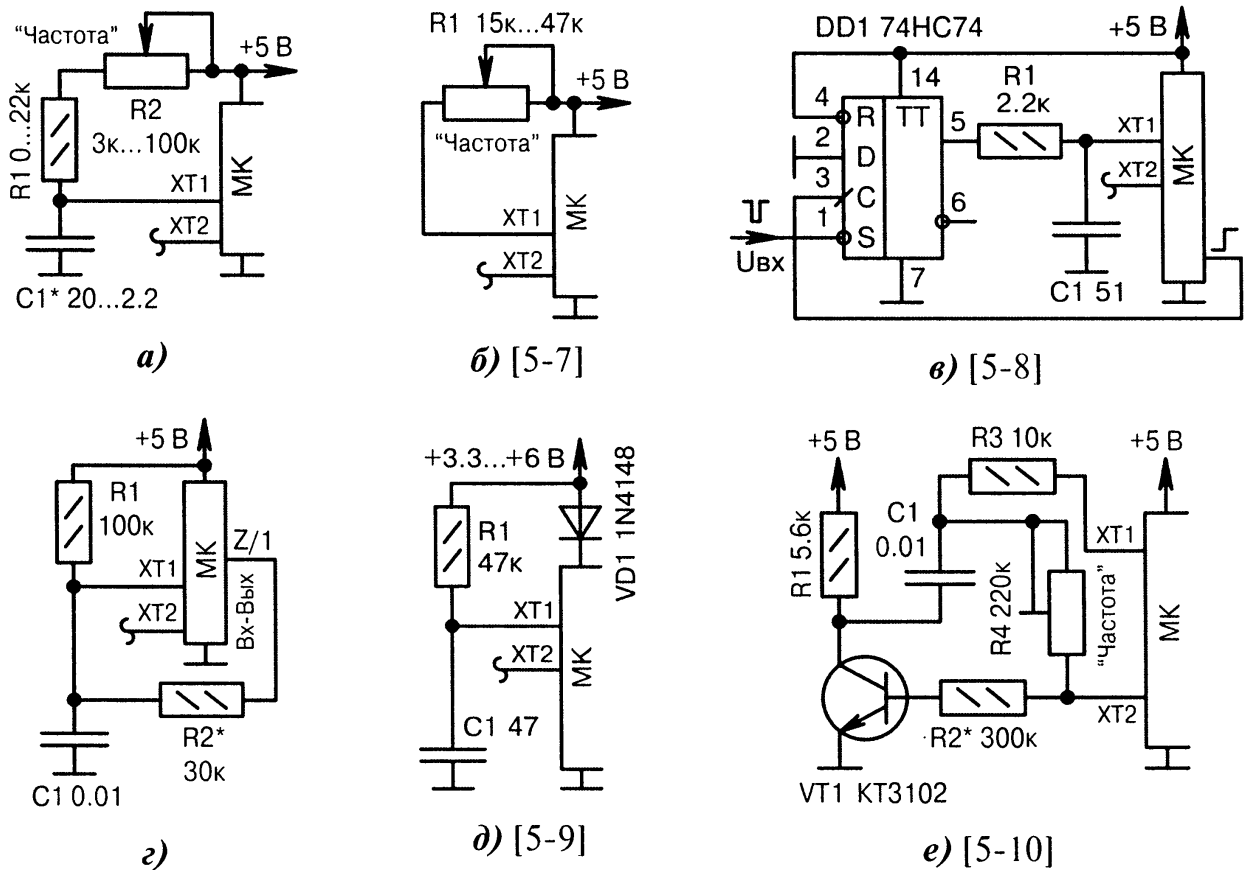


Рис. 5.8. Схемы тактирования МК внешними RC-генераторами:

а) RC-генератор с плавным регулированием частоты. Рекомендуемые сопротивления и ёмкости указываются в даташите МК. Линию XT2 оставляют свободной, хотя с неё можно снимать выходной сигнал, делённый по частоте (если это оговорено для конкретного МК). Резистор R1 ограничивает сверху максимальную частоту. Вместо двух резисторов может быть установлен один. Ёмкость конденсатора C1 должна быть больше 20 пФ, чтобы не влияла паразитная ёмкость монтажа. Скорость перестройки частоты должна быть меньше 2% за период генерации;

б) простейшая схема регулирования тактовой частоты МК. Конденсатор, входящий в RC-генератор, располагается внутри корпуса микросхемы и подключается к выводу XT1 конфигурационными битами (такая особенность присуща далеко не всем типам МК). Переменный резистор R1 впоследствии может быть заменён заранее подобранным постоянным резистором;

в) управляемый RC-генератор с частотозадающей цепью R1, C1. Чтобы он успешно запустился, на выводе 5 триггера DD1 должен присутствовать ВЫСОКИЙ уровень. Для этого подаётся короткий импульс отрицательной полярности  $U_{ВХ}$ . Если требуется «самовыключение» МК, то на его выходе устанавливается ВЫСОКИЙ уровень, который вызывает переброс триггера DD1 в противоположное состояние до прихода следующего импульса  $U_{ВХ}$ ;

г) двухчастотный RC-генератор. Низкая частота обеспечивается элементами R1, C1, при этом резистор R2 «висит в воздухе», ввиду настройки линии порта МК в режим Z-входа. Для повышения частоты работы генератора линия МК переводится в режим выхода с ВЫСОКИМ уровнем, при этом резисторы R1 и R2 электрически соединяются параллельно;

д) внешний RC-генератор с широким допуском напряжения питания, выходящим за норму +5.5 В. Это может случиться, например, при питании от пяти аккумуляторов 1.2 В;

е) RC-генератор с инвертором на транзисторе VT1. Резистором R4 регулируется тактовая частота. Диапазон генерации — килогерцы.

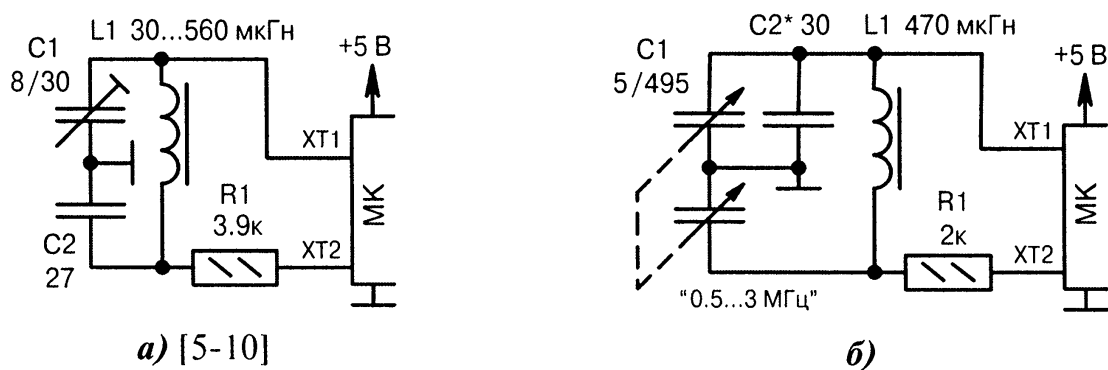


Рис. 5.9. Схемы тактирования МК внешними LC-генераторами:

- а) схема замещения кварцевого резонатора LC-контуром  $L1$ ,  $C1$ ,  $C2$ . Конденсатором  $C1$  регулируется тактовая частота в достаточно широких пределах. Диапазон генерации — мегагерцы;
- б) регулирование частоты LC-генератора двойным конденсатором  $C1$  от ДВ/СВ радиоприёмников. Скорость перестройки частоты должна быть меньше 2% за период генерации.

## 5.4. Ввод тактовых сигналов

В подсистеме синхронизации МК имеется стандартный вход XT1, который может использоваться для приёма импульсов КМОП-уровня от внешнего задающего генератора. Однако, для того, чтобы его активизировать, надо установить при программировании соответствующие конфигурационные биты.

Внешние тактовые сигналы успешно проходят внутрь МК практически при любых режимах его работы. Это означает, что, подав высокочастотные импульсы на вход XT1, можно заново перепрограммировать самый «безнадёжный» МК, в котором по ошибке были установлены «не те» конфигурационные биты.

Если МК входит в состав сложной системы, то в ней, как правило, имеется автономный задающий генератор, обеспечивающий сетку частот для всех периферийных узлов. При таком раскладе нет смысла ставить отдельный кварцевый резонатор для МК, а проще подать на его вход XT1 импульсы от общего генератора.

Следует отличать кварцевые резонаторы от кварцевых генераторов. Первые из них содержат кварцевую пластину, заключённую в двухвыводной корпус. Вторые имеют общую подложку, на которой размещается кварцевая пластина и задающий генератор (транзисторы, резисторы, конденсаторы). Вся эта микросборка помещается в металлический корпус с четырьмя выводами, три из которых являются обязательными — общий провод, питание, выход, а четвёртый — «висит в воздухе» или разрешает/запрещает генерацию, изменяет частоту и т.д.

Если нет в наличии кварцевого генератора, то его можно построить самостоятельно, используя пьезорезонатор и цифровые логические микросхемы. Следует только учитывать, что схему, изображённую ранее на Рис. 5.2, а (параллельный резонанс), рекомендуется выполнять на элементах КМОП-логики, а схему, приведённую на Рис. 5.2, б (последовательный резонанс) — на элементах ТТЛ-логики.

Как определить тип схемы? По числу инверторов, между которыми включается кварцевый резонатор. Если их число нечётное, то получается генератор с параллельным резонансом, а если чётное — с последовательным.

Наиболее «ходовые» тактовые частоты, которые встречаются в различных электронных системах, перечислены в Табл. 5.2.

Таблица 5.2. «Ходовые» частоты синхронизации в разных системах

Частота [МГц]	Область применения
0.032768	Часы реального времени
1.544000	Интерфейс T1 (связь, США)
2.048000	Интерфейс E1 (связь, Европа)
2.304000	SONET
2.457600	Компьютерные модемы
3.368640	SATCOM, компьютерные модемы
3.579545	Телевидение NTSC, DTMF
3.840000	ISDN
4.096000	Интерфейс E1 (связь, Европа)
4.433600	Телевидение PAL
6.144000	Модемы xDSL
6.176000	Интерфейс T1 (связь, США)
6.400000	ISDN
6.912000	SONET
7.372800	Компьютерные модемы
8.192000	Интерфейс E1 (связь, Европа)
9.600000	TDMA
9.792000	Компьютерные модемы
10.000000	SATCOM

Частота [МГц]	Область применения
10.368000	DECT (радиотелефоны)
10.700000	Телевидение
11.059200	Компьютерные модемы
12.288000	MPEG, DVD, Multimedia
13.000000	Сотовая связь GSM
13.500000	Цифровое телевидение
14.336000	Кабельные модемы
14.400000	TDMA
14.745600	Модемы xDSL
15.360000	Спутниковая навигация GPS
16.368327	Спутниковая навигация GPS
16.934400	MPEG, DVD, Multimedia
17.664000	Модемы xDSL
17.734500	Телевидение PAL
18.432000	MPEG, DVD, Multimedia
19.200000	DECT (радиотелефоны)
19.660800	Сотовая связь CDMA
19.680000	Сотовая связь CDMA
20.000000	Микропроцессорные системы

На Рис. 5.10, а...г показаны схемы подачи на вход XT1 МК тактовых сигналов от генераторов на транзисторах, на Рис. 5.11, а...л — от генераторов на логических микросхемах, на Рис. 5.12, а...и — от промышленных интегральных генераторов.

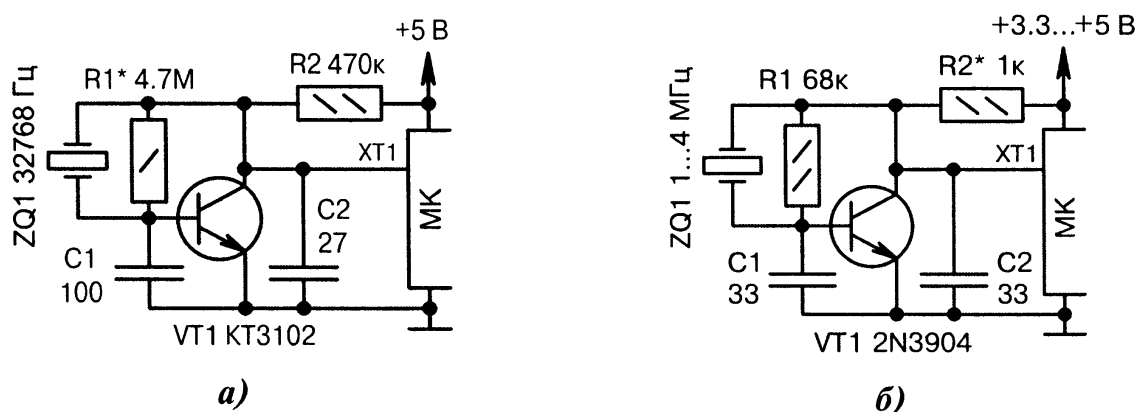


Рис. 5.10. Схемы подачи тактовых сигналов от генераторов на транзисторах (начало):

а) низкочастотный гармонический генератор Пирса с параллельным резонансом. Резистором  $R1$  устанавливается рабочая точка транзистора  $VT1$  так, чтобы выходное напряжение попадало в зону порога срабатывания входа XT1 МК;

б) высокочастотный генератор Пирса с широким диапазоном напряжения питания. Сопротивление резистора  $R2$  подбирают методом «вилки», чтобы оно было равноудалённым от краёв срыва генерации в меньшую и в большую сторону; Ⓞ

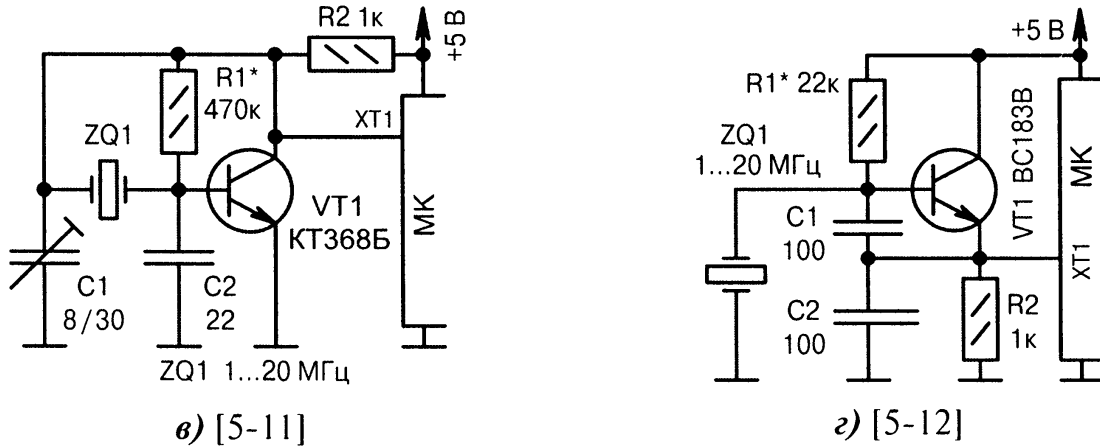


Рис. 5.10. Схемы подачи тактовых сигналов от генераторов на транзисторах (окончание):

- в) конденсатором  $C1$  регулируется частота генератора Пирса, собранного на транзисторе  $VT1$  и кварцевом резонаторе  $ZQ1$ ;
- г) «ёмкостная трёхточка», в которой один из выводов кварцевого резонатора  $ZQ1$  соединяется с общим проводом. Это уменьшает вероятность запуска генератора на паразитных частотах, связанных с внутренними конструктивными ёмкостями кварцедержателя  $ZQ1$ .

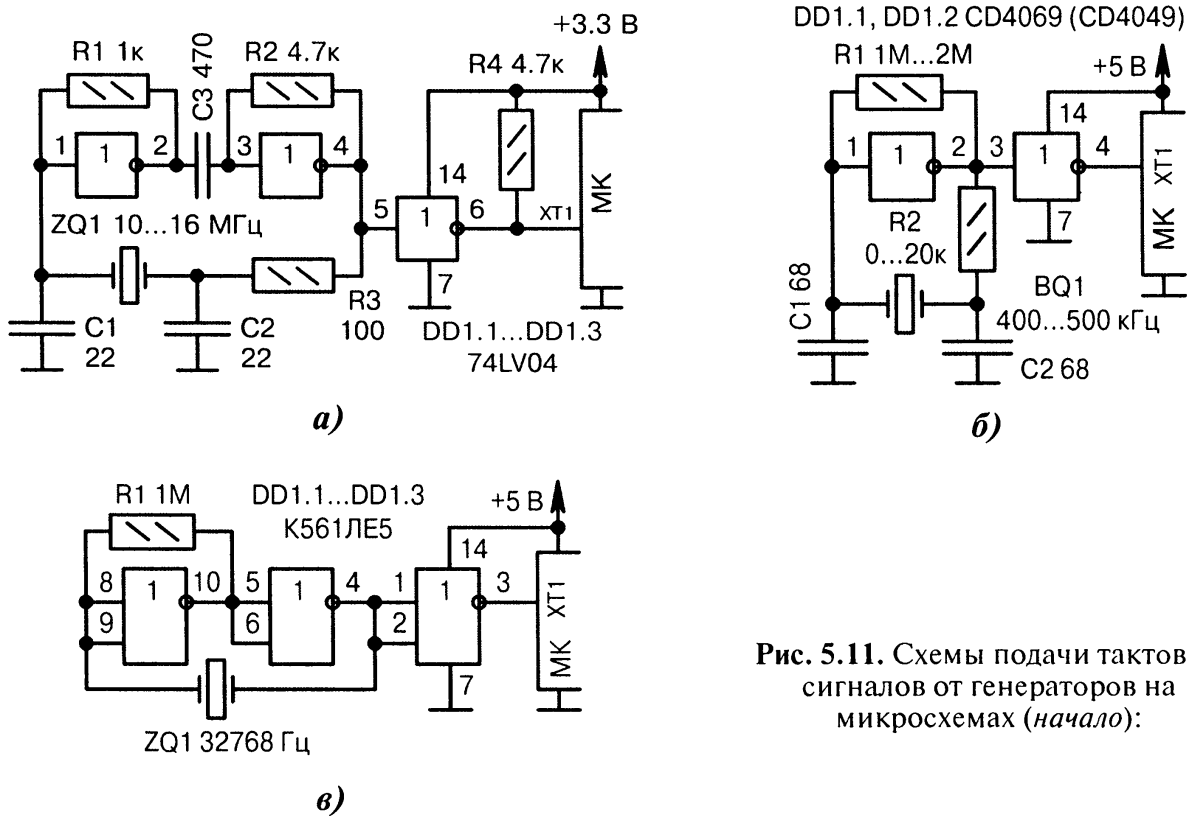


Рис. 5.11. Схемы подачи тактовых сигналов от генераторов на микросхемах (начало):

- а) генератор с последовательным резонансом на «низковольтной» микросхеме  $DD1$ . Надёжный запуск при пониженном питании обеспечивают элементы  $R1...R3, C1...C3$ ;
- б) генератор с параллельным резонансом стабилизируется «пьезокерамикой»  $BQ1$ . Вместо двухвыводного можно использовать трёхвыводной ПКТ, при этом конденсаторы  $C1, C2$  надо удалить, а средний вывод резонатора соединить с общим проводом;
- в) упрощённый вариант генератора с последовательным резонансом, который устойчиво работает на низких частотах. Замена микросхемы  $DD1$  —  $K561ЛА7$ ; ☉

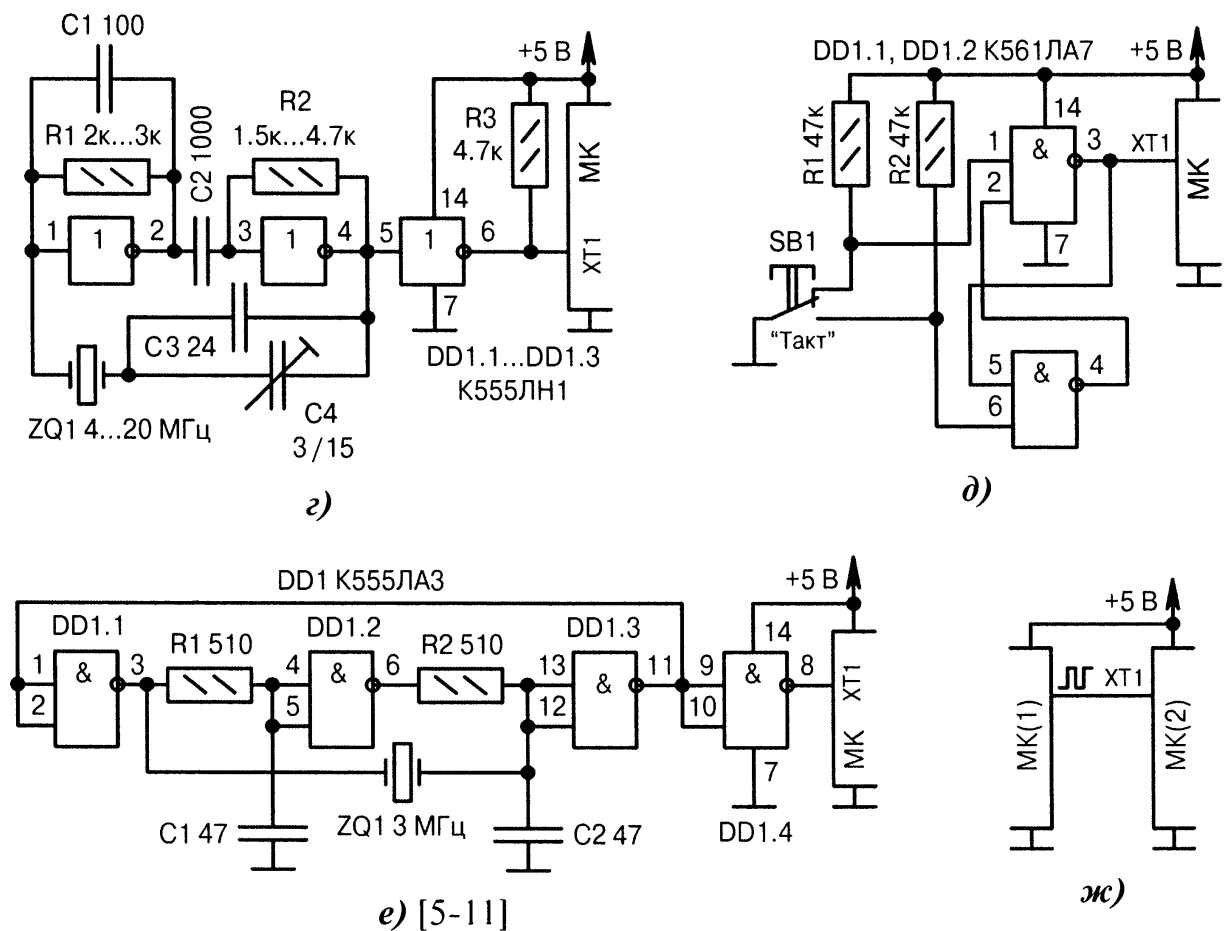


Рис. 5.11. Схемы подачи тактовых сигналов от генераторов на микросхемах (продолжение):

г) полная схема высокочастотного кварцевого генератора, которая не критична к параметрам микросхемы *DD1* и устойчиво запускается при крайних значениях напряжения питания и температуры. Конденсатор *C4* подстраивает частоту генерации в небольших пределах. В упрощенном варианте конденсаторы *C1...C3* (*C4*) могут отсутствовать;

д) подача одиночных тактовых импульсов на вход *XT1* МК. Это допускается, если память ОЗУ МК выполнена на статических триггерах, а также используется обычный (а не ФАПЧ) режим работы. В даташите МК эта особенность прописывается в виде нулевой минимальной тактовой частоты  $F_{\text{MIN}} = 0$ . Логические элементы микросхемы *DD1* образуют триггер, устраняющий «дребезг» контактов кнопки *SB1*. Схема может использоваться при тестовых проверках и при пошаговом выполнении небольших по объёму программ;

е) схема рекомендуется для кварцевых (керамических) резонаторов *ZQ1* не очень высокого качества. Инвертор *DD1.2* и элементы *R1*, *C1*, *R2*, *C2* создают на рабочей частоте  $F_{\text{НОМ}}$  фазовый сдвиг  $360^\circ$ . Такой же сдвиг обеспечивают инверторы *DD1.1*, *DD1.3*, играющие роль дополнительных усилителей сигнала. Логический элемент *DD1.4* — буферный. Настройка схемы сводится к подбору параметров *RC*-цепочек, чтобы в отсутствие резонатора *ZQ1* наблюдалась генерация на частоте примерно  $(0.9...0.95)F_{\text{НОМ}}$ ;

ж) МК(1) через обычную линию выходного порта генерирует относительно низкочастотные тактовые импульсы для входа *XT1* МК(2). Допускается использовать канал ШИМ. Схема, на первый взгляд, не содержит логических элементов, но можно считать, что они спрятаны внутри МК(1). Тактирование МК(1) осуществляется от высокочастотного кварцевого резонатора (на схеме не показан), поэтому синхронизация МК(2) производится с высокой стабильностью, хотя и на более низкой частоте; ●

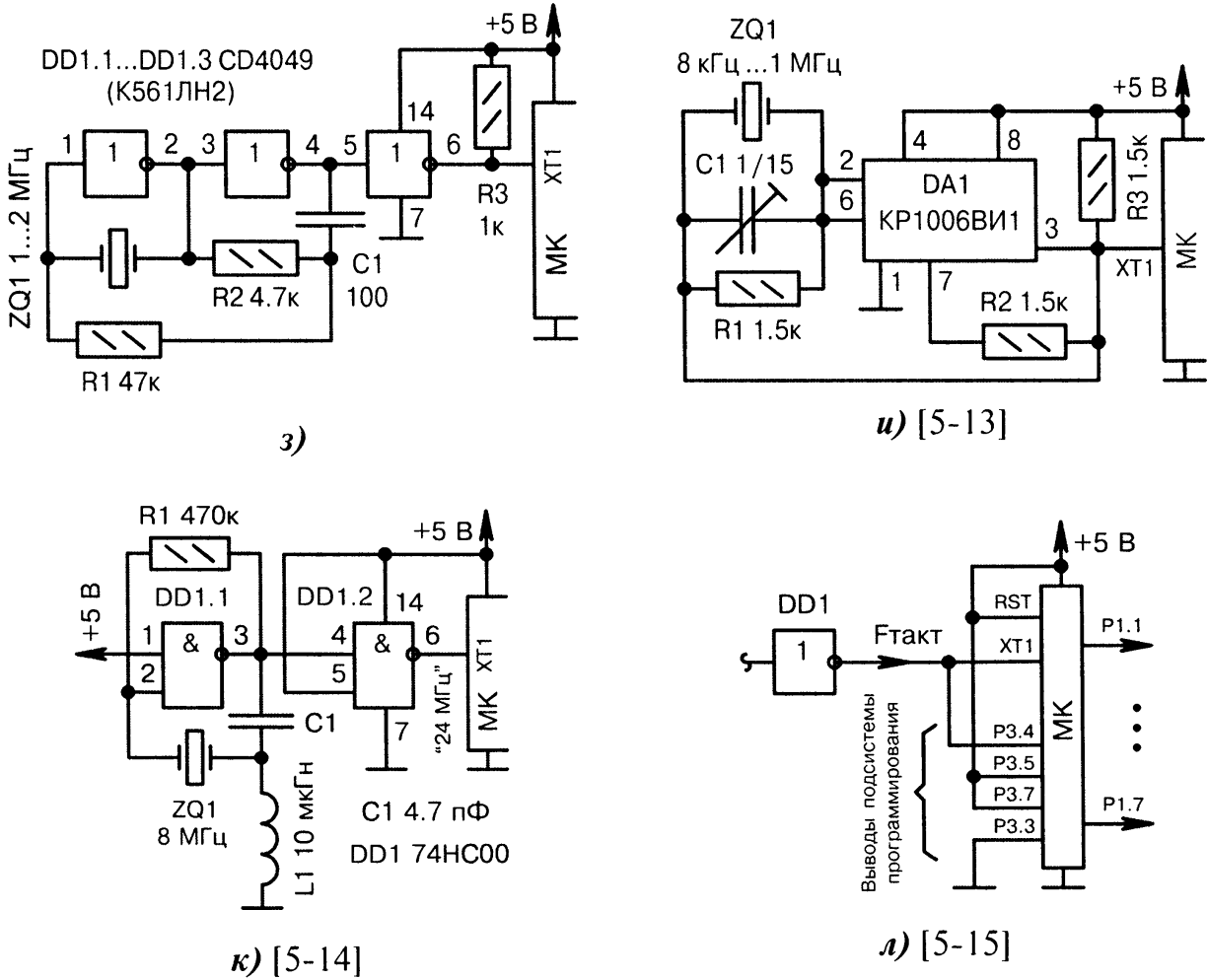


Рис. 5.11. Схемы подачи тактовых сигналов от генераторов на микросхемах (окончание):

з) разновидность кварцевого генератора с обратными связями по переменному току (конденсатор  $C1$  не пропускает постоянную составляющую). Схема может пригодиться при нестандартных электрических параметрах кварцевого резонатора  $ZQ1$ ;

и) широкодиапазонный кварцевый генератор на таймере  $DA1$ . Конденсатором  $C1$  подстраивается частота в небольших пределах. Это функция полезна, например, для точного выставления хода часов, если применяется кварцевый резонатор  $ZQ1$  с частотой 32768 Гц. Резистор  $R1$  должен иметь допуск не более  $\pm 2\%$ . Ток потребления генератора около 10 мА;

к) кварцевый резонатор  $ZQ1$  запускается на третьей гармонике (24 МГц). Этому способствуют элементы  $L1$ ,  $C1$  и резистор обратной связи  $R1$ . Инвертор на элементе  $DD1.2$  улучшает форму выходного сигнала. Выводы 1 и 5 микросхемы  $DD1$  специально подключаются к цепи питания (а не к выводам 2 и 4), чтобы уменьшить ёмкостную нагрузку на частотообразующие элементы генератора;

л) схема рассчитана на МК AT89C2051 (фирма Atmel), который постоянно находится в режиме программирования (вход RST соединяется с питанием). Тактовый сигнал подаётся на вход XT1 и на вывод P3.4 (ENABLE) подсистемы программирования. Остальные выводы, участвующие в процессе программирования, сконфигурированы так, что в каждом такте на выходах МК P1.1...P1.7 последовательно выставляются байты, записанные во внутреннем ПЗУ. Для других типов МК алгоритм функционирования будет аналогичным, но его необходимо проверять на практике. Если МК имеет инверсный вход сброса  $\overline{RES}$ , то его следует соединить с общим проводом, а не с питанием +5 В.

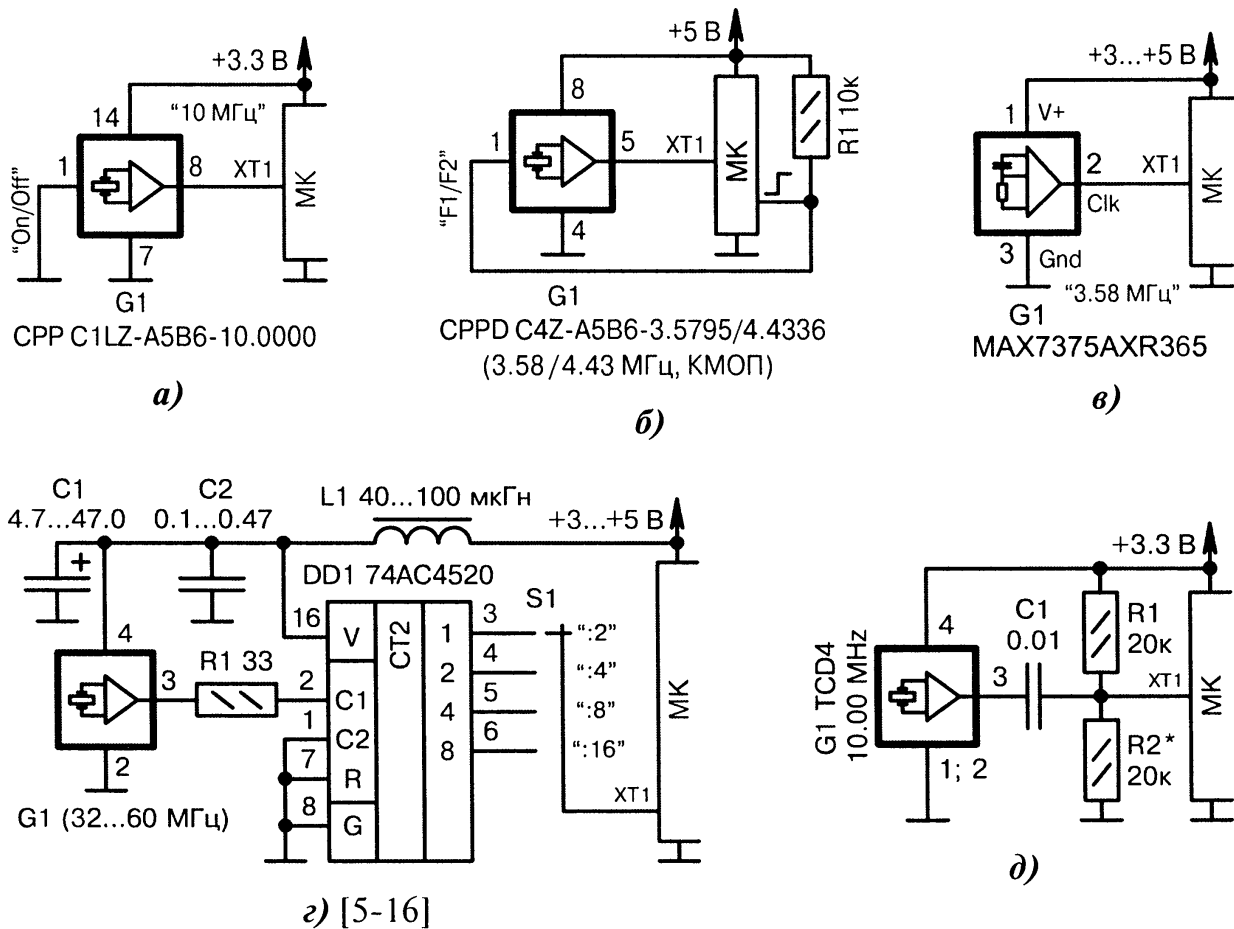


Рис. 5.12. Схемы подачи тактовых сигналов от интегральных генераторов (начало):

а) *G1* — это заказной двухрежимный кварцевый генератор (фирма Cardinal Components), частота которого и параметры определяются потребителем перед покупкой. Допустимый диапазон частот 1...133 МГц, стабильность  $\pm 5$  ppm в год, выходной сигнал на выбор КМОП/ТТЛ, питание +3.3/+5 В, корпус DIP/SMD. Такой генератор рекомендуется при нестандартных частотах сигналов и при необходимости быстрого доукомплектования малых производственных партий;

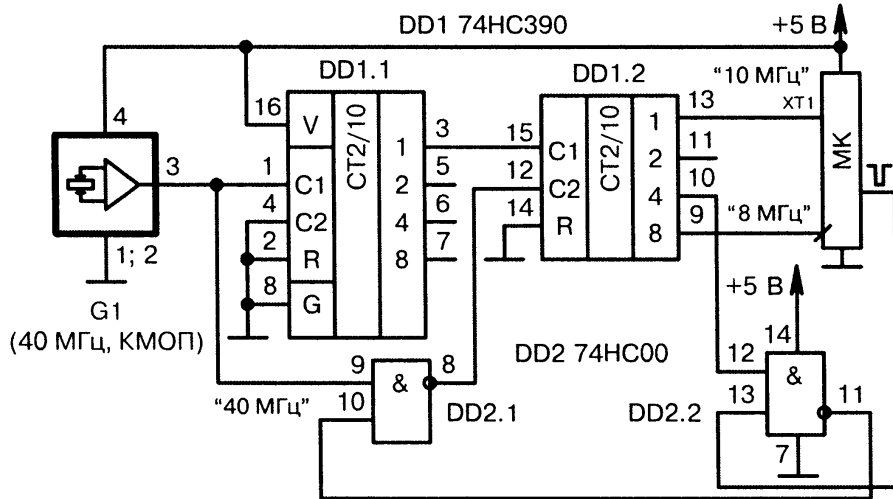
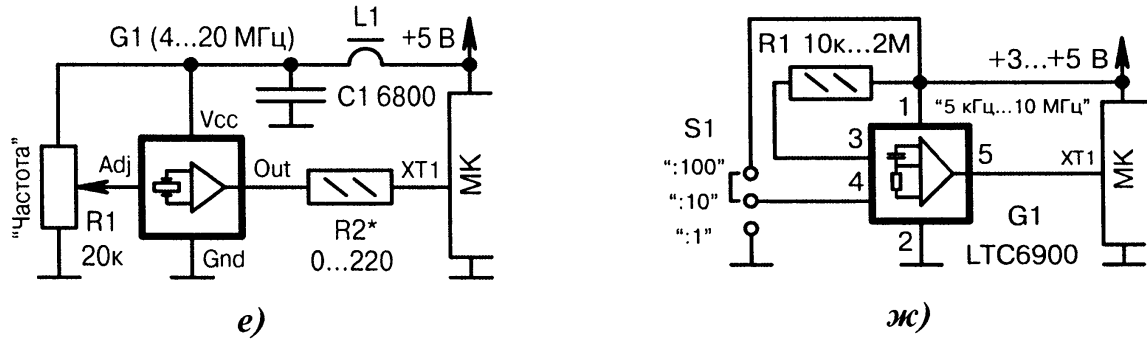
б) *G1* — это заказной двухчастотный кварцевый генератор фирмы Cardinal Components. Номиналы генерируемых частот определяются потребителем перед покупкой. Допустимый диапазон частот 1...133 МГц, точность  $\pm(25...100)$  ppm, напряжение питания +2.7; +3.3 или +5 В. Резистор *R1* «привязывает» линию «F1 / F2» к цепи питания во время начального сброса МК. Одна из двух возможных частот выбирается НИЗКИМ/ВЫСОКИМ уровнем на выходе МК;

в) *G1* — это интегральный «кремниевый» RC-генератор (по-другому, «Silicon Oscillator») фирмы Maxim/Dallas, настраиваемый на заводе-изготовителе на частоту согласно ряду: 1.00; 1.84; 3.58; 3.69; 4.00; 4.19; 8.00 МГц. Особенности: низкий джиттер (фазовое дрожание), хорошая температурная стабильность, напряжение питания +2.7...+5.5 В, двухтактный выходной каскад с током нагрузки до 10 мА, устойчивость к механическим и электромагнитным перегрузкам;

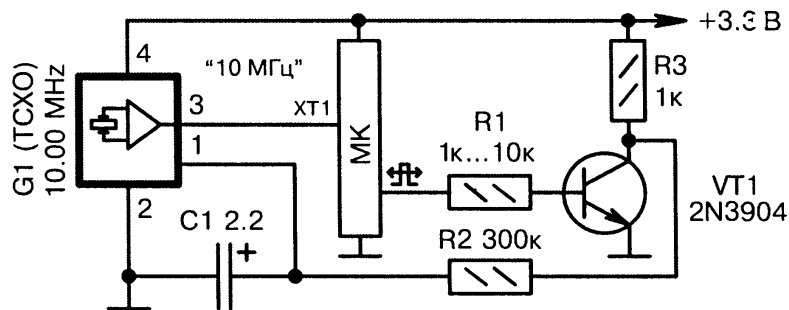
г) «вторая жизнь» высокочастотного кварцевого генератора *G1*, выпаянного из старой материнской платы компьютера. Напрямую сигнал столь высокой частоты подавать в МК нельзя. Коэффициент деления выбирается переключателем *S1*. После каждой смены частоты требуется осуществить начальный сброс МК;

д) температурно-компенсированный генератор *G1* (фирма Pletronics) имеет очень высокую стабильность  $\pm(1...2.5)$  ppm, что на порядок лучше, чем у обычных кварцевых генераторов. Форма выходного сигнала — синусоидальная с амплитудой 0.8...1.1 В. Ток потребления 3 мА; ☉





з) [5-17]



и) [5-18]

⊖ Рис. 5.12. Схемы подачи тактовых сигналов от интегральных генераторов (окончание):

е) интегральный генератор  $G1$  (разные фирмы-изготовители) плавно перестраивается по частоте напряжением  $0...+5$  В от резистора  $R1$ . Резистор  $R2$  улучшает форму выходного сигнала;

ж) частота генератора  $G1$  (фирма Linear Technology) зависит от сопротивления резистора  $R1$  по формуле  $F_{\text{вых}}[\text{МГц}] = 200 / (N \cdot R_1[\text{кОм}])$ , где  $N$  — коэффициент деления, определяемый положением переключки  $S1$ :  $N = 100$  — средний вывод соединяется с питанием,  $N = 10$  — свободен,  $N = 1$  — соединяется с общим проводом. Особенности: малогабаритный SMD-корпус, низкий ток потребления  $0.5$  мА, стабильность  $\pm(1.5...2)\%$ ; полный диапазон частот от  $1$  кГц до  $20$  МГц;

з) формирование от одного генератора  $G1$  (разные фирмы-изготовители) двух сигналов частотой  $8$  и  $10$  МГц, которые используются, соответственно, для меток времени и работы МК;

и) температурно-компенсированный генератор  $G1$  (разные фирмы-изготовители) подстраивается по частоте в пределах  $\pm 120$  Гц постоянным напряжением. Формируется оно через инвертор  $VT1$  и фильтр  $C1, R2$  от импульсов МК программным изменением скважности ШИМ.

## 5.5. Вывод синхронизирующих сигналов

Тактовый генератор МК можно использовать для синхронизации работы других узлов системы. Тем самым упрощается схемотехника, экономятся детали, устраняются помехи из-за биения разных частот. Один общий генератор в системе — это всегда плюс. Его легче тестировать, ремонтировать, настраивать.

Если МК является центральным управляющим звеном устройства, то логично, что все остальные узлы должны подстраиваться под его ритм работы, под его «дыхание». Как это делается на практике, показано на Рис. 5.13, а...к.

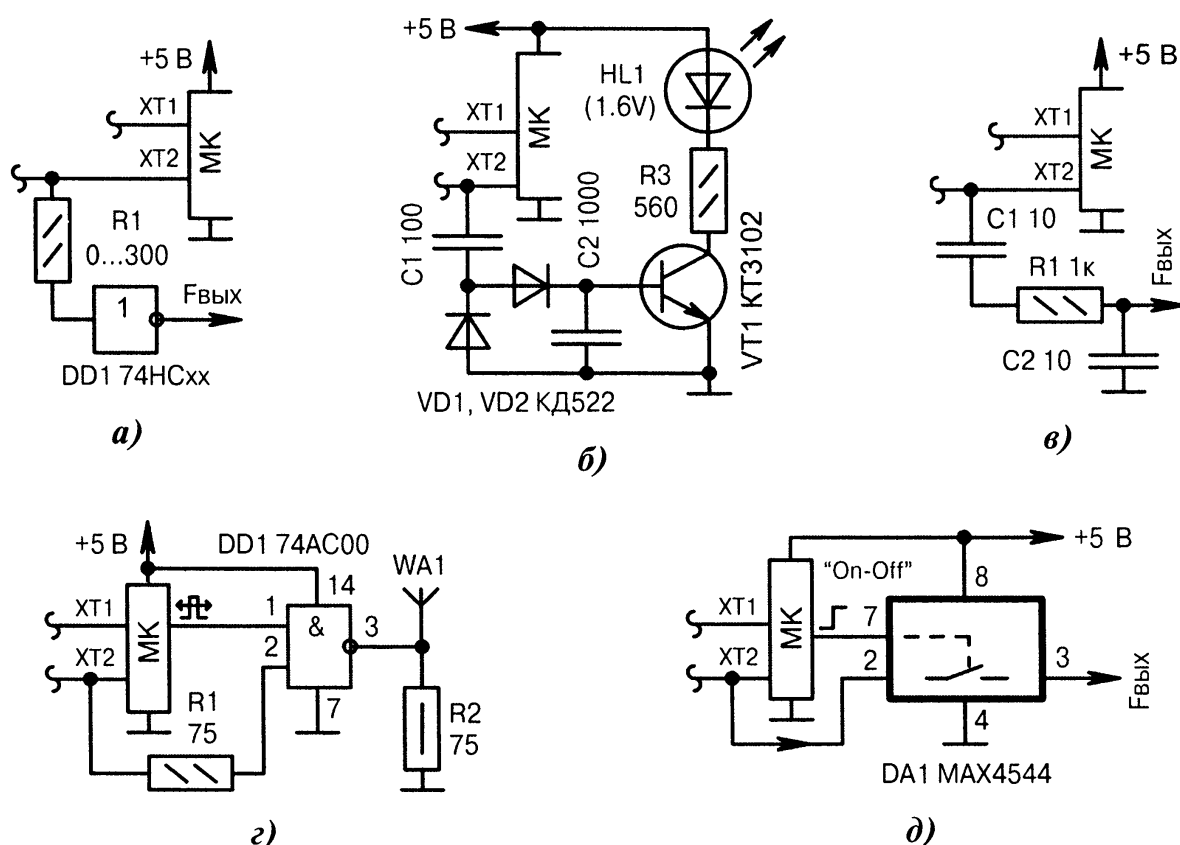


Рис. 5.13. Схемы вывода тактовых синхросигналов из МК (начало):

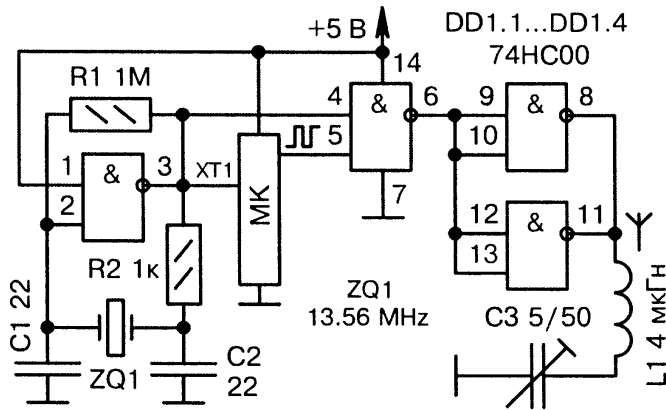
а) съём синхросигнала  $F_{\text{ВЫХ}}$  при помощи КМОП-инвертора (или повторителя)  $DD1$ . Резистор  $R1$  устраняет «звон» на фронтах сигналов при большой длине соединительной линии и высокой частоте генерации. Если МК тактируется кварцевым резонатором, то резистор  $R1$  уменьшает влияние на него входной ёмкости микросхемы  $DD1$ ;

б) визуальный индикатор работоспособности тактового генератора МК на светодиоде  $HL1$ ;

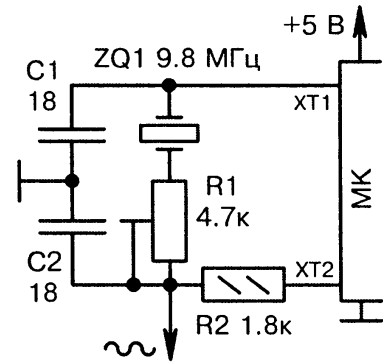
в) съём синхросигнала  $F_{\text{ВЫХ}}$  через элементы  $C1$ ,  $R1$ ,  $C2$ . Конденсатор  $C1$  имеет малую ёмкость, чтобы не вносить рассогласование в частотозадающие цепи тактового генератора МК;

г) радиопередатчик с амплитудно-импульсной модуляцией работает на частоте тактового генератора МК и управляется через канал ШИМ. Микросхема  $DD1$  допускает подключение к выходу низкоомной нагрузки, в связи с чем резистор  $R2$  имеет повышенную мощность рассеяния;

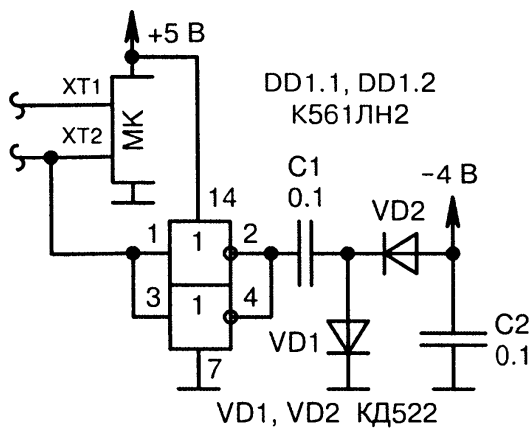
д) управляемое включение/выключение ВЧ-сигнала  $F_{\text{ВЫХ}}$  через быстродействующий ключ  $DA1$  фирмы Maxim/Dallas. При НИЗКОМ уровне на выходе МК ключ открыт, при ВЫСОКОМ — закрыт. Параметры микросхемы  $DA1$  регламентируются на частоте 1 МГц. Время переключения сигнала 100...150 нс; ☹



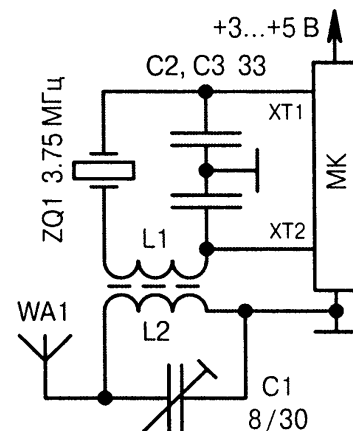
e) [5-19]



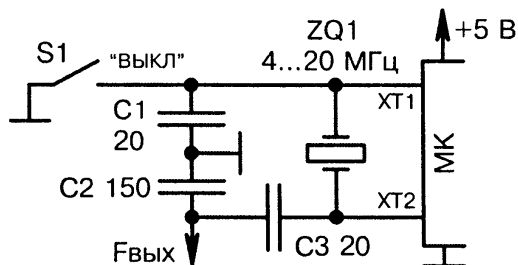
ж) [5-20]



з)



и)



к)

● Рис. 5.13. Схемы вывода тактовых синхросигналов из МК (окончание):

е) генератор RFID-транспондера выполнен на микросхеме *DD1*. Сигнал задающей частоты одновременно подаётся на тактовый вход МК. С его выхода осуществляется амплитудная модуляция сигнала. Катушка *L1* наматывается на каркасе диаметром 70 мм, провод ПЭВ-0.4;

ж) генерация синусоидального сигнала, амплитуда которого регулируется резистором *R1*. Чем больше сопротивление, тем лучше форма сигнала, но тогда возможен срыв колебаний;

з) формирователь отрицательного напряжения  $-4$  В, использующий выходные высокочастотные импульсы тактовой частоты МК;

и) тактовый генератор МК служит тональным радиопередатчиком для работы на частоте 3.75 МГц в радилюбительском диапазоне 80 м. Амплитудная модуляция может осуществляться небольшим изменением напряжения питания. Катушки *L1*, *L2* содержат по 30 витков провода ПЭВ-0.22, намотанных на каркасе диаметром 12 мм;

к) отвод ВЧ-сигнала  $F_{\text{Вых}}$  через делитель на конденсаторах *C2*, *C3* с отношением их ёмкостей 6...10. Нажатием переключателя *S1* можно «заморозить» МК и отключить сигнал  $F_{\text{Вых}}$ .

**Список использованных источников и литературы к главе 5**

- 5-1. Пьезоэлектрические резонаторы: Справочник / под ред. П. Е. Кандыбы, П. Г. Позднякова. — М. : Радио и связь, 1992. — 392 с. — ISBN 5-256-00634-7.
- 5-2. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры AVR. Ступень 3 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2005. — № 3. — С. 35–39.
- 5-3. Kincaid, R. Tech Forum (#7061 - July 2006) / Russell Kincaid // Nuts & Volts. — 2006. — № 8. — P. 102–103.
- 5-4. Lacoste, R. Let's Be Crystal Clear / Robert Lacoste // Circuit Cellar. — 2008. — № 6. — P. 70–77.
- 5-5. Артеменко, В. Перестраиваемый кварцевый генератор: новые возможности в схемах ГПД / Владислав Артеменко // Радиолюбби. — 2002. — № 6. — С. 37–38.
- 5-6. Зеленка, И. Пьезоэлектрические резонаторы на объёмных и поверхностных волнах: материалы, технология, конструкция, применение / Иржи Зеленка. — М. : Мир, 1990. — 584 с. — ISBN 5-03-001086-6.
- 5-7. Рюмик, С. М. Микроконтроллеры AVR. Ступень 7 / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2005. — № 7. — С. 35–39.
- 5-8. Video Sync (genlock) for PICs [Электронный ресурс] / Luhan Monat, 2009. — Режим доступа: <http://mondo-technology.com/genlock.html> (англ.). — 05.07.2009.
- 5-9. Samblancat, G. High Intensity Torch / Gerard Samblancat // Everyday Practical Electronics. — 2006. — № 8. — P. 60–63.
- 5-10. Романчук, А. Применение K176IE18 / А. Романчук // Радиомир. — 2004. — № 4. — С. 28–29.
- 5-11. Рюмик, С. М. Пьезокерамические резонаторы / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 1999. — № 2. — С. 30 ; № 3. — С. 21–23 ; №4. — С. 43–44.
- 5-12. Дайджест зарубежной периодики. Кварцевый тестер Иштвана Пушкаша // Радиолюбби. — 2003. — № 6. — С. 21.
- 5-13. Кашкаров, А. П. Генератор с часовым кварцем / Андрей Кашкаров // Радиоаматор. — 2004. — № 5. — С. 30.
- 5-14. Lacoste, R. Let's Be Crystal Clear / Robert Lacoste // Circuit Cellar. — 2008. — № 6. — P. 70–77.
- 5-15. Мельник, В. Пишем в воздухе светодиодами / В. Мельник // Радио. — 2006. — № 10. — С. 59–60.
- 5-16. Бутов, А. «Вторая жизнь» интегральных кварцевых генераторов / Андрей Бутов // Радиомир. — 2009. — № 6. — С. 27–29.
- 5-17. Lerner, L. Inductance & Q-Factor Meter / Leonid Lerner // Everyday Practical Electronics. — 2007. — № 10. — P. 28–35.
- 5-18. Mullins, M. Microcontroller Clock-Locking / Michael Mullins // Circuit Cellar. — 2008. — № 12. — P. 14–21.
- 5-19. Ossmann, M. Lesegerat fur RFID-Transponder selbst gebaut (2) / Martin Ossmann // Funkamateur. — 2007. — № 6. — S. 622–625.
- 5-20. Looper, N. Designer's Guide to Reliable Oscillators and Timers / Norm Looper // Nuts & Volts. — 2008. — № 5. — P. 72–75.

## ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПОДАЧИ ПИТАНИЯ НА МК

*Вбивайте тот гвоздь, который вбивается  
(Английская поговорка)*

### 6.1. Питание от сети 220 В через «сетевую вилку»

Простейший путь организовать надёжное питание микроконтроллерного устройства — это «не изобретать велосипед», а использовать покупные промышленные адаптеры. Среди радиолюбителей достаточно популярными являются малогабаритные блоки питания в пластмассовом корпусе с запрессованной в него вилкой. В обиходе такие адаптеры называют «сетевыми вилками» или, по-английски, WW (Wall Warts).

Различают аналоговые и импульсные «сетевые вилки».

Аналоговые «сетевые вилки» выполняются по традиционной схеме «трансформатор — мостовой выпрямитель — электролитический конденсатор фильтра». Их выходное напряжение обычно не стабилизировано, хотя встречаются блоки питания с встроенной микросхемой из серии «78xx». Электрические параметры «сетевых вилок» указываются прямо на этикетке корпуса. Типовые значения: выходное напряжение 1.5...12 В при токе нагрузки 0.2...2 А.

*Важный нюанс.* Заявленные в этикетке данные могут не соответствовать действительности или выполняться с чрезмерным нагревом корпуса. Хорошим ориентиром при выборе адаптера является его масса. Чем он тяжелее (250...450 г), тем больше выходная мощность и тем меньше температура нагрева.

Импульсные «сетевые вилки» тоже содержат трансформаторную развязку, но только на более высокой частоте. Внутри у них находится стабилизированный транзисторно-микросхемный AC/DC-преобразователь напряжения и импульсный трансформатор. Для сравнения, при выходной мощности 18 Вт, они весят всего лишь 200 г, имеют хороший КПД и низкий уровень пульсаций (Табл. 6.1). Из недостатков — более высокая цена, чем у аналоговых «сетевых вилок».

**Таблица 6.1.** Параметры импульсных «сетевых вилок» фирмы Mean Well

$\sim U_{\text{ВХ}}$ [В]	$U_{\text{ВЫХ}}$ [В]	Точность $U_{\text{ВЫХ}}$ [%]	$I_{\text{ВЫХ}}$ [А]	Пульсации [мВ]	КПД [%]
90...264	3.3	±5	2.72	50	55
90...264	5	±5	3	50	70
90...264	7.5	±5	2	80	72
90...264	9	±5	2	80	74
90...264	12	±3	1.5	80	76
90...264	15	±3	1.2	100	77
90...264	24	±2	0.75	180	80
90...264	28	±2	0.64	240	81

Шнур, выходящий из «сетевой вилки», оканчивается штыревым разъёмом DC Plug из серий «DJK», «2A» «PC» (название зависит от фирмы-изготовителя). Подбирая к нему ответную часть, надо знать точные геометрические размеры, потому что диаметры штырей встречаются разные. И хотя отличие порой составляет полмиллиметра, это может стать непреодолимым препятствием для стыковки.

На Рис. 6.1, а...ж показаны схемы организации питания от сети 220 В с использованием «сетевых вилок».

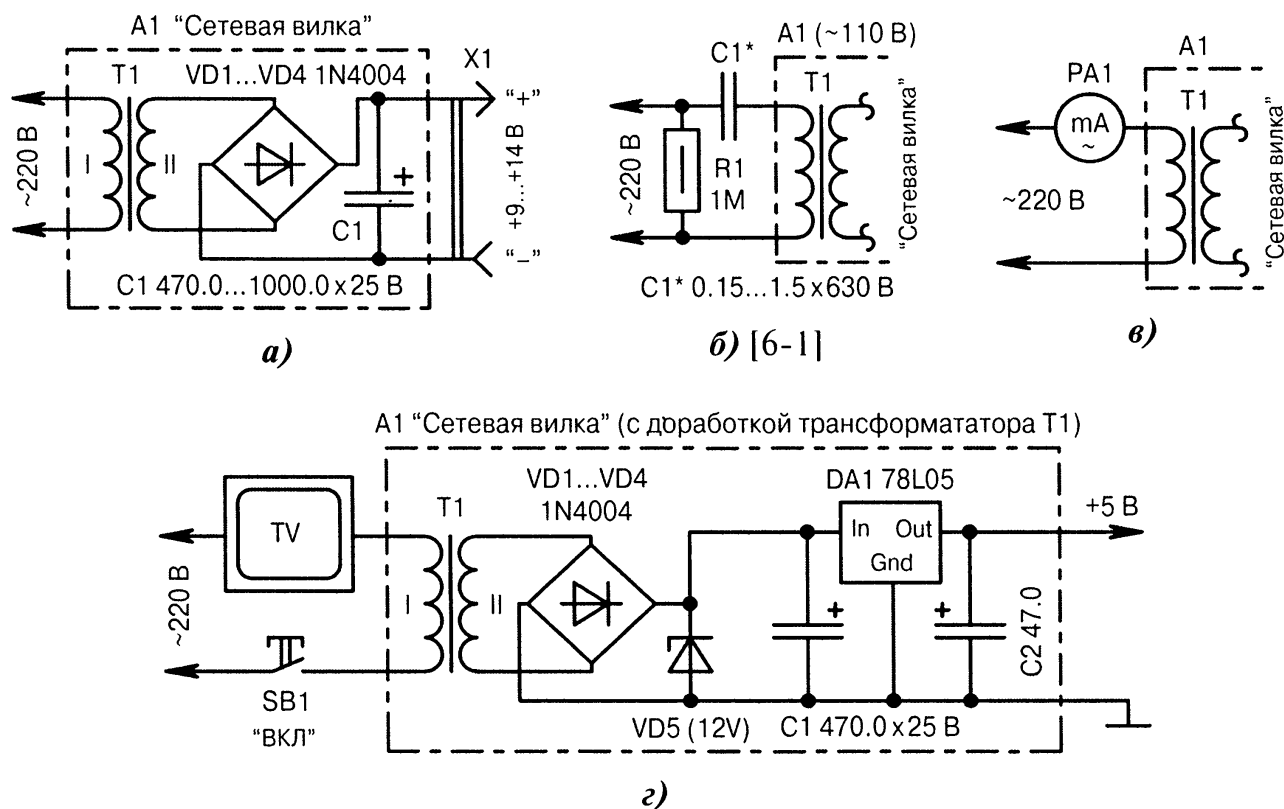


Рис. 6.1. Схемы организации питания от сети 220 В через «сетевые вилки» (начало):

а) типовая «сетевая вилка». Выходное напряжение не стабилизировано и зависит от тока нагрузки. Диаметр штыря разъёма  $X1$  в основном бывает двух типов: «малый» (1.65 мм) и «большой» (2.1 мм), что надо учитывать, подбирая ответную часть;

б) адаптация к сети 220 В «американской сетевой вилки», изначально рассчитанной на переменное напряжение 110 В. Резистор  $R1$  разряжает балластный конденсатор  $C1$  при отключении устройства от сети 220 В, иначе «искра» от конденсатора может больно пройти через тело человека, если случайно взяться за сетевую вилку пальцами;

в) если имеется возможность выбрать одну «сетевую вилку» из нескольких однотипных, то следует по миллиамперметру  $PA1$  измерить переменный ток в первичной обмотке трансформатора  $T1$  на холостом ходу, т.е. без нагрузки. Себе лучше оставить ту «сетевую вилку», которая имеет минимальный ток, обычно в районе 10...20 мА;

г) автоматическая подача питания +5 В при нажатии кнопки  $SB1$ , при этом начинает работать телевизор или иной бытовой прибор (торшер, вентилятор). Первичная обмотка трансформатора  $T1$  «сетевой вилки» дорабатывается уменьшением числа витков до 120...160 проводом ПЭВ-0.31. В рабочем состоянии на первичной обмотке должно падать 3...4 В, то есть трансформатор напряжения превращается в трансформатор тока. Стабилитрон  $VD5$  защищает вход стабилизатора  $DA1$  от импульсных перегрузок при включении/выключении телевизора; ⚡

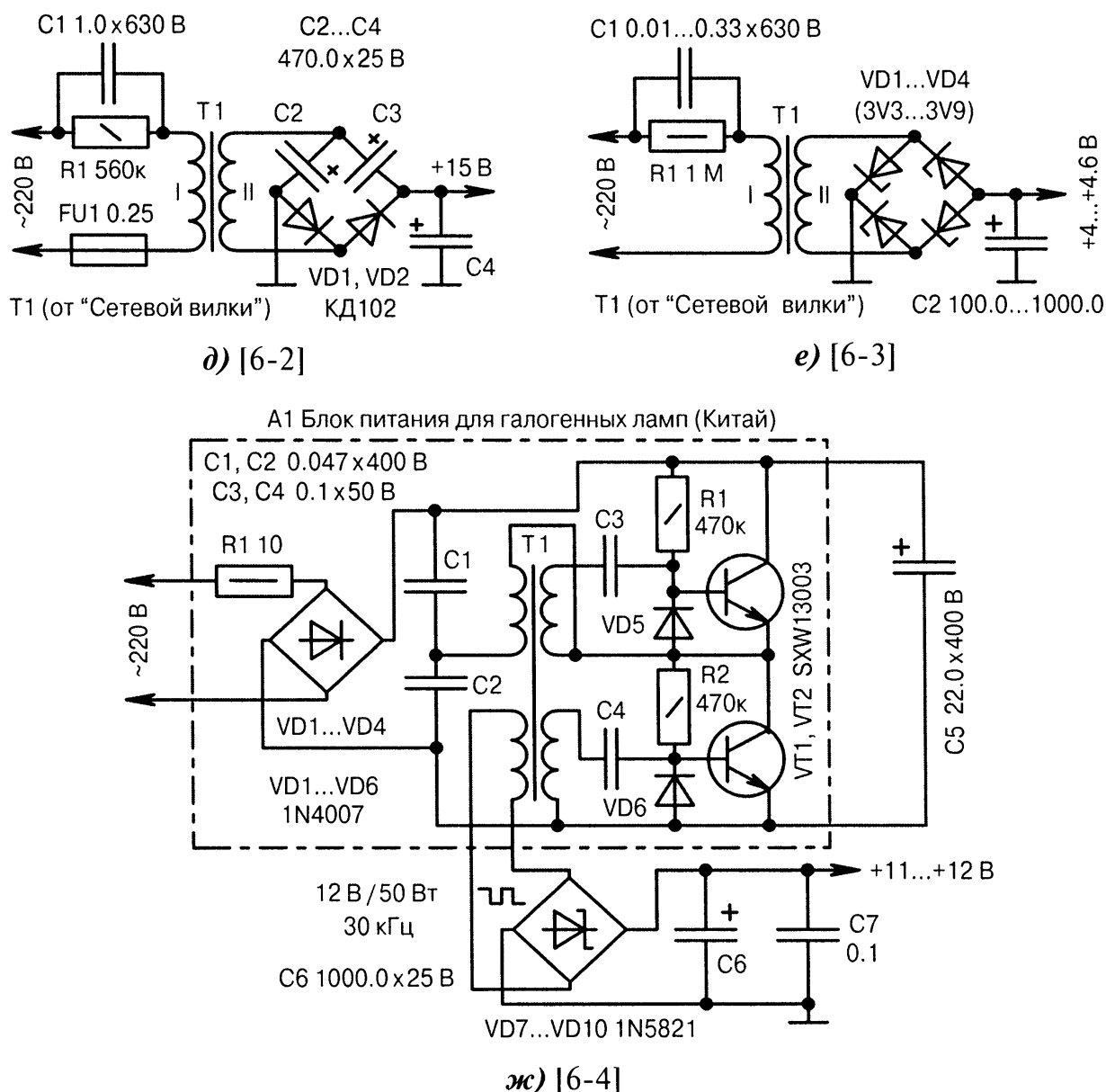


Рис. 6.1. Схемы организации питания от сети 220 В через «сетевые вилки» (окончание):

д) аппаратное уменьшение температуры греющейся «сетевой вилки» с некачественно изготовленным трансформатором  $T1$  (недостаточное число витков в первичной обмотке). Доработка заключается в установке элементов  $R1, C1...C3$ . Конденсатор  $C1$  снижает напряжение, а элементы  $C2, C3, VD1, VD2$  — удваивают его;

е) схема Р. Степьяна. Стандартные диоды моста «сетевой вилки» заменяются стабилитронами  $VD1...VD4$ , которые одновременно являются выпрямителями и стабилизаторами. Выходное напряжение получается на 0.7 В больше, чем пороговое напряжение одного стабилитрона. Балластный конденсатор  $C1$  и резистор  $R1$  ставятся в том случае, если первичная обмотка понижающего трансформатора  $T1$  имеет слишком малое омическое сопротивление;

ж)  $A1$  — это покупной «электронный трансформатор» для питания галогенных ламп. Его, в первом приближении, можно считать импульсной «сетевой вилкой», работающей на частоте около 30 кГц (зависит от мощности нагрузки). Доработка заключается в дополнительном введении в базовую схему сглаживающих конденсаторов  $C5...C7$  и выпрямителя на высокочастотных диодах Шоттки  $VD7...VD10$ . Возможные замены диодов: MBR340, КД213, КД257 и другие аналогичные с обратным напряжением не менее 30 В.

## 6.2. Питание от сети 220 В через трансформатор

Правила техники безопасности учат применять при работе с сетью 220 В трансформаторную развязку. Однако самостоятельно изготовленный трансформатор, как правило, не отвечает строгим требованиям стандартов. Например, многие забывают, что изоляционный слой надо прокладывать не только между первичной и вторичной обмотками, но и между каждым слоем намотки проводов.

Простейший блок питания состоит из четырёх элементов: понижающего трансформатора, диодного выпрямителя, конденсатора фильтра и стабилизатора напряжения. При монтаже также надо не забыть о сетевом предохранителе.

Трансформатор хорошо бы взять заводской, чтобы при работе громко «не гудел». Диоды в большинстве случаев применяют из семейства 1N4004...1N4007 с параметрами:  $U_{\text{ОБР МАХ}} = 400...1000 \text{ В}$ ,  $I_{\text{ПР МАХ}} = 1 \text{ А}$ ,  $U_{\text{ПР}} = 1.0...1.1 \text{ В}$  при токе 1 А,  $F_{\text{МАХ}} = 500 \text{ Гц}$ . Конденсатор фильтра рассчитывают, исходя из требуемого уровня пульсаций, или пользуются эмпирическим соотношением 1000...2000 мкФ на каждый ампер нагрузки. Стабилизатор напряжения собирается на одной интегральной микросхеме, желательно с низким собственным потреблением тока.

Схемотехнику трансформаторных блоков питания можно использовать такую же, как и в аналоговых «сетевых вилках», добавив ещё ряд интересных технических решений (Рис.6.2, а...д).

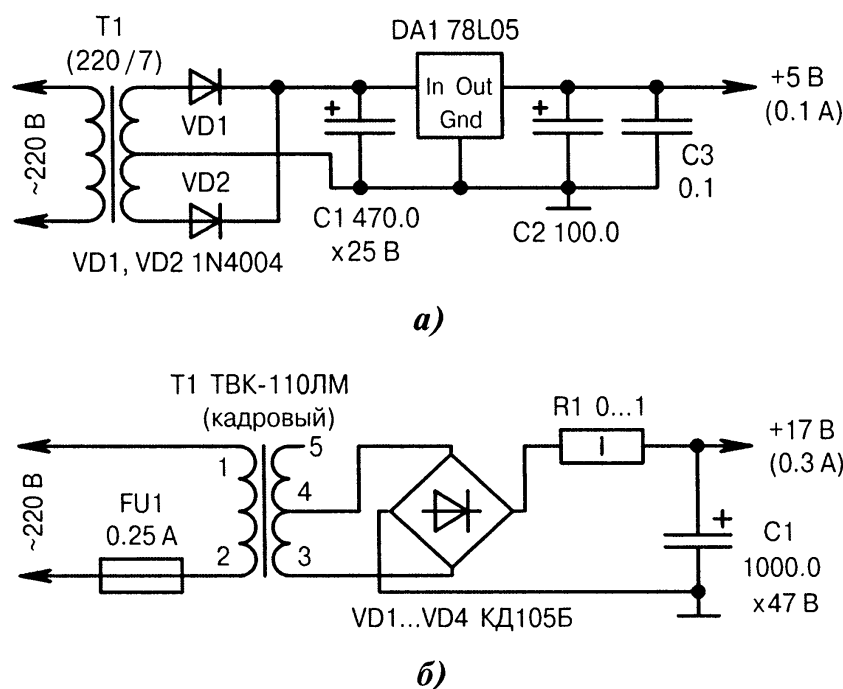
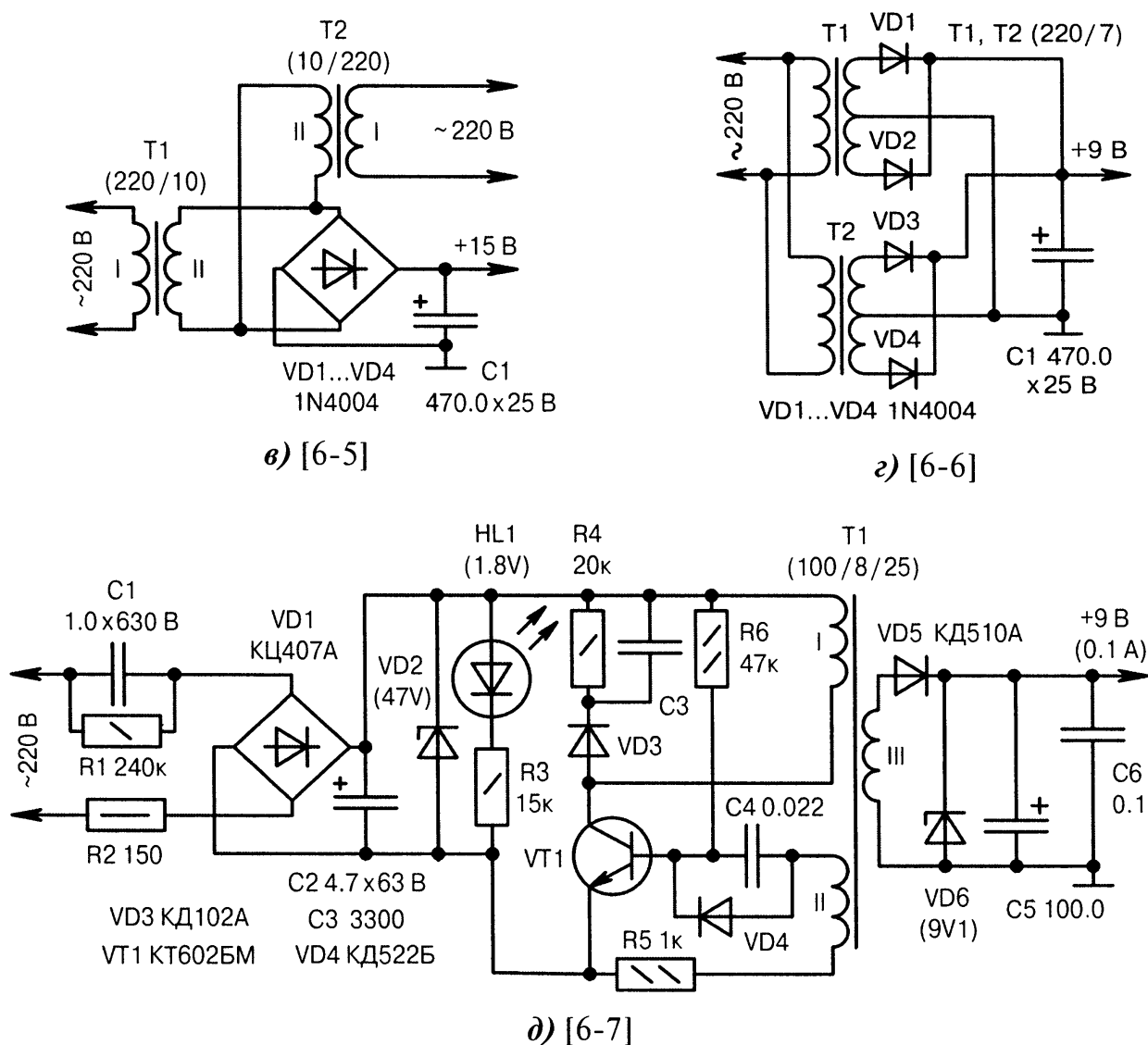


Рис. 6.2. Схемы блоков питания, имеющих трансформаторную развязку от сети 220 В (начало):

а) трансформатор  $T1$  имеет среднюю точку во вторичной обмотке, что позволяет сэкономить два из четырёх диодов стандартного выпрямительного моста. Коэффициент трансформации обмоток  $T1$  выбирается так, чтобы напряжение на входе стабилизатора  $DA1$  не превышало 30 В;

б) блок питания с унифицированным трансформатором ТВК-110ЛМ от кадровой развёртки старых советских чёрно-белых телевизоров. Резистор  $R1$  ограничивает начальный ток заряда электролитического конденсатора  $C1$ ; ⦿





● **Рис. 6.2.** Схемы блоков питания, имеющих трансформаторную развязку от сети 220 В (окончание):

в) схема Б. Штурмэна. Получение одного низкого и одного высокого изолированных от сети 220 В напряжений. Используются два одинаковых маломощных трансформатора  $T1$ ,  $T2$  со встречным включением вторичных обмоток. Если требуется получить высокое выходное напряжение, отличное от 220 В, то надо поставить трансформатор  $T2$  с другим коэффициентом трансформации. Схема обратимая, поскольку переменное напряжение 220 В можно подавать на трансформатор  $T2$  и снимать его с трансформатора  $T1$ ;

г) удвоение мощности источника питания за счёт параллельной работы двух идентичных по параметрам трансформаторов  $T1$ ,  $T2$ . Суммирование напряжений производится выпрямительными диодами  $VD1...VD4$ . Для подбора одинаковых трансформаторов можно воспользоваться методикой измерения тока холостого хода, как показано на **Рис. 6.1, в**;

д) импульсный преобразователь сетевого напряжения с малыми габаритами и хорошей повторяемостью. Трансформатор  $T1$  намотан на кольцо К16х10х4.5 из феррита М2000НМ-1А. В обмотке I содержится 100 витков провода ПЭВ-0.14, в обмотке II — 8 витков ПЭВ-0.14, в обмотке III — 25 витков ПЭВ-0.35. Если применить стабилитрон  $VD6$  с напряжением стабилизации 4.7...5.1 В и уменьшить число витков в обмотке III с 25 до 15 провода ПЭВ-0.41, то выходное напряжение станет равным +4.7...+5.1 В.

### 6.3. Бестрансформаторное сетевое питание

Бестрансформаторные источники питания проще в изготовлении и дешевле, чем трансформаторные, однако они представляют определённую опасность для жизни человека при налаживании, ремонте и в эксплуатации. Неосторожное прикосновение одновременно к токоведущей части и к заземлённой поверхности может окончиться весьма плачевно.

Схемы без гальванической развязки применяют в тех конструкциях, где не требуется постоянное присутствие человека или обеспечена надёжная изоляция от поражения током. Стоит отметить, что использовать такие источники питания целесообразно только при небольших токах нагрузки, так как в противном случае размеры и стоимость нужных компонентов растут очень быстро.

Различают следующие разновидности бестрансформаторных блоков питания:

- с балластным резистором во входной цепи;
- с балластным конденсатором во входной цепи;
- с импульсным неизолированным AC/DC-преобразователем.

Балластными резисторами и конденсаторами гасится излишек сетевого напряжения. Соответственно резисторы должны быть рассчитаны на большую мощность рассеяния, а конденсаторы должны быть плёночными, например, К73-17, желательно с рабочим напряжением не менее 630 В. Запас нужен, потому что допустимое переменное напряжение  $V_{AC}$  на частоте 50 Гц у данного класса конденсаторов значительно меньше допустимого постоянного напряжения  $V_{DC}$  (Табл. 6.2).

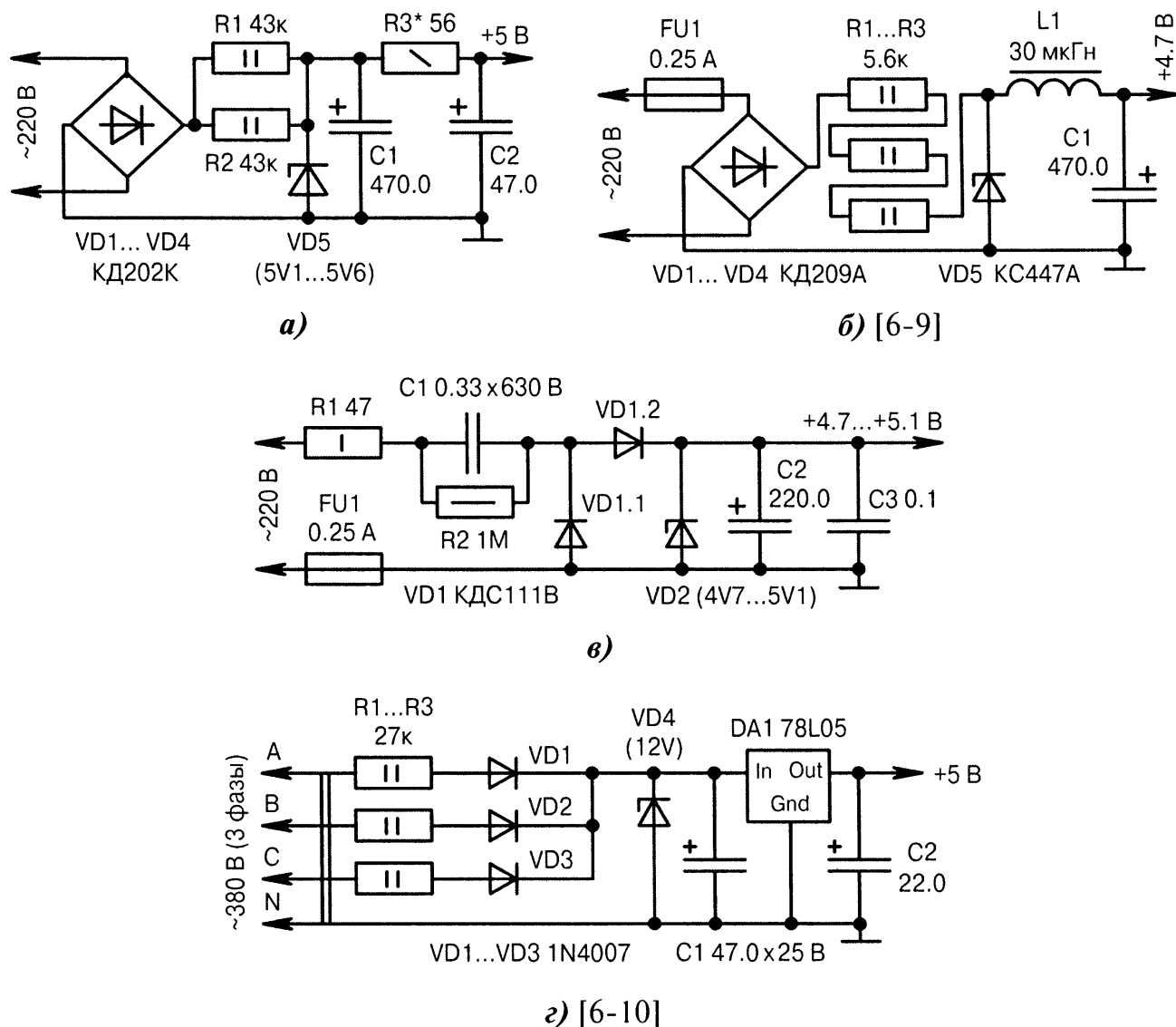
Таблица 6.2. Параметры конденсаторов серии К73 [6-8]

Конденсатор	Ёмкость [мкФ]	$V_{DC}$ [В]	$V_{AC}$ [В]
К73-11	0.068...0.47	160...630	32...125
К73-15	0.015...0.22	100...250	65...165
К73-15	0.01...0.15	630	220
К73-17	0.22...1.0	63...250	63...250
К73-17	0.022...1.0	400	280
К73-17	0.01...0.47	630	315

Схемы балластного типа «не любят» частых включений/выключений, поскольку в начальный момент времени возникают всплески напряжения. Если имеется возможность, то лучше вообще обойтись без сетевого тумблера, что значительно продлит ресурс работы устройства. Оптимальная сфера применения балластных схем — маломощные приборы с круглосуточным режимом функционирования.

Импульсные сетевые бестрансформаторные преобразователи напряжения носят название AC/DC («переменное» AC в «постоянное» DC). Они обеспечивают высокий КПД и малые габариты, но генерируют импульсные помехи достаточно высокой частоты и амплитуды. Кроме того, микросхемы, применяемые в этих преобразователях, к числу дешёвых и широко распространённых не относятся.

На Рис. 6.3, а...м показаны схемы бестрансформаторного питания с балластными резисторами и конденсаторами, а на Рис. 6.4, а...г — с микросхемами импульсных AC/DC-преобразователей.



**Рис. 6.3.** Схемы бестрансформаторного питания с балластными элементами (начало):

а) диоды  $VD1...VD4$  должны выдерживать обратное напряжение не менее 400 В. Резисторы  $R1, R2$  являются балластными для стабилитрона  $VD5$ . Сопротивление резистора  $R3$  выбирается так, чтобы выходное напряжение не превышало +5.25 В при любом токе нагрузки. ФНЧ на элементах  $C1, R3, C2$  сглаживает сетевые пульсации удвоенной частоты 100 Гц;

б) аналогично **Рис. 6.3, а**, но параллельные балластные резисторы заменяются последовательно включёнными резисторами  $R1...R3$ ,  $RC$ -фильтр заменяется  $LC$ -фильтром  $L1, C1$ , а также добавляется предохранитель  $FU1$ . Максимально допустимый ток через дроссель  $L1$  должен быть с запасом больше, чем ток нагрузки;

в) полная классическая схема источника питания с балластным конденсатором  $C1$ . Резистор  $R1$  ограничивает начальный ток заряда конденсатора  $C2$  и является обязательным в подобных схемах. Резистор  $R2$  быстро разряжает конденсатор  $C1$  после отключения вилки от сети 220 В. Сборка диодов  $VD1$  выпрямляет напряжение и может быть заменена двумя диодами типа 1N4004...1N4007. Конденсатор  $C2$  сглаживает сетевые пульсации, а конденсатор  $C3$  устраняет ВЧ-помехи. Выходное напряжение зависит от параметров стабилитрона  $VD2$  и тока нагрузки;

г) питание от трёхфазной сети через балластные резисторы  $R1...R3$ . Стабилитрон  $VD4$  нужен, чтобы микросхема  $DA1$  не вышла из строя от высокого входного напряжения при обрыве нагрузки в цепи +5 В или при резком снижении тока потребления; ⦿

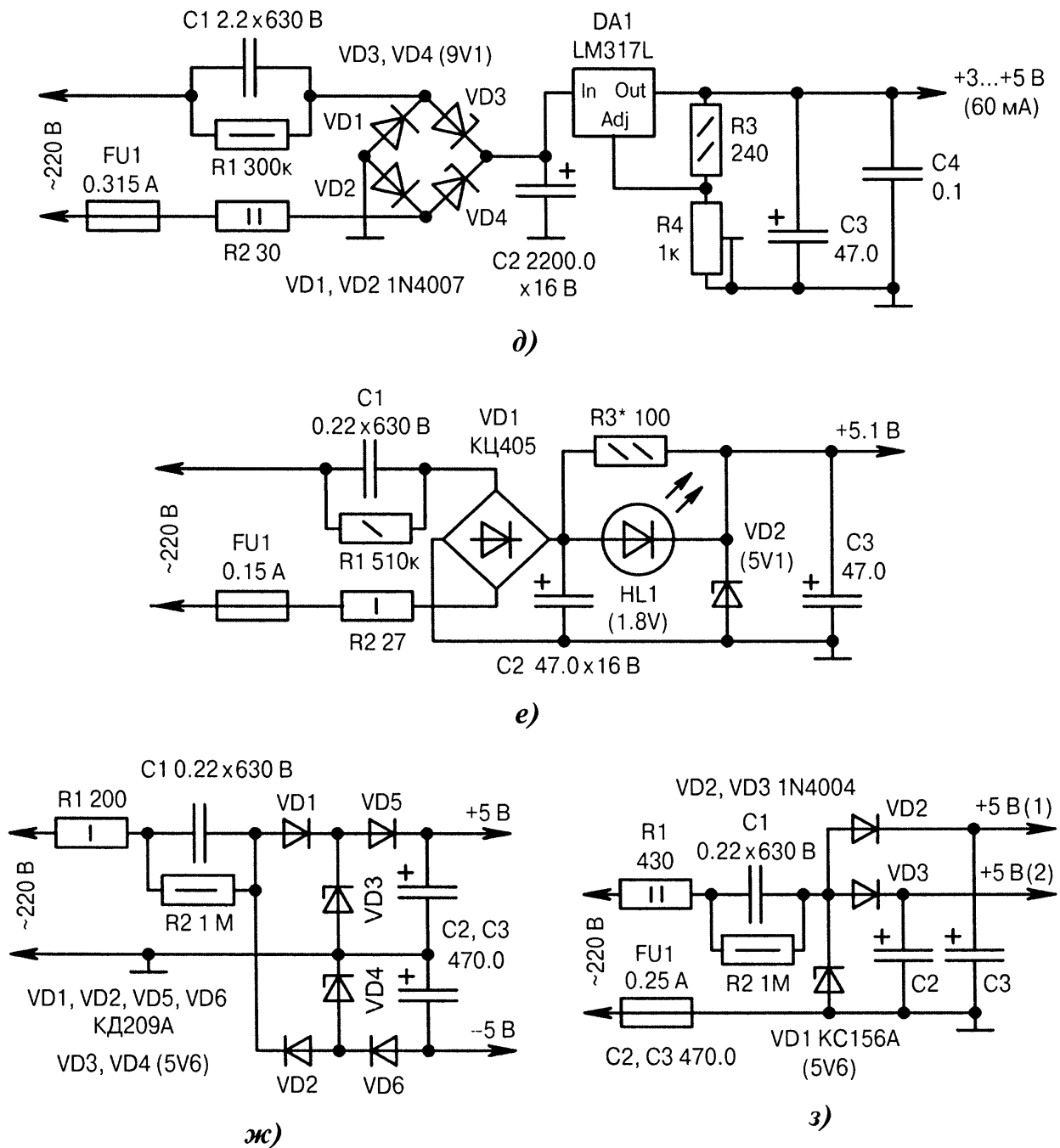


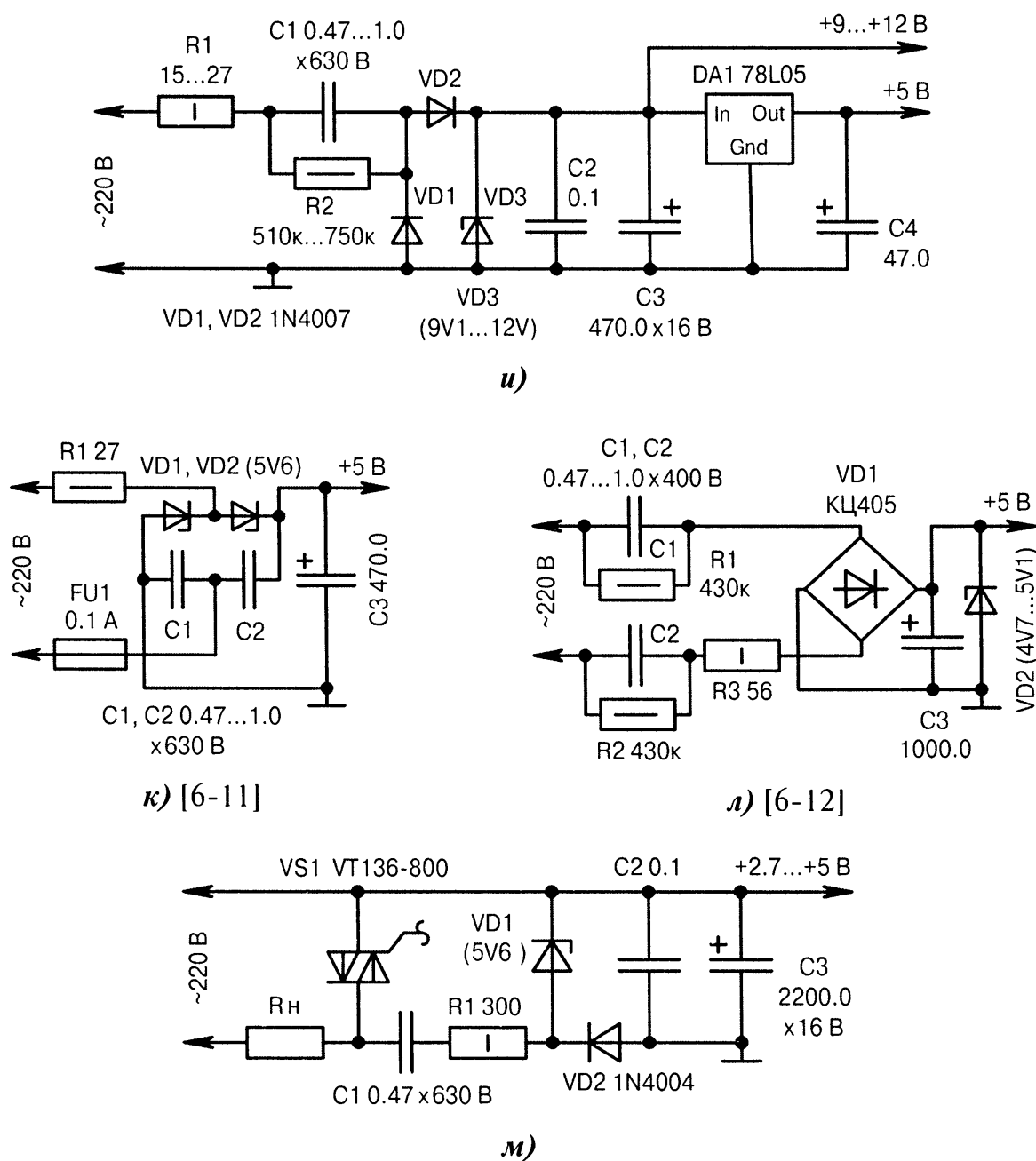
Рис. 6.3. Схемы бестрансформаторного питания с балластными элементами (продолжение):

д) стабилитроны  $VD3, VD4$  имеют повышенную мощность рассеяния 1...3 Вт и выполняют предварительное ограничение напряжения. Стабилизатор на микросхеме  $DA1$  обеспечивает выходное напряжение  $U_{\text{вых}}[\text{В}] = 1.25 \cdot (1 + R_{4,1}[\text{Ом}] / R_3[\text{Ом}])$ , где  $R_{4,1}$  — это остаточное сопротивление между верхним и средним выводами резистора  $R4$  после регулирования;

е) двухполупериодный выпрямитель с диодным мостом  $VD1$  и светодиодной индикацией наличия питания. Резистор  $R3$  определяет ток в нагрузке, а также яркость свечения индикатора  $HL1$ . Выходное напряжение зависит от параметров стабилитрона  $VD2$  и тока нагрузки;

ж) двухполярный источник питания. Для полной симметрии схемы желательно обеспечить одинаковые токовые нагрузки по цепям  $+5$  и  $-5$  В;

з) разделение выходного напряжения на две отдельные ветви для исключения взаимных помех, например, для питания МК и для управления тиристором. Стабилитрон  $VD1$  ограничивает напряжение на уровне  $+5.6$  В. Диоды  $VD2, VD3$  снижают его до  $+4.8...+5$  В в каждом канале; Ⓣ



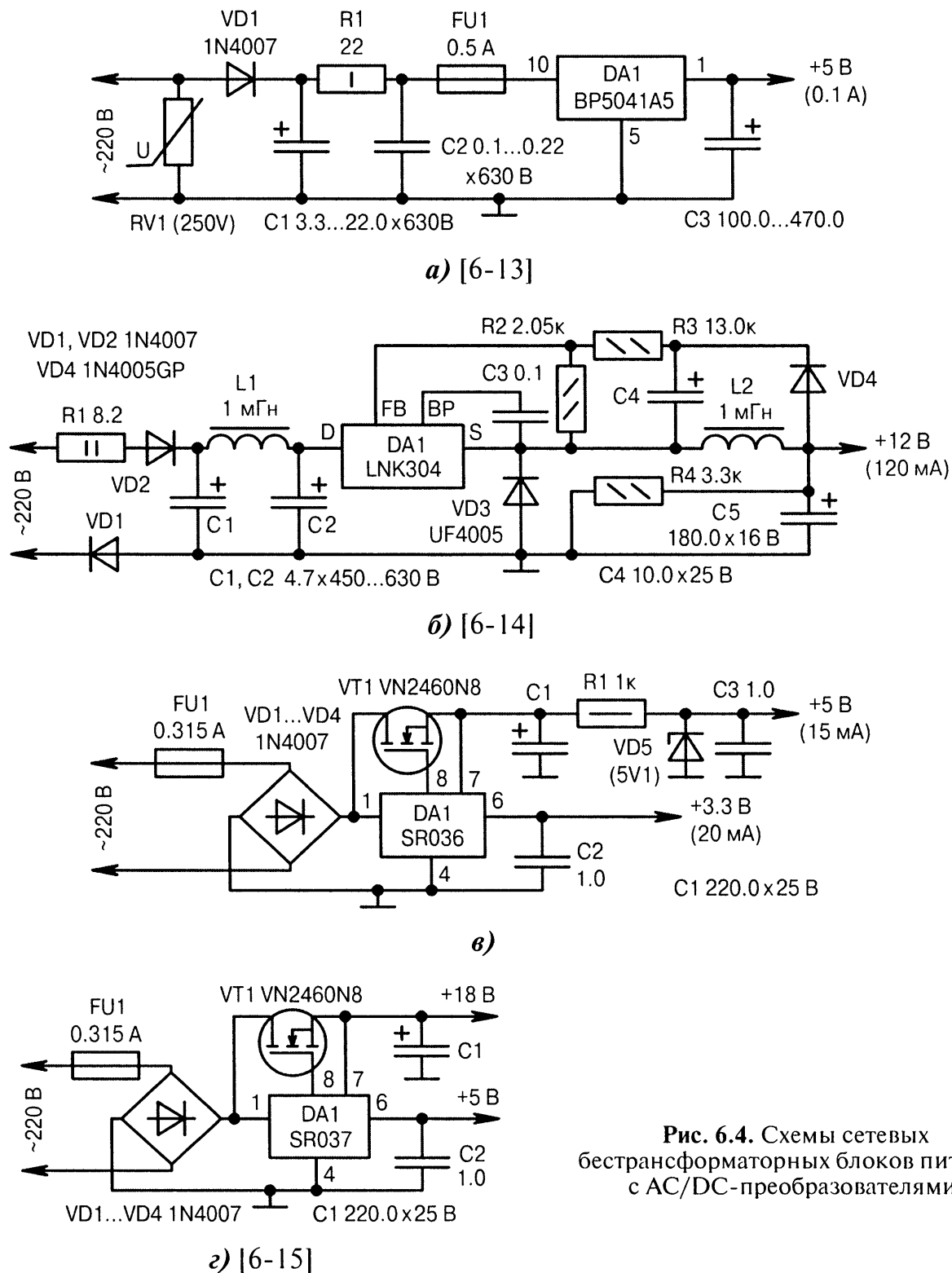
⊖ **Рис. 6.3.** Схемы бестрансформаторного питания с балластными элементами (окончание):

и) получение двух напряжений от одного источника питания. Суммарный ток нагрузки состоит из суммы токов в каналах  $+9...+12\text{ В}$  и  $+5\text{ В}$ . При значительных колебаниях тока нагрузки следует выбрать стабилитрон  $VD3$  с повышенной мощностью рассеяния 1...3 Вт;

к) стабилитроны  $VD1, VD2$  одновременно служат стабилизаторами и выпрямителями. Стабилитроны следует выбирать мощные, с запасом по току;

л) вместо одного применяются два балластных конденсатора  $C1, C2$ , которые могут быть рассчитаны на меньшее допустимое напряжение;

м) в закрытом состоянии тиристора  $VS1$  ток на бестрансформаторный стабилизатор напряжения ( $C1...C3, R1...R3, VD1, VD2$ ) проходит через нагрузку  $R_H$ . Ввиду низкого значения тока, нагрузка не работает в полную мощность, например, лампа не светится, вентилятор не крутится и т.д. После включения тиристора  $VS1$ , в нагрузку  $R_H$  подается полная мощность, а напряжение на выходе стабилизатора снижается с  $+5$  до  $+2.7\text{ В}$ . Чтобы МК нормально функционировал, он должен быть широкодиапазонным по питанию и иметь возможность организации рестарта.



**Рис. 6.4.** Схемы сетевых бестрансформаторных блоков питания с AC/DC-преобразователями:

- а) типовая схема включения импульсного AC/DC-преобразователя напряжения на микросхеме DA1 фирмы ROHM;
- б) типовая схема включения импульсного AC/DC-преобразователя напряжения на микросхеме DA1 фирмы Power Integrations. Дроссели L1, L2 снижают уровень пульсаций;
- в) формирователь двух популярных у радиолюбителей напряжений питания +5 и +3.3 В. Микросхема DA1 — это импульсный AC/DC-преобразователь напряжения фирмы Supertex;
- г) DA1 — это импульсный AC/DC-преобразователь напряжения фирмы Supertex. Общий ток нагрузки по выходам +18 и +5 В не должен превышать 40 мА.

## 6.4. Параметрические стабилизаторы напряжения

Стабилизатор напряжения является важным звеном в любом источнике питания. От устойчивости и стабильности питающего напряжения во многом зависит надёжность работы и долговечность всего устройства.

Для питания МК обычно применяют стабилизаторы двух видов: параметрические на стабилитронах и компенсационные на интегральных микросхемах. Многочисленные разновидности транзисторных стабилизаторов напряжения, которые публиковались в 1980-х годах, сейчас уже не актуальны. Причина банальная — если нужно максимально дешёвое изделие, то ставят стабилитрон, а если нужен высокий коэффициент стабилизации и защита от перегрузок, то ставят малогабаритную интегральную микросхему.

Несмотря на простоту параметрических стабилизаторов напряжения, именно они хорошо отводят излишний ток, попадающий в цепь питания через входные диоды в стандартных схемах защиты линий портов МК (например, Рис. 3.10, б).

Следует учитывать, что низковольтные стабилитроны общего применения имеют «гостированный» ряд напряжений — 3.0; 3.3; 3.6; 3.9; 4.3; 4.7; 5.1; 5.6; 6.2; 7.5; 8.2; 9.1; 12 В при точности  $\pm 5$  или  $\pm 10\%$ . Минимальный ток стабилизации согласно даташитам может составлять 1; 3; 5 мА. Мощность рассеяния стабилитронов бывает 0.5; 1; 3; 5 Вт, что зависит от их габаритных размеров и материала корпуса (металл или пластмасса). У поверхностно монтируемых стабилитронов в SMD-корпусе мощность рассеяния составляет 0.25 и 0.5 Вт.

Параметрические стабилизаторы положительного напряжения выполняются по схемам, приведенным на Рис. 6.5, а...е. Их ядром служат двух- или трёхвыводные стабилитроны, иногда дополненные транзисторными усилителями тока.

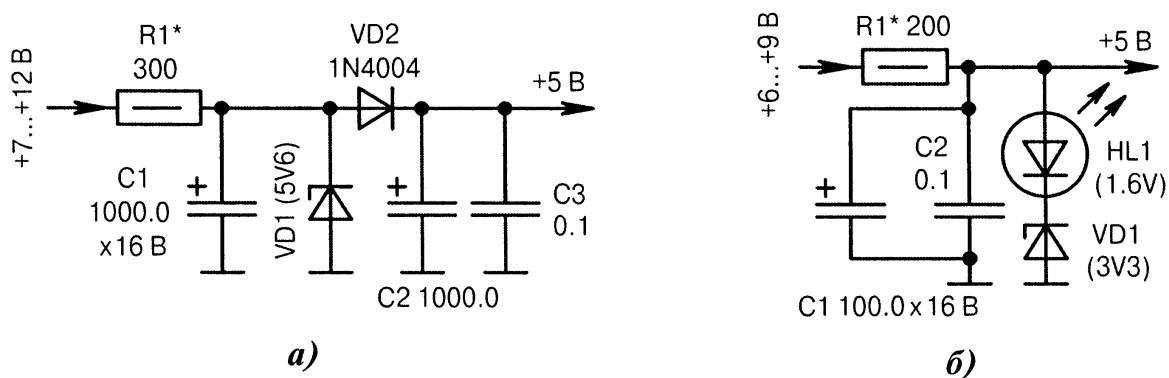


Рис. 6.5. Схемы параметрических стабилизаторов напряжения (начало):

а) стандартный стабилизатор напряжения с балластным резистором  $R1$  и стабилитроном  $VD1$ . Конденсаторы  $C1...C3$  снижают сетевые пульсации и ВЧ-помехи. Диод  $VD2$  уменьшает выходное напряжение до необходимых  $+4.9...+5$  В. Сопротивление резистора  $R1$  должно быть таким, чтобы ток через стабилитрон  $VD1$  находился в пределах  $U_{CT\ MIN}...U_{CT\ MAX}$  во всём диапазоне входных напряжений, температур и токов нагрузки;

б) светодиод  $HL1$  одновременно является индикатором наличия питания и частью стабилизатора напряжения. По яркости его свечения можно приблизительно судить о токе нагрузки. Важно, чтобы ток через индикатор  $HL1$  всегда был меньше 20 мА, иначе следует увеличить сопротивление резистора  $R1$  или поставить параллельно светодиоду резистивный шунт; ☉

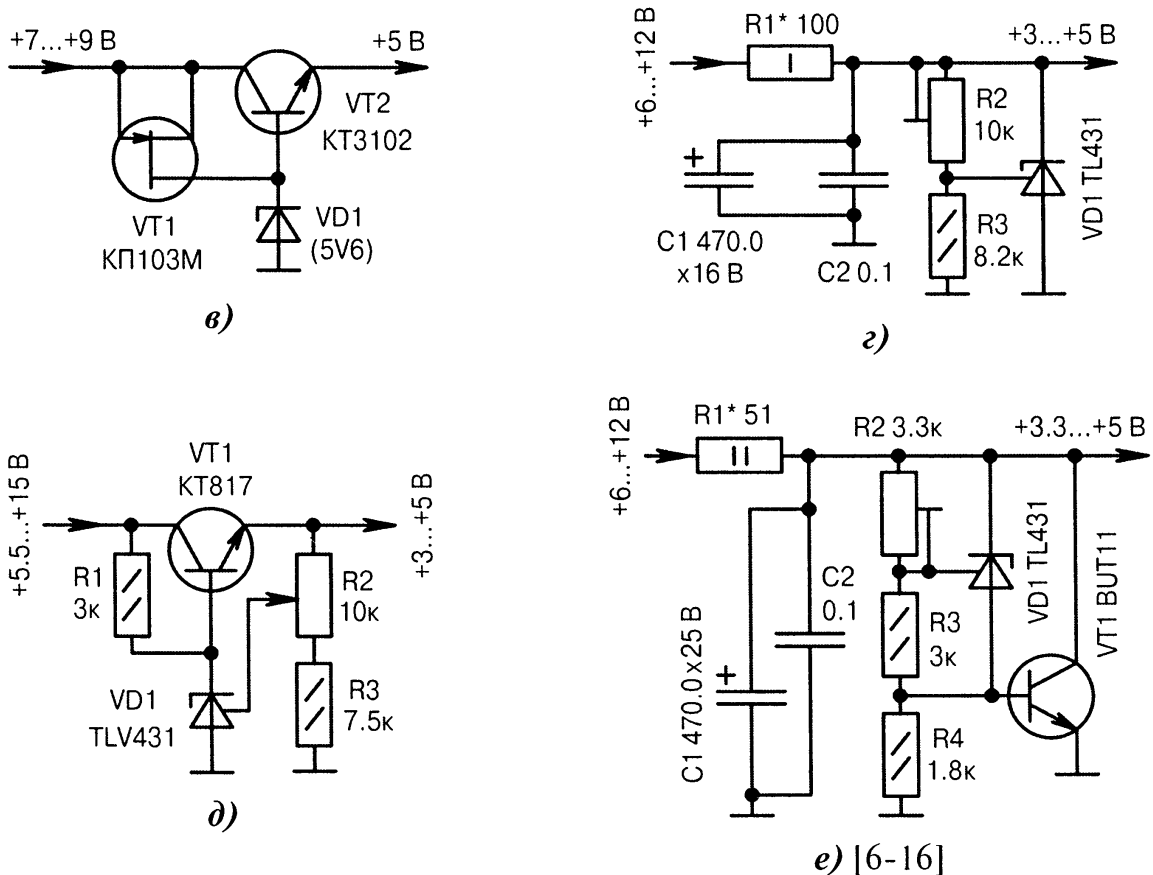


Рис. 6.5. Схемы параметрических стабилизаторов напряжения (окончание):

в) повышение коэффициента стабилизации за счёт генератора тока на полевом транзисторе  $VT1$ . Транзистор  $VT2$  увеличивает отдаваемую в нагрузку мощность. Выходное напряжение  $+5$  В меньше напряжения стабилизации  $VD1$  на  $0.6...0.7$  В из-за падения напряжения между базой и эмиттером транзистора  $VT2$ ;

г) базовая схема включения трёхвыводного стабилитрона  $VD1$ . Его достоинства — повышенный до  $800...1000$  коэффициент стабилизации и широкий диапазон тока нагрузки  $1...100$  мА. Выходное напряжение определяется положением движка резистора  $R2$  и вычисляется по формуле  $U_{\text{вых}}[\text{В}] = 2.5 \cdot (1 + R_{2,2}[\text{кОм}] / R_3[\text{кОм}])$ , где  $R_{2,2}$  — это сопротивление между средним и нижним отводами резистора  $R2$  после регулирования. При полном замыкании резистора  $R2$  выходное напряжение равняется внутреннему опорному напряжению стабилитрона  $VD1$  ( $2.5$  В). Замена  $VD1$  — любой трёхвыводной стабилитрон из серии «431» разных фирм-изготовителей;

д) стабилизатор напряжения с транзисторным усилителем тока. Выходное напряжение определяется по формуле  $U_{\text{вых}}[\text{В}] = 1.25 \cdot (1 + R_{2,1}[\text{кОм}] / (R_{2,2}[\text{кОм}] + R_3[\text{кОм}])) + 0.7$ , где  $R_{2,1}$  ( $R_{2,2}$ ) — это сопротивление между верхним и средним (нижним и средним) отводами резистора  $R2$  после регулирования. Число « $0.7$ » означает напряжение  $U_{\text{БЭ}}$  транзистора  $VT1$  в вольтах. Число « $1.25$ » означает внутреннее опорное напряжение стабилитрона  $VD1$  в вольтах. В качестве замены подойдут любые трёхвыводные стабилитроны из серии «1431». Также можно использовать стабилитроны с опорным напряжением  $2.5$  В из серии «431», заменив число « $1.25$ » числом « $2.5$ » в расчётной формуле для  $U_{\text{вых}}$ ;

е) мощный «параллельный» стабилизатор напряжения с балластным резистором  $R1$  и шунтирующим транзистором  $VT1$ . Выходное напряжение устанавливается резистором  $R2$  и определяется по формуле  $U_{\text{вых}}[\text{В}] = 2.5 \cdot (1 + R_{2,1}[\text{кОм}] / R_3[\text{кОм}]) + 0.7$ , где  $R_{2,1}$  — это сопротивление между верхним и средним отводами резистора  $R2$  после регулирования.



## 6.5. Интегральные стабилизаторы положительного напряжения

Компенсационные стабилизаторы положительного напряжения популярной серии «78xx» были разработаны в 1976 г. на фирме Texas Instruments. В дальнейшем появились их модификации (Табл. 6.3) и аналогичные разработки других фирм. Выходные напряжения стандартизованы согласно ряду: 1.5; 1.8; 2.5; 2.7; 2.8; 3.0; 3.3; 4; 5; 6; 8; 9; 12; 15; 18; 24 В. Изготовители различаются по первым буквам в названии, например, L7812 (STMicroelectronics), KA7805 (Samsung), NJM78L03 (NJR Corporation), LM7805 (Fairchild), UTC7805 (Unisonic Technologies). В странах СНГ эти стабилизаторы известны по микросхемам серии KP142EHxx.

Таблица 6.3. Параметры интегральных стабилизаторов напряжения

Стабилизатор +5 В	$I_{\text{MAX}}$ [А]	$U_{\text{ВХ-ВЫХ}}$ [В]	$U_{\text{ВХ MIN}}$ [В]	$U_{\text{ВХ MAX}}$ [В]	$I_{\text{II}}$ [мА]
xx7805	1	2	7	35	3...8
xx78M05	0.5	2	7	35	3...6
xx78L05	0.1	1.7	6.3	30	3...5
xx78FC50	0.12	0.5	5.5	10	0.003
xx78LC50	0.08	0.03	5.03	12	0.003

*Важный нюанс.* Допустимое падение напряжения между входом и выходом стабилизатора ( $U_{\text{ВХ-ВЫХ}}$ ) зависит от тока нагрузки. Так, например, для микросхем серии «7805» оно составляет 1 В при токе 20 мА и 2 В при токе 1 А. В кратких справочных данных обычно указывают только последний параметр (2 В/1 А), а полные нагрузочные характеристики приводятся только в графиках даташитов. Следовательно, внимательно их изучая, можно избежать ненужной перестраховки.

Напряжение  $U_{\text{ВХ-ВЫХ}}$  определяет КПД стабилизатора и его экономичность. Чем напряжение меньше, тем лучше. По этому параметру различают:

- Standard (стандартные стабилизаторы,  $U_{\text{ВХ-ВЫХ}} = 1...2$  В);
- LDO (Low DropOut стабилизаторы,  $U_{\text{ВХ-ВЫХ}} = 0.4...0.6$  В);
- UltraLDO стабилизаторы ( $U_{\text{ВХ-ВЫХ}} = 0.1...0.3$  В).

Остальные электрические параметры у всех трёх подвариантов примерно одинаковы и не зависят от фирмы-изготовителя. Разумеется, с технической точки зрения лучше всего применять стабилизаторы UltraLDO, но они дорогие. В качестве компромисса можно рассматривать микросхемы LDO.

Все современные интегральные стабилизаторы имеют защиту от короткого замыкания в нагрузке, от температурного перегрева кристалла и от выхода рабочей точки из зоны безопасной работы [6-17].

Кроме стабилизаторов фиксированного напряжения существуют интегральные регулируемые стабилизаторы. Первые их образцы разработал Роберт Добкин (Robert Dobkin) в 1977 г. на фирме National Semiconductor. Типичными представителями этого направления являются микросхемы серии «317», выходное напряжение которых определяется делителем на двух резисторах.

На Рис. 6.6, а...р показаны схемы регулируемых и нерегулируемых интегральных стабилизаторов положительного напряжения.

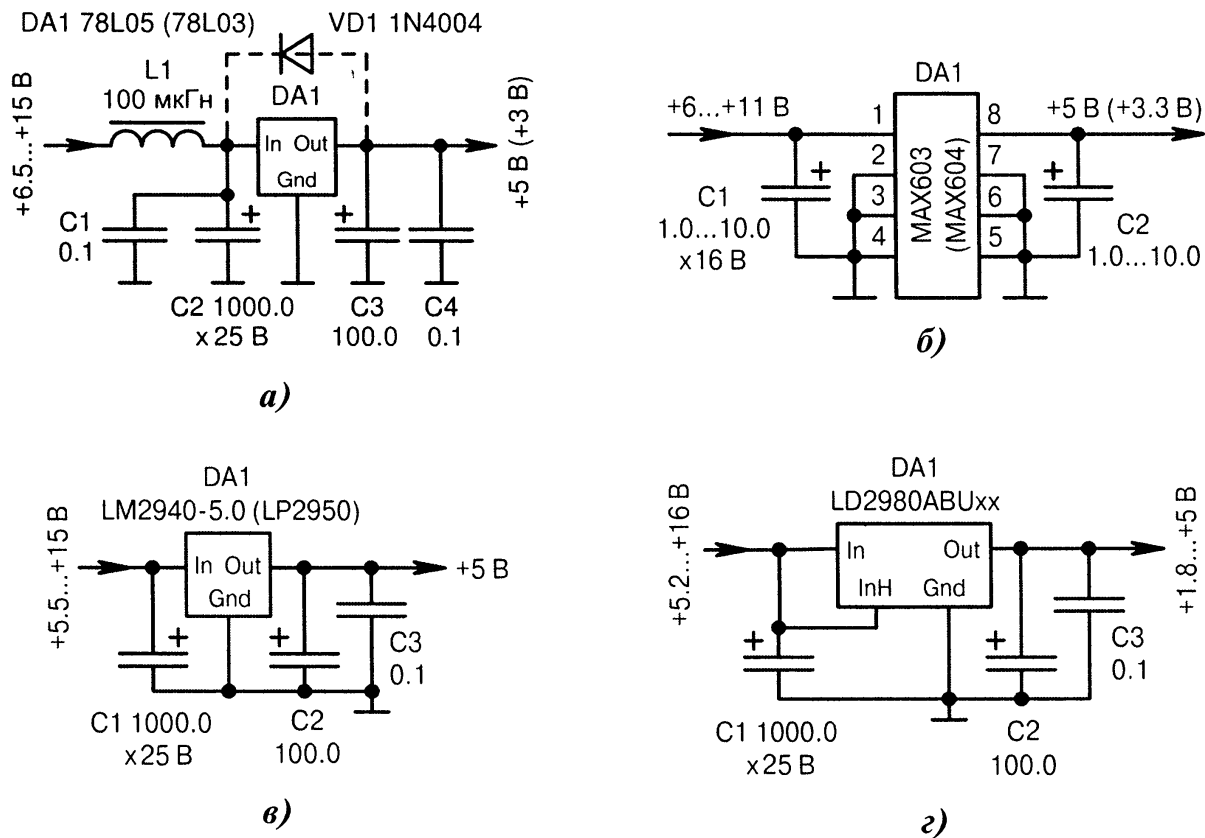


Рис. 6.6. Схемы компенсационных интегральных стабилизаторов положительного напряжения (начало):

а) типовая схема включения интегрального стабилизатора *DA1*. Серия микросхем «78Lxx» идеально подходит для несложных любительских конструкций, содержащих МК и имеющих ток потребления до 100 мА. Встроенная в *DA1* защита от короткого замыкания ограничивает выходной ток на уровне 0.1...0.2 А, что во многих случаях спасает МК при аварии. Входное напряжение фильтруют элементы *L1*, *C1*, *C2*, причём катушка индуктивности может отсутствовать. Конденсаторы *C1*, *C4* устанавливают вблизи (0...70 мм) от выводов стабилизатора *DA1*, чтобы предотвратить самовозбуждение последнего. Ёмкость конденсатора *C2* должна быть в несколько раз больше, чем ёмкость конденсатора *C3*, иначе надо ставить защитный диод *VD1* (показан пунктиром). Главное, чтобы при выключении питания выходное напряжение +5 В снижалось по времени быстрее, чем входное +6.5...+15 В (для этого и увеличивают ёмкость конденсатора *C2*), иначе может выйти из строя микросхема *DA1*. Если нет уверенности, то подобный диод рекомендуется ставить и в других аналогичных схемах;

б) стабилизатор *DA1* (фирма Maxim/Dallas) не относится к серии «78xx». Он отличается названием и функциональностью. В частности, в микросхеме *DA1* имеется вход для выключения стабилизатора (вывод 4) и вход для плавного регулирования напряжения (вывод 5). Микросхемы MAX603 и MAX604 взаимозаменяемые и обеспечивают соответственно +5 и +3.3 В на выходе;

в) LDO-стабилизатор на микросхеме *DA1* с максимальным током нагрузки 1 А (аналог К1184ЕН1). В семействе LM2940 существуют микросхемы с выходным напряжением 5; 8; 9; 10; 12; 15 В, а в семействе LP2950 — с напряжением 3.0; 3.3; 5 В;

г) UltraLDO-стабилизатор на микросхеме *DA1* в SMD-корпусе. Напряжение  $U_{\text{ВХ-ВЫХ}}$  не более 0.12 В при токе нагрузки 50 мА и не более 7 мВ при токе нагрузки 1 мА. Существуют модификации данного стабилизатора с выходным напряжением согласно ряду: 1.5; 1.8; 2.5; 2.85; 3.0; 3.2; 3.3; 3.6; 3.8; 4.0; 4.7; 4.85; 5.0 В; ☉

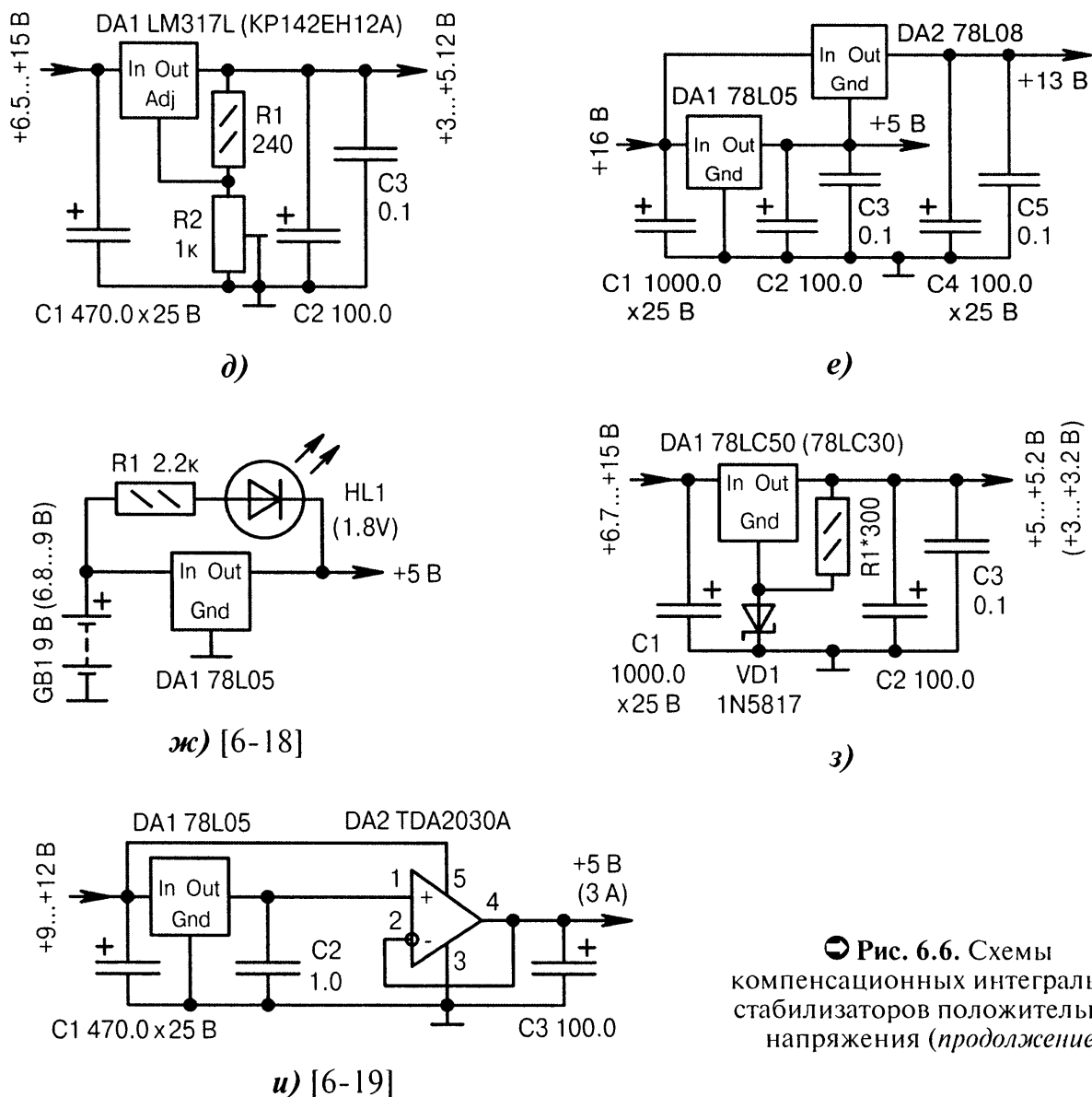


Рис. 6.6. Схемы компенсационных интегральных стабилизаторов положительного напряжения (продолжение):

д) регулируемый стабилизатор напряжения на микросхеме DA1 серии «317». Выходное напряжение рассчитывается по формуле  $U_{\text{вых}}[\text{В}] = 1.25 \cdot (1 + R_{2,1}[\text{Ом}] / R_1[\text{Ом}])$ , где  $R_{2,1}$  — это сопротивление между верхним и средним выводами резистора R2 после регулирования. При полном замыкании резистора R2 выходное напряжение  $U_{\text{вых}} = 1.25 \text{ В}$  (внутренний ИОН DA1);

е) напряжение +13 В получается сложением двух напряжений стабилизаторов DA1 и DA2;

ж) индикатор HL1 светится зелёным цветом при нормальном напряжении батареи/аккумулятора GB1 в пределах 6.8...9 В. Ниже 6.8 В его свечение прекращается, что является сигналом к замене батареи или подзарядке аккумулятора;

з) стандартный приём увеличения выходного напряжения стабилизатора DA1 на 0.1...0.3 В. Это может потребоваться при некондиционных параметрах микросхемы DA1 или для тестирования работы МК при повышенном питании. Резистором R1 в небольших пределах регулируется выходное напряжение на линейном участке ВАХ диода VD1 (ток 5...10 мА). Резистор R1 не обязателен, если микросхему DA1 серии «78LC05», «78L05» заменить аналогичной из серии «7805», имеющей потребление тока через вывод GND в пределах 3...8 мА;

и) стабилизатор напряжения DA1 дополнен усилителем тока на звуковой микросхеме DA2, которая используется как повторитель напряжения с нагрузкой до 3 А. Питание микросхемы DA2 должно быть повышенным +9...+12 В, хотя и не обязательно стабилизированным; ●

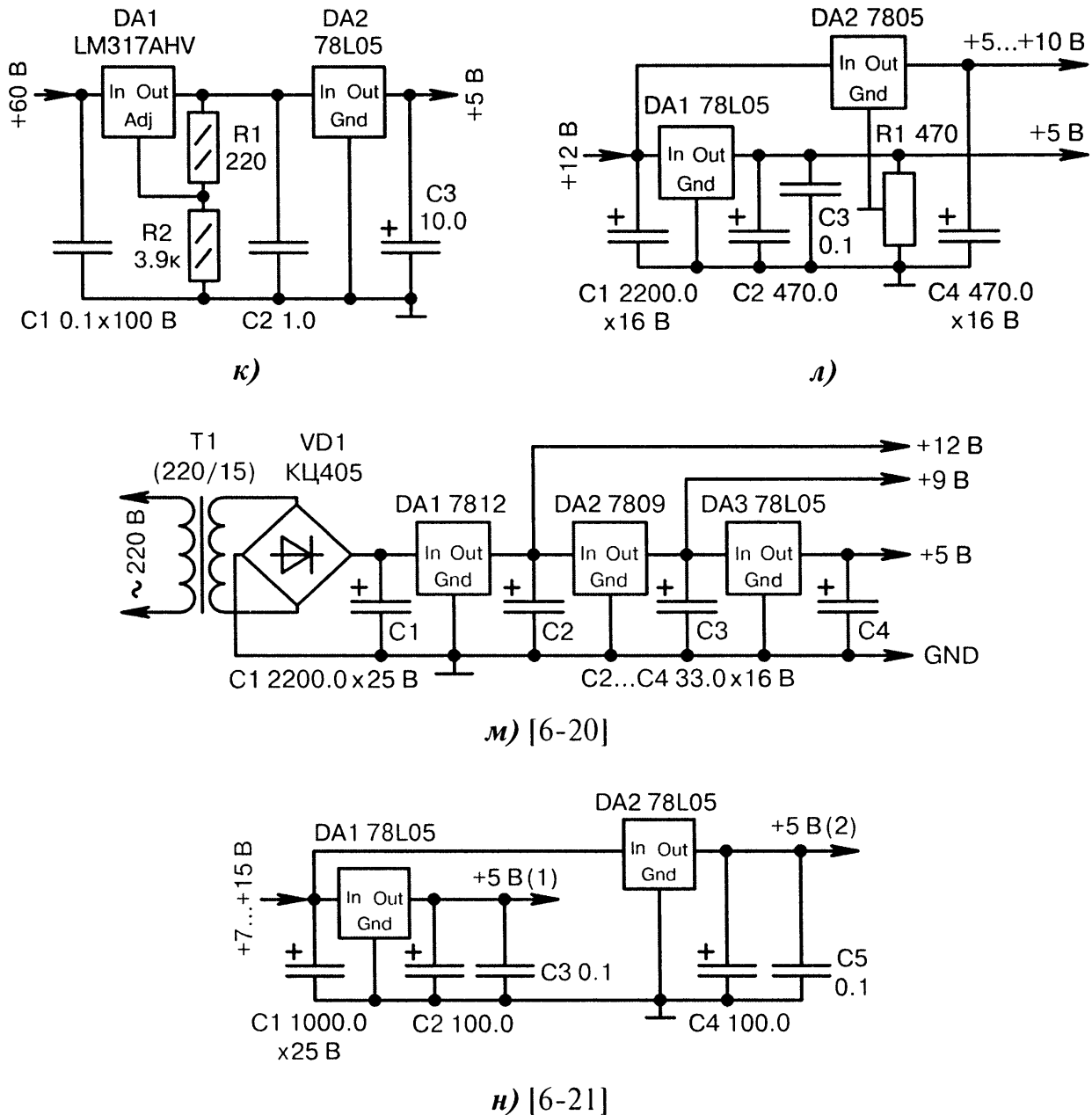


Рис. 6.6. Схемы компенсационных интегральных стабилизаторов положительного напряжения (продолжение):

к) высокое входное напряжение 60 В сначала понижается до 23 В ( $DA1$ ), а затем до 5 В ( $DA2$ ). Разность напряжений между входом и выходом микросхемы  $DA1$  не должна превышать 40 В. При большом токе нагрузки может потребоваться установка микросхем  $DA1$ ,  $DA2$  на радиаторы;

л) резистором  $R1$  плавно подстраивается напряжение в верхнем, более мощном канале. Если средний вывод резистора  $R1$  в результате вращения его движка электрически соединится с общим проводом, то в двух каналах будут идентичные напряжения +5 В. Стабилизаторы  $DA1$ ,  $DA2$  могут иметь как одинаковые, так и разные выходные напряжения;

м) блок питания с условным названием «Ступенька» состоит из последовательно включённых стабилизаторов напряжения  $DA1...DA3$ . Ток нагрузки, просуммированный по трём цепям +12, +9 и +5 В, не должен превышать максимально допустимого тока для микросхемы  $DA1$ ;

н) получение двух одинаковых напряжений от одного общего источника +7...+15 В. Это полезно, например, для развязки аналоговых и цифровых цепей МК или для отдельного питания высокочувствительного входного усилителя; ◉

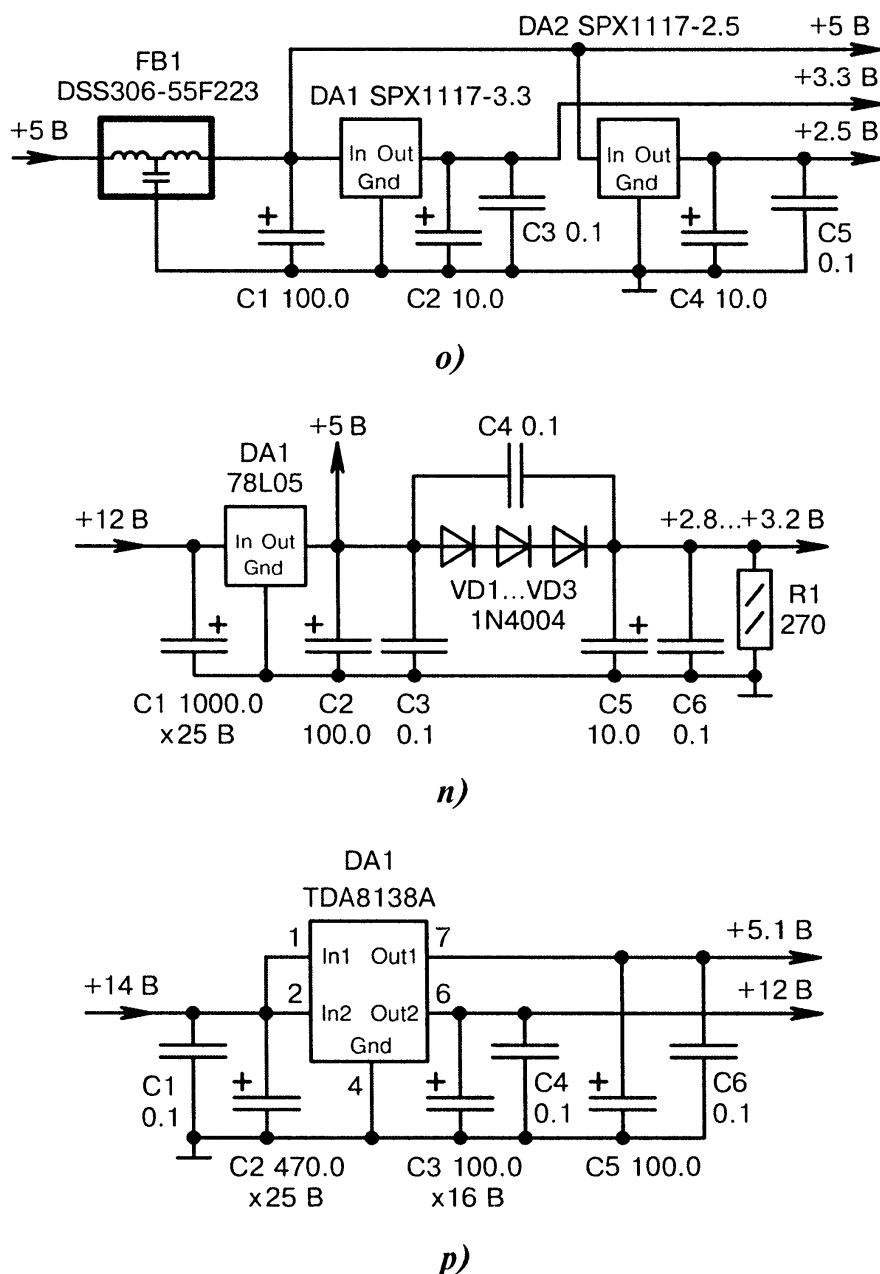


Рис. 6.6. Схемы компенсационных интегральных стабилизаторов положительного напряжения (окончание):

o) получение трёх разных стабилизированных напряжений для питания процессорного ядра, а также внутренней и внешней периферии у новых современных МК. Помехозащитный фильтр *FB1* (фирма Murata Manufacturing) имеет малые габариты. Он может быть заменён однозвенным *LC*-фильтром на дискретных элементах;

n) получение хорошо стабилизированного напряжения +5 В и «квазистабильзованного» напряжения +2.8...+3.2 В. Диоды *VD1...VD3* снижают выходное напряжение, но оно будет зависеть от протекающего через них тока и температуры окружающей среды. Диодов может быть не три, а два, причем как обычных, так и диодов Шоттки. Резистор *R1* служит для начальной нагрузки по току, чтобы зафиксировать рабочую точку диодов на крутой вертикальной ветви ВАХ, начиная с 10 мА;

p) двухканальный стабилизатор напряжения *DA1* (фирма STMicroelectronics) обеспечивает питанием сразу два выходных тракта +5.1 и +12 В. Ток нагрузки в каждом канале может составлять 0.75...1 А.

## 6.6. Двухполярные стабилизаторы напряжения

Если имеются стабилизаторы положительного напряжения, то по логике вещей должны быть и стабилизаторы отрицательного напряжения. Строятся они по комплементарным симметричным схемам, т.е. с другой структурой проводимости транзисторов и с противоположной полярностью включения диодов, стабилитронов, электролитических конденсаторов.

Классификация стабилизаторов отрицательного и положительного напряжения одинакова: параметрические на стабилитронах и компенсационные на интегральных микросхемах. В последнем случае вырывает схожесть названий. Например, эквивалентом для «положительной» серии 78xx является «отрицательная» серия 79xx.

Сам по себе стабилизатор отрицательного напряжения интереса не представляет (всё в мире относительно!). Эффект от его применения наблюдается только при двухполярном питании. Такая необходимость возникает, в частности, если в устройстве кроме МК используются внешние ОУ, коммутаторы, АЦП.

На выходах стабилизаторов положительного и отрицательного напряжения ставят сглаживающие электролитические конденсаторы. В малогабаритной аппаратуре удобно применять «SMD-столбики» ёмкостью 1...10000 мкФ, рассчитанные на рабочее напряжение 6.3...100 В. Кроме того, при выборе типа электролитического конденсатора надо учитывать динамические параметры. Наиболее показательными из них являются предельный ток пульсаций  $I_{\text{RIPPLE}}$  (Ripple Current) — чем он больше, тем лучше, а также эквивалентное последовательное сопротивление ESR (Equivalent Series Resistance, по-русски ЭПС) — чем оно меньше, тем лучше. Динамические параметры для зарубежных конденсаторов нормируются на частоте 120 Гц или в диапазоне 100...300 кГц.

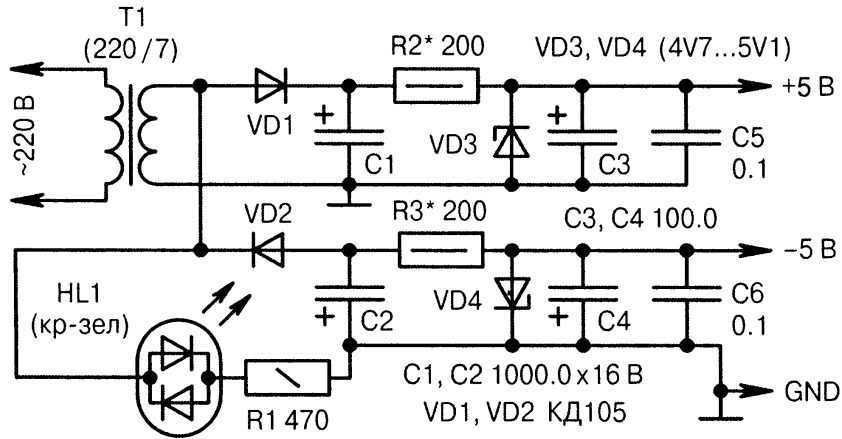
Конденсатор, рассчитанный на большее напряжение, имеет меньшее сопротивление ESR. Например, у конденсатора 1000 мкФ x 6.3 В по даташиту ESR = 53 мОм, а у конденсатора 1000 мкФ x 16 В по даташиту ESR = 23 мОм. Дальнейшее увеличение напряжения с 16 В до 35...100 В не приводит к заметному снижению ESR. Следовательно, при питании МК от 5 В лучше поставить между  $V_{\text{CC}}$  и GND конденсаторы с напряжением 16 В, а не на 6.3 В (заодно повышается надёжность работы).

ESR одного «большого» конденсатора обычно выше, чем ESR двух параллельных конденсаторов вдвое меньшей ёмкости, что видно из Табл. 6.4, поэтому выгодно по питанию запаять много «мелких» конденсаторов, равномерно распределяя их на печатной плате.

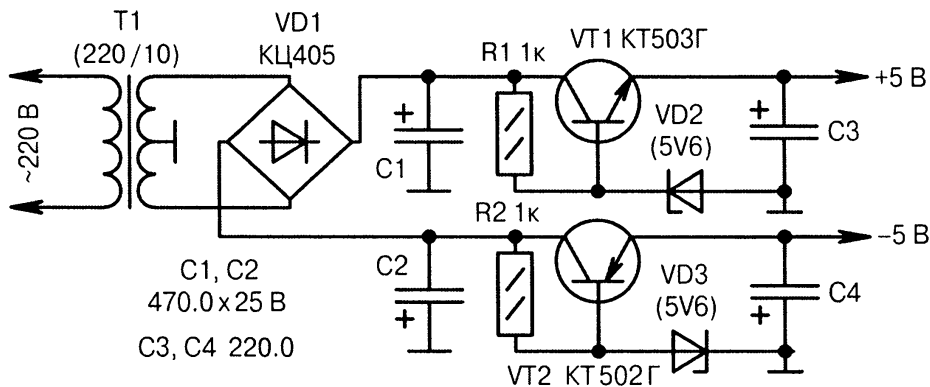
Таблица 6.4. Параметры электролитических SMD-конденсаторов фирмы Hitano

Конденсаторы серии EZV	$I_{\text{RIPPLE}}$ [A]	ESR [мОм]	Конденсаторы серии EVS	$I_{\text{RIPPLE}}$ [A]	ESR [мОм]
22 мкФ x 16 В	0.15	760	47 мкФ x 16 В	1.6	50
47 мкФ x 16 В	0.23	440	82 мкФ x 16 В	2.1	43
100 мкФ x 16 В	0.23	400	180 мкФ x 16 В	3.6	33
220 мкФ x 16 В	0.45	300	220 мкФ x 16 В	4.2	20
470 мкФ x 16 В	0.67	150	330 мкФ x 16 В	4.3	16

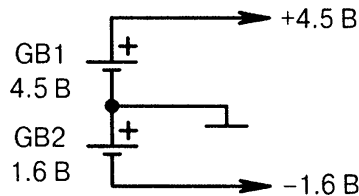
На Рис. 6.7, а...е показаны схемы параметрических, а Рис. 6.8, а...г — компенсационных двухполярных стабилизаторов напряжения.



а)



б)



в)

Рис. 6.7. Схемы параметрических двухполярных стабилизаторов напряжения (начало):

а) два однополупериодных выпрямителя на элементах  $VD1, C1$  и  $VD2, C2$  обеспечивают двухполярное питание. Одинаковые стабилитроны  $VD3, VD4$  создают примерно равную нагрузку на трансформатор  $T1$  при положительной и отрицательной полуволнах сетевого напряжения. Это необходимо для устранения подмагничивания сердечника трансформатора  $T1$ . С той же целью применяется двухцветный (а не одноцветный) индикатор питания  $HL1$ , который проводит ток попеременно в обоих направлениях и светится суммарным жёлтым цветом;

б) двухполупериодный мостовой выпрямитель со средней точкой во вторичной обмотке трансформатора  $T1$ . Два стабилизатора напряжения выполнены по симметричным схемам. Они содержат стабилитроны  $VD2, VD3$  и усилители тока на транзисторах  $VT1, VT2$ . Частота пульсаций двухполупериодной схемы — 100 Гц, что пригодится при расчёте необходимой ёмкости конденсаторов  $C1...C4$ ;

в) источник несимметричного двухполярного питания на батареях  $GB1, GB2$ . Эффект стабилизации создают сами батареи, поскольку они длительное время поддерживают на своих зажимах почти не изменяющееся напряжение; ●

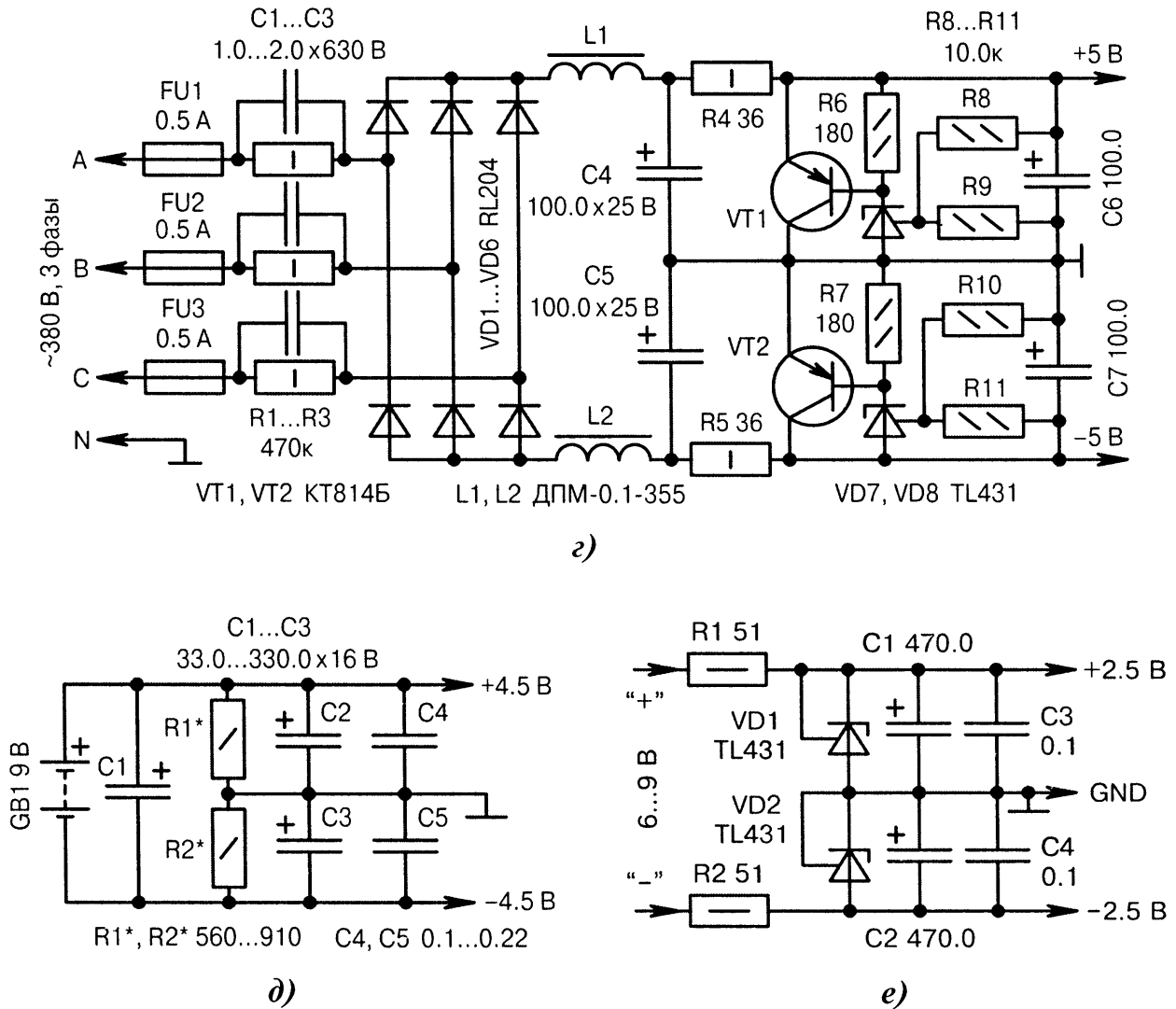


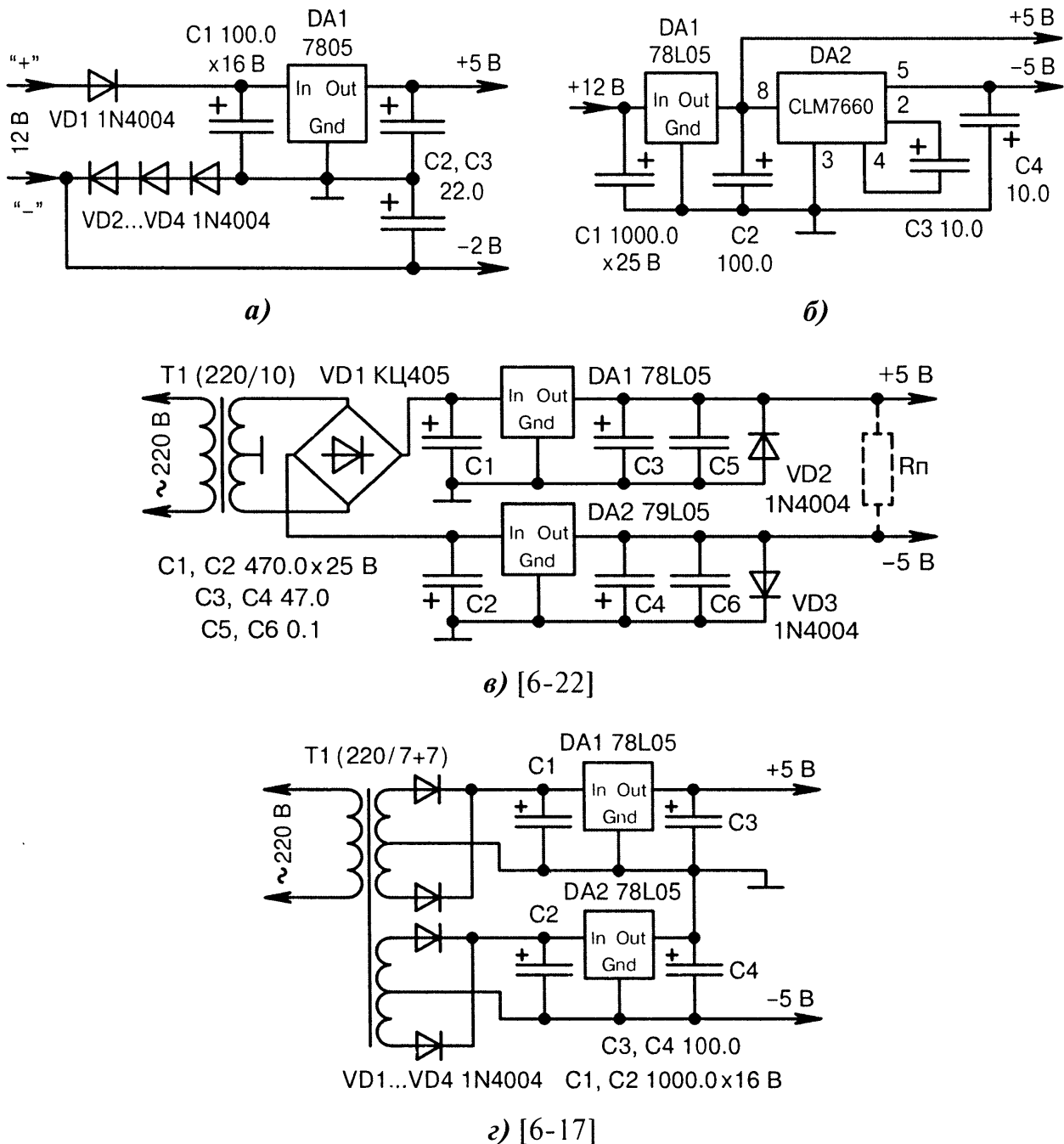
Рис. 6.7. Схемы параметрических двухполярных стабилизаторов напряжения (окончание):

г) получение двухполярного стабилизированного напряжения от трёхфазной сети 380 В. Конденсаторы  $C1...C3$  балластные. Снижение пульсаций на входе осуществляется фильтрами  $L1$ ,  $C4$ ,  $L2$ ,  $C5$ , а на выходе — конденсаторами  $C6$ ,  $C7$ . Транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  применяются одинаковой проводимости, поскольку не существует трёхвыводных стабилизаторов  $VD7$ ,  $VD8$  обратной, т.е. «отрицательной», полярности. Аналогичную схемотехнику можно использовать и в сети 220 В, подавая переменное напряжение с диодного моста прямо на катушки индуктивности  $L1$ ,  $L2$ . Ёмкости всех электролитических конденсаторов фильтра придётся увеличить, поскольку в трёхфазном выпрямителе частота пульсаций выше;

д) двухполярное питание от батареи  $GB1$  с искусственной средней точкой на низкоомном делителе  $R1$ ,  $R2$ . Собственно стабилизатором является сама батарея, которая поддерживает мало изменяющееся напряжение на своих зажимах вплоть до момента полного разряда. Конденсаторы  $C1...C5$  снижают импеданс источника питания на низких и высоких частотах. Все электролитические конденсаторы в целях унификации можно выбрать одинаковыми на 16 В, несмотря на то, что рабочее напряжение конденсаторов  $C2$ ,  $C3$  может быть меньше, чем у  $C1$ ;

е) двухполярное питание обеспечивают два трёхвыводных стабилизатора  $VD1$ ,  $VD2$ . Если не требуется двухполярное питание, то можно использовать однополярное 5 В, подключив общий провод GND к цепи  $-2,5$  В, а положительный вывод  $V_{CC}$  — к цепи  $+2,5$  В.





**Рис. 6.8.** Схемы компенсационных двухполярных стабилизаторов напряжения:

а) организация искусственной средней точки от одного источника питания. Компенсационный стабилизатор *DA1* находится в канале положительного напряжения, а параметрический стабилизатор на диодах *VD2...VD4* — в канале отрицательного напряжения;

б) микросхема *DA1* понижает входное напряжение до +5 В, а преобразователь *DA2* (фирма Calogic Corporation) инвертирует полярность с сохранением абсолютного значения. Суммарный ток нагрузки по цепям +5 и –5 В не должен превышать 100 мА (максимально допустимый ток для *DA1*). Напряжение в канале –5 В зависит от тока нагрузки больше, чем в канале +5 В;

в) двухполярный стабилизатор напряжения на комплементарных микросхемах *DA1*, *DA2*. Диоды *VD2*, *VD3* защищают радиоэлементы в каналах +5 и –5 В от подачи обратного напряжения. Такое может случиться при аварии или переходных процессах, когда одно из напряжений временно отсутствует. Если сопротивление  $R_{\Pi}$  очень велико, то диоды *VD2*, *VD3* не нужны;

г) стабилизаторы *DA1*, *DA2* одного типа, но в «перевёрнутом» включении.

## 6.7. Ограничители входного напряжения

Нормальная работа компенсационных интегральных стабилизаторов напряжения предусматривает рассеяние излишка мощности на внутреннем транзисторе. Однако в некоторых случаях входное напряжение столь велико, что мощность рассеяния оказывается больше допустимой по даташиту. Чтобы равномернее распределить тепловую нагрузку и снизить вероятность электрического пробоя, используют типовые приёмы ограничения напряжения на входе (Рис. 6.9, а...е).

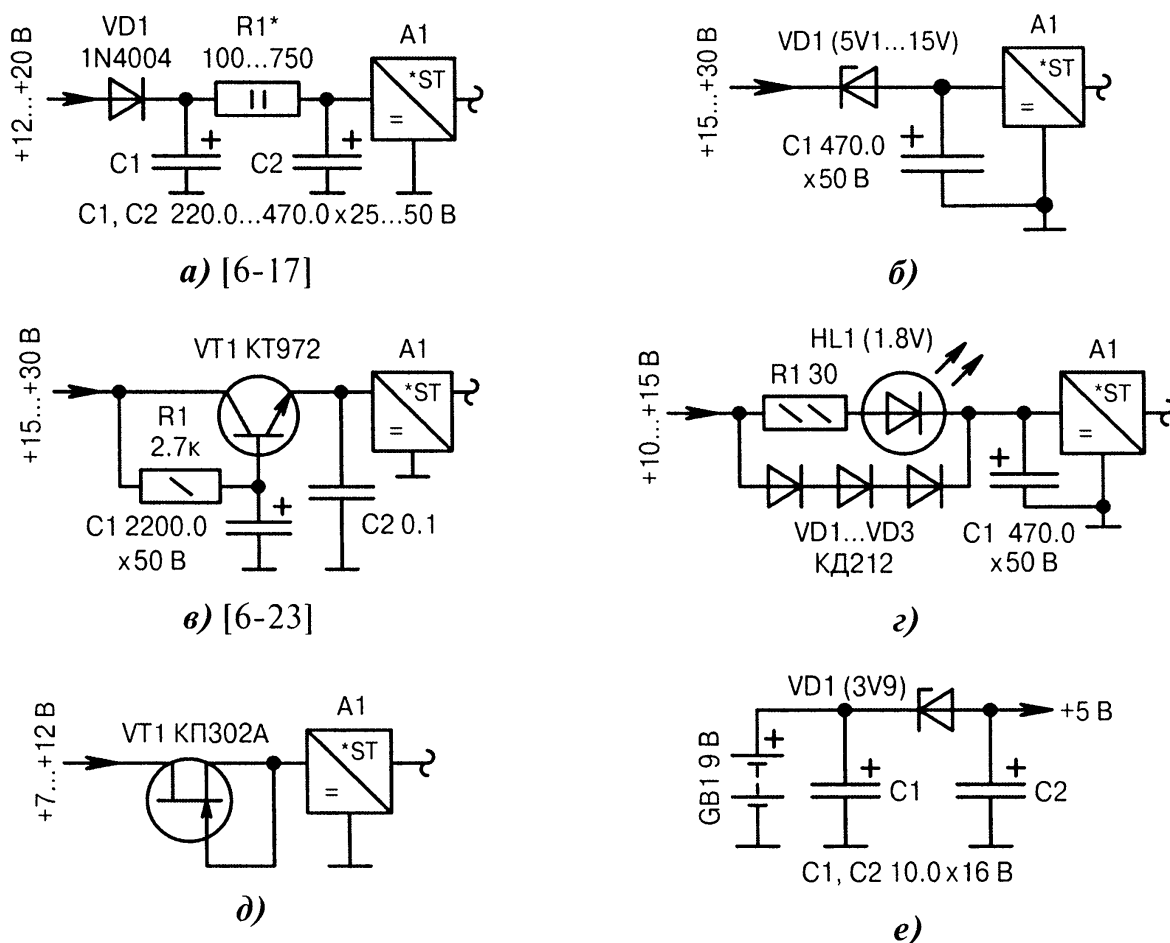


Рис. 6.9. Схемы ограничителей входного напряжения:

а) гашение избытка напряжения элементами  $R1$ ,  $VD1$ . Фильтр  $R1$ ,  $C2$  служит для дополнительной фильтрации сетевых пульсаций. Сопротивление резистора  $R1$  выбирается так, чтобы входное напряжение для стабилизатора  $A1$  всегда было выше минимального допуска;

б) гашение избытка напряжения стабилитроном  $VD1$ , максимальный ток стабилизации которого должен быть больше, чем ток нагрузки;

в) транзистор  $VT1$  совместно с элементами  $C1$ ,  $R1$  образует активный ФНЧ;

г) уменьшение входного напряжения на 2...2.5 В осуществляется диодами  $VD1...VD3$ . Светодиод  $HL1$  индицирует подачу питания. Ток через него зависит от сопротивления резистора  $R1$ ;

д) транзистор  $VT1$  ограничивает входной ток стабилизатора  $A1$  и, соответственно, ток нагрузки на уровне 30...50 мА;

е) стандартный приём снижения напряжения батареи типа «Крона» с 8.4...9 В до 4.5...5.1 В. Максимальный ток стабилизации  $VD1$  должен быть больше тока нагрузки, иначе следует выбрать стабилитрон с большей мощностью рассеяния или зашунтировать его подборным резистором.

## 6.8. Импульсные DC/DC-преобразователи напряжения

Главными недостатками линейных стабилизаторов напряжения являются низкий КПД и принципиальная невозможность работы при входном напряжении ниже выходного. Импульсные преобразователи постоянного напряжения свободны от указанных недостатков. Их принято называть DC/DC, памятуя, что DC — это по-английски **D**irect **C**urrent (постоянный ток).

Импульсные преобразователи напряжения подразделяются на группы согласно следующим классификационным признакам:

- понижающие, повышающие, инвертирующие;
- стабилизированные и нестабилизированные;
- гальванически изолированные и неизолированные;
- с узким и широким диапазоном входных напряжений.

Самодельные преобразователи напряжения, выполненные на «россыпи» элементов, достаточно капризны в настройке, требуют подбора ЭРИ и часто содержат уникальные моточные изделия (Рис. 6.10, а...в).

Проще использовать покупные модули и специализированные интегральные микросхемы. Из них, применительно к любительским разработкам, наиболее интересны те, что охватывают два диапазона выходных напряжений:

- $U_{\text{ВЫХ}} = +3...+5$  В для питания МК (Рис. 6.11, а...к);
- $U_{\text{ВЫХ}} = \pm(2...15)$  В для питания внешних устройств, подключаемых к линиям портов МК (Рис. 6.12, а...ж).

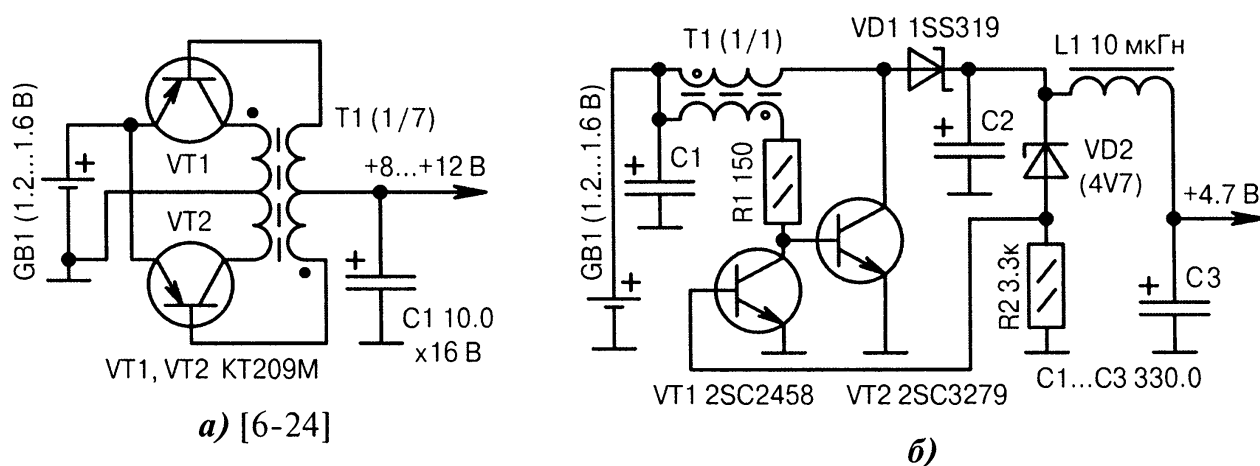


Рис. 6.10. Схемы импульсных преобразователей напряжения на «россыпи» элементов (начало):

а) нестабилизированный транзисторный преобразователь напряжения, работающий на частоте примерно 50 кГц. Гальваническая изоляция обеспечивается трансформатором  $T1$ , который наматывается на кольцо К10 х 6 х 4.5 из феррита 2000НМ. В его первичной обмотке 2 х 10 витков, во вторичной — 2 х 70 витков провода ПЭВ-0.2. Замена транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$  — КТ501Б. Ток от батареи  $GB1$  при отсутствии нагрузки в цепи +8...+12 В практически не потребляется;

б) стабилизированный транзисторный преобразователь напряжения повышающего типа. Импульсный трансформатор  $T1$  наматывается на ферритовом кольце диаметром 7 мм. Две его обмотки содержат по 25 витков провода ПЭВ-0.3; ⚡

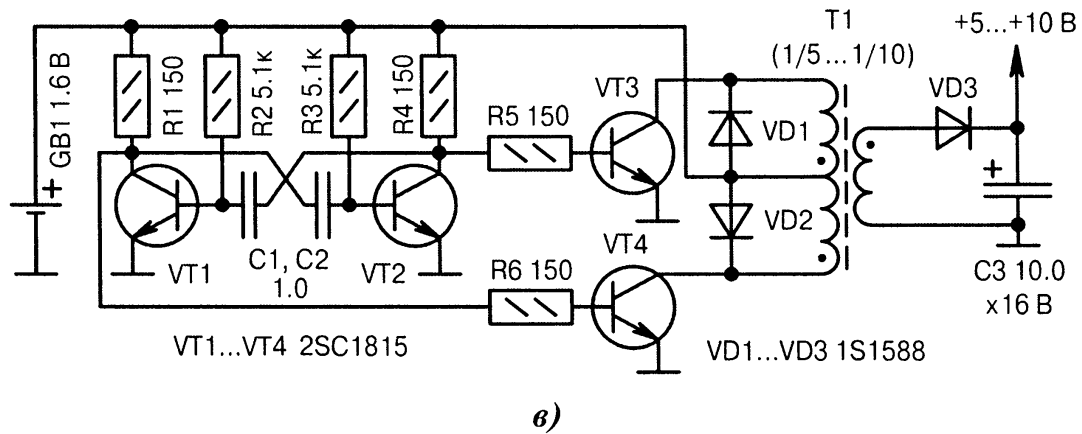


Рис. 6.10. Схемы импульсных преобразователей напряжения на «россыпи» элементов (окончание):

в) двухтактный нестабилизированный преобразователь напряжения на основе мультивибратора ( $VT1, VT2$ ) и усилителя мощности ( $VT3, VT4$ ). Выходное напряжение подбирается количеством витков во вторичной обмотке импульсного трансформатора  $T1$ .

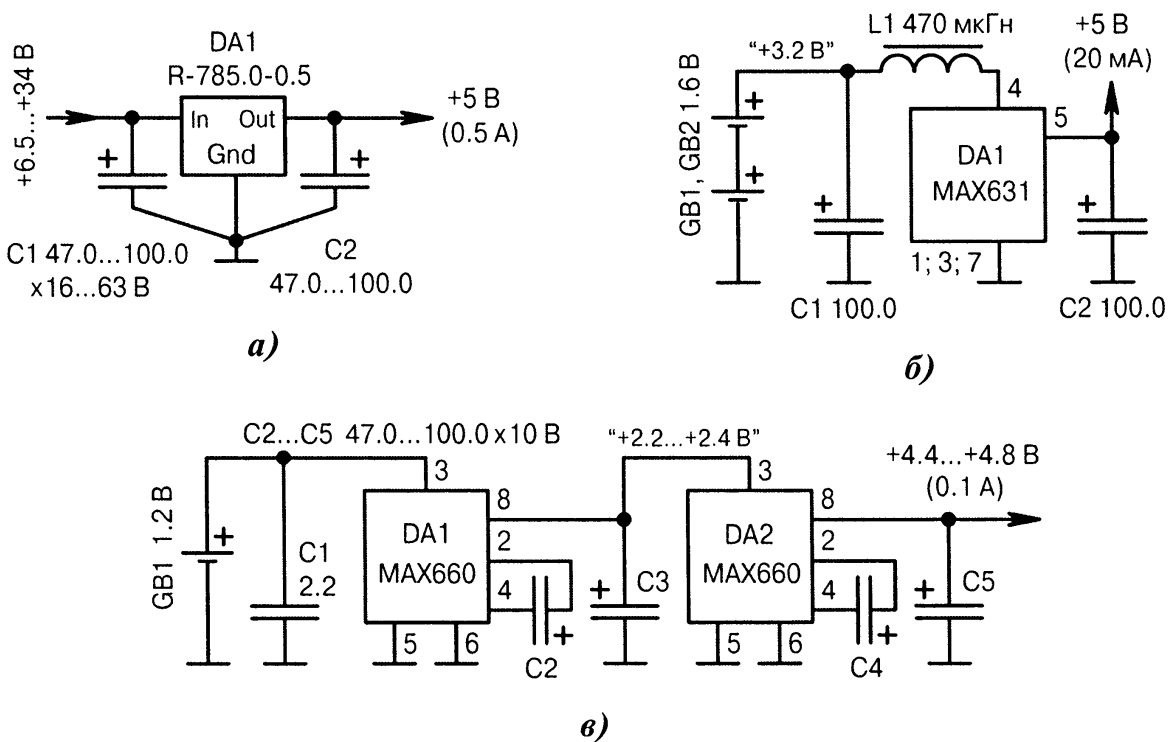
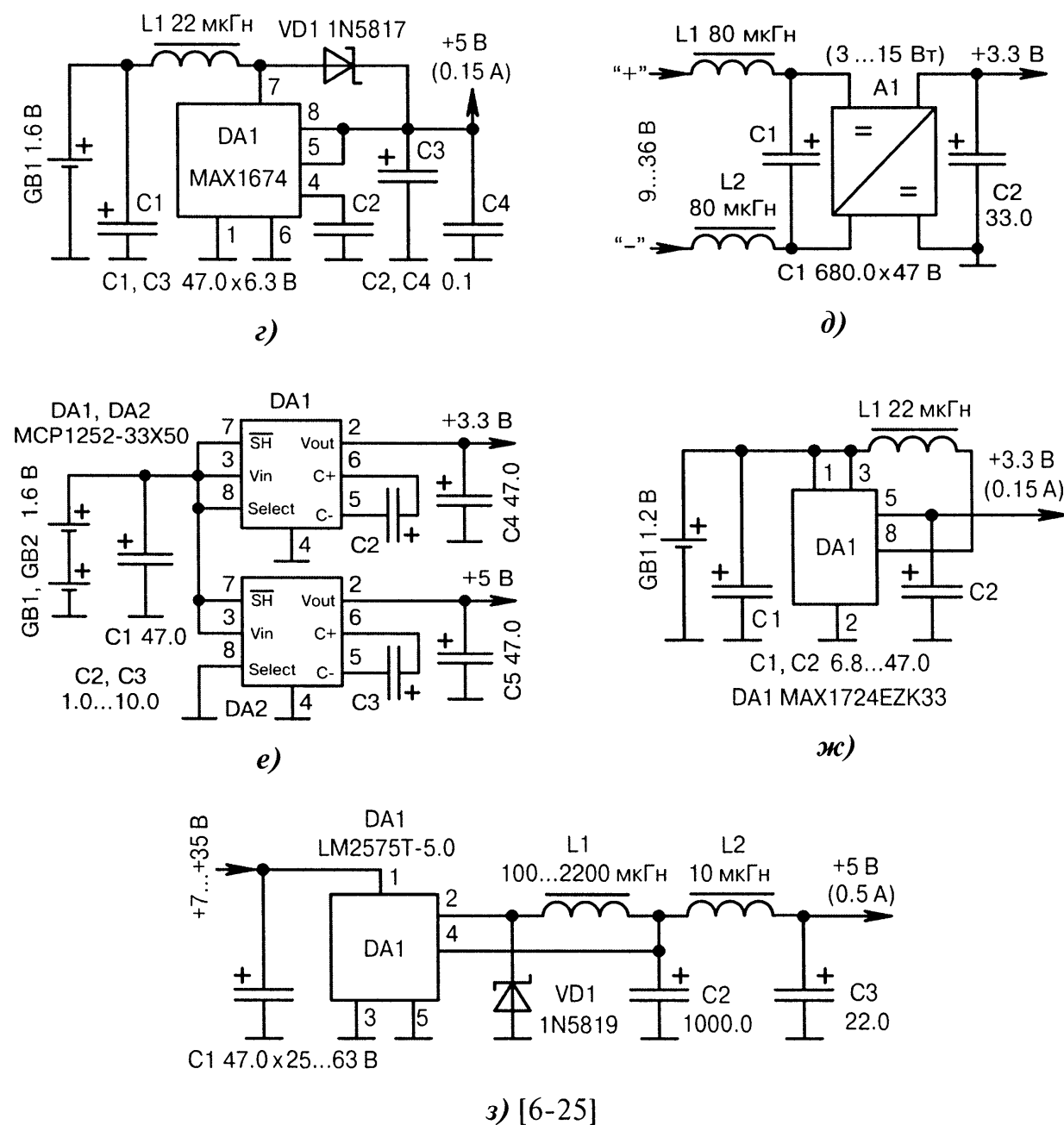


Рис. 6.11. Схемы импульсных преобразователей с напряжением +3...+5 В (начало):

а) импульсный стабилизатор напряжения  $DA1$  (фирма Rescom) заменяет «pin-to-pin» линейный стабилизатор напряжения из серии «78M05». Достоинство — более высокий КПД. Во избежание самовозбуждения микросхемы  $DA1$  конденсаторы  $C1, C2$  должны физически соединяться в одной точке с её общим проводом;

б)  $DA1$  — это повышающий преобразователь стабилизирующего типа с выходным напряжением +5 В (фирма Maxim/Dallas). Частота генерации 40...50 кГц. Накопительный элемент —  $L1$ ;

в) нестабилизированный двухступенчатый умножитель напряжения на микросхемах  $DA1, DA2$  фирмы Maxim/Dallas. Можно использовать одну из двух микросхем отдельно, например,  $DA2$  для удвоения входного напряжения от двух аккумуляторов ( $2 \times 1.2$  В);



з) [6-25]

● Рис. 6.11. Схемы импульсных преобразователей с напряжением +3...+5 В (продолжение):

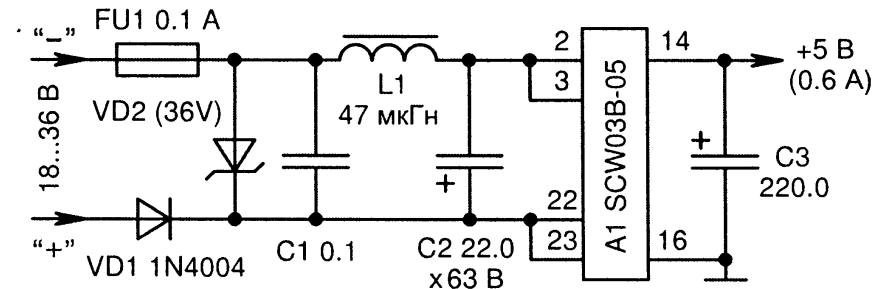
г) типовая схема включения импульсного повышающего стабилизатора на микросхеме DA1 фирмы Maxim/Dallas. Сохраняет работоспособность при входном напряжении 1.1 В, обеспечивает ток нагрузки до 200 мА при КПД 94%;

д) входной симметричный LC-фильтр для гальванически изолированного DC/DC-преобразователя A1 (разные фирмы-изготовители, широкий диапазон мощностей нагрузки);

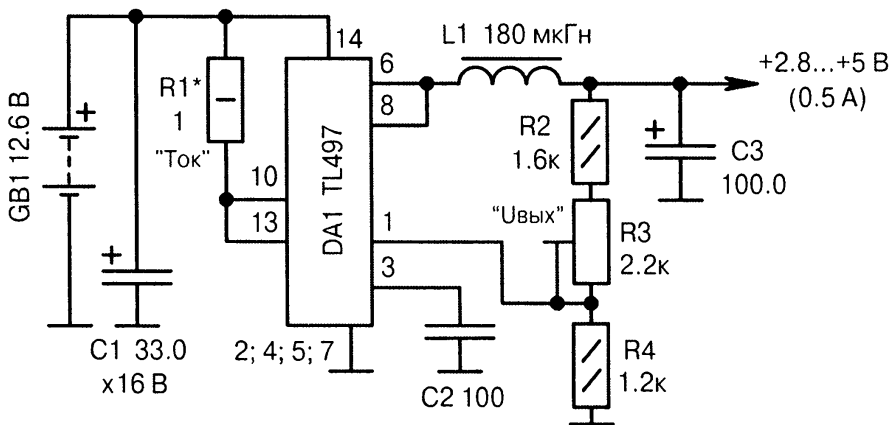
е) получение двух разных стабилизированных напряжений с КПД 50...60% и током нагрузки до 80...150 мА в каждом канале. Конденсаторы C2, C3 служат накопителями энергии;

ж) типовая схема включения импульсного повышающего стабилизатора на микросхеме DA1 фирмы Maxim/Dallas. Сохраняет работоспособность при входном напряжении 0.91 В, имеет малогабаритный SMD-корпус, обеспечивает ток нагрузки до 150 мА при КПД 90%;

з) понижающий стабилизатор фиксированного напряжения +5 В на микросхеме DA1 фирмы ON Semiconductor. В катушке индуктивности L1 запасается энергия. Катушка индуктивности L2 совместно с конденсаторами C2, C3 образует П-образный ФНЧ; ●



и)

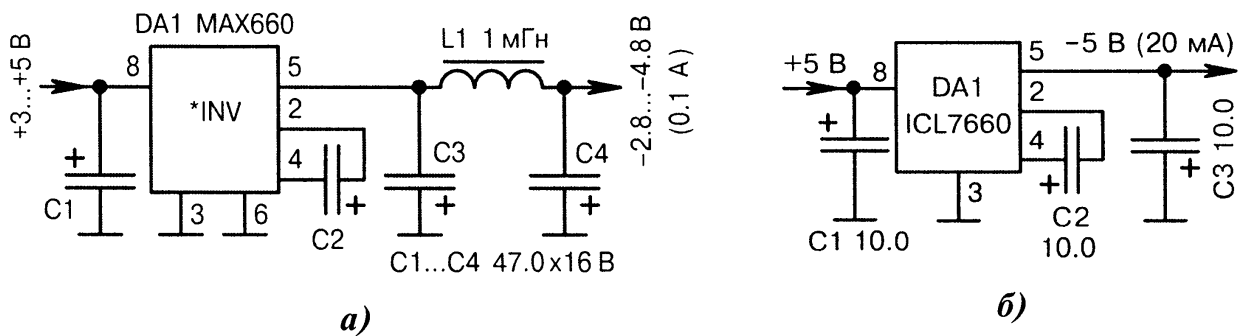


к)

● Рис. 6.11. Схемы импульсных преобразователей с напряжением +3...+5 В (окончание):

и) гальванически изолированный стабилизатор напряжения *A1* фирмы Mean Well. Диод *VD1* защищает от обратной полярности входного напряжения. Фильтр *L1*, *C1*, *C2* снижает помехи, генерируемые *A1* в сеть питания. Сапрессор *VD2* ограничивает всплески входного напряжения;

к) типовая схема включения импульсного понижающего стабилизатора на широкораспространённой микросхеме *DA1* фирмы Texas Instruments. Резистором *R3* регулируется выходное напряжение +2.8...+5 В согласно формуле  $U_{\text{вых}}[\text{В}] = R_2[\text{кОм}] + R_{3,1}[\text{кОм}] + 1.2$ , где  $R_{3,1}$  — это сопротивление между верхним и средним выводами резистора *R3*. Низкоомным резистором *R1* задаётся ток короткого замыкания, который вычисляется по формуле  $I_{\text{кз}}[\text{А}] = 0.5 / R_1[\text{Ом}]$ .



а)

б)

Рис. 6.12. Схемы импульсных преобразователей с напряжением ±(2...15) В (начало):

а) нестабилизированный инвертор напряжения на микросхеме *DA1* фирмы Maxim/Dallas. Частота переключения 5...10 кГц, КПД до 88% при токе нагрузки 0.1 А;

б) интегральный инвертор напряжения *DA1* (фирма Maxim/Dallas), КПД до 98%; ●

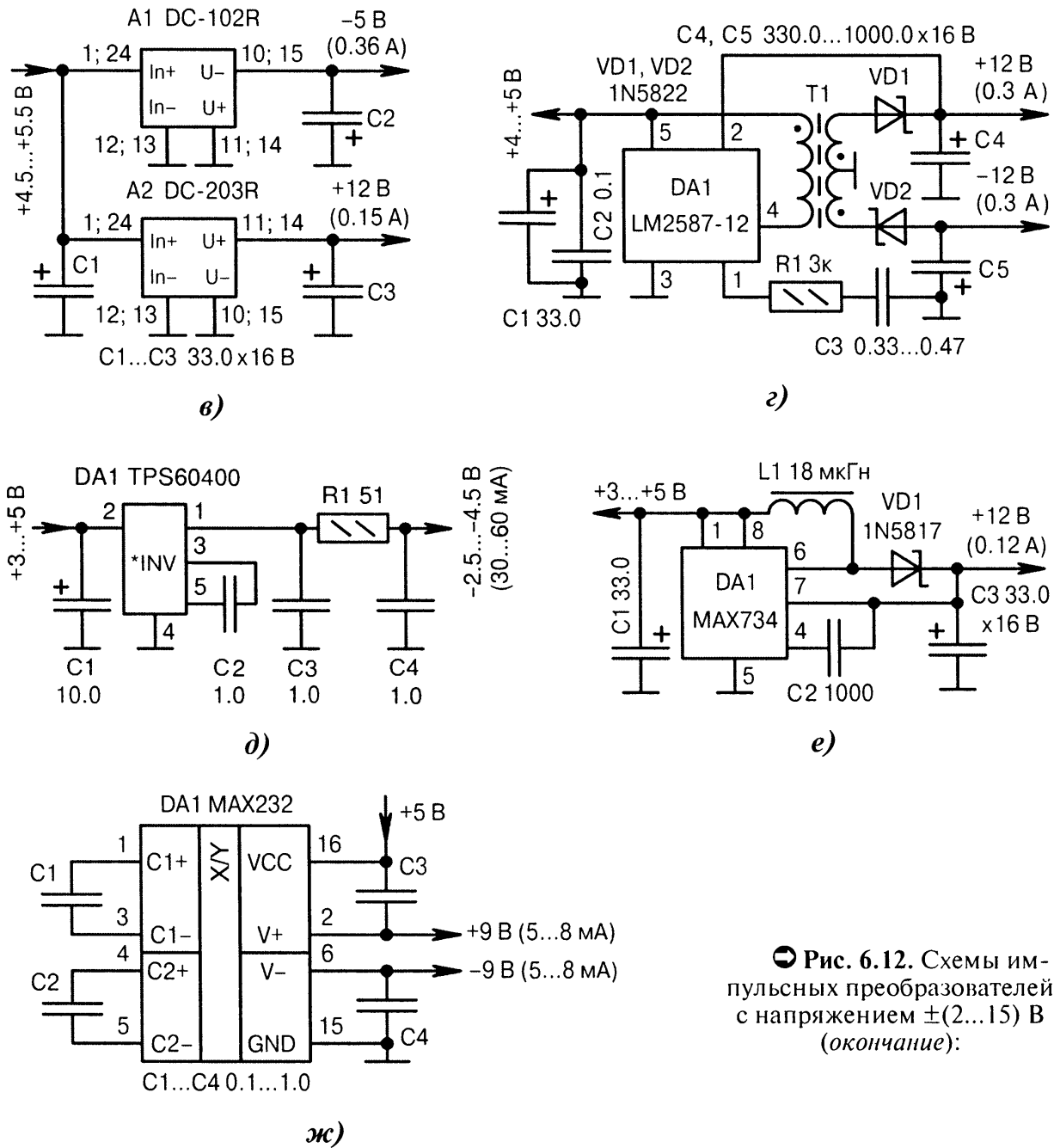


Рис. 6.12. Схемы импульсных преобразователей с напряжением  $\pm(2...15)$  В (окончание):

в) два изолированных преобразователя напряжения *DA1*, *DA2* (фирма YCL Electronics) включаются по «неизолированной» схеме с общей «землей»;

г) двухполярный стабилизированный преобразователь напряжения повышающего типа на микросхеме *DA1* фирмы National Semiconductor. Индуктивность первичной обмотки трансформатора *T1* — 22 мкГн. Отношение витков первичной обмотки к каждой вторичной — 1 : 2.5;

д) SMD-инвертор на микросхеме *DA1* (фирма Texas Instruments) с НЧ-фильтром *R1*, *C4*. Выходное напряжение зависит от тока нагрузки. Например, при токе 1 мА выходное напряжение практически полностью повторяет входное напряжение, а при токе 60 мА снижается на 0.6 В. Резистор *R1* можно заменить катушкой индуктивности 0.1...1 мкГн;

е) типовая схема стабилизированного повышающего преобразователя напряжения на микросхеме *DA1* фирмы Maxim/Dallas;

ж) нестандартное применение микросхемы *DA1* (фирма Maxim/Dallas), которая обычно служит драйвером RS-232. Умножение напряжения питания получается с коэффициентом 1.6...1.8.

## 6.9. Питание МК от разъёмов компьютера

В настоящее время компьютер на столе у радиолюбителя является такой же обязательной вещью, как паяльник, тестер и пинцет. Напрашивается идея — использовать энергетические ресурсы компьютера для питания МК и узлов, которые он обслуживает. Доступ к питающим напряжениям — через компьютерные разъёмы.

Чтобы не повредить компьютер, рекомендуется повсеместно устанавливать защитные предохранители — обычные или самовосстанавливающиеся (Табл. 6.5) с рабочим током 0.1...0.3 А. Следует учитывать, что на самовосстанавливающихся предохранителях (PolySwitch) падение напряжения будет в среднем на 0.1...0.3 В больше по сравнению с обычными плавкими вставками.

Таблица 6.5. Параметры самовосстанавливающихся предохранителей

Предохранитель самовосстанавливающийся	$I_{НОМ}$ [А]	$I_{СРАБ}$ [А]	$I_{ИМП МАХ}$ [А]	$U_{РАБ}$ [В]	$R_{ОТКР}$ [Ом]
Серия FRX (фирма Fuzetec Technology)	0.1...3.75	0.2...7.5	40	16...120	5...0.05

На Рис. 6.13, а...з показаны схемы организации питания от COM-порта, на Рис. 6.14, а...е — от USB, на Рис. 6.15, а...е — от других разъёмов компьютера.

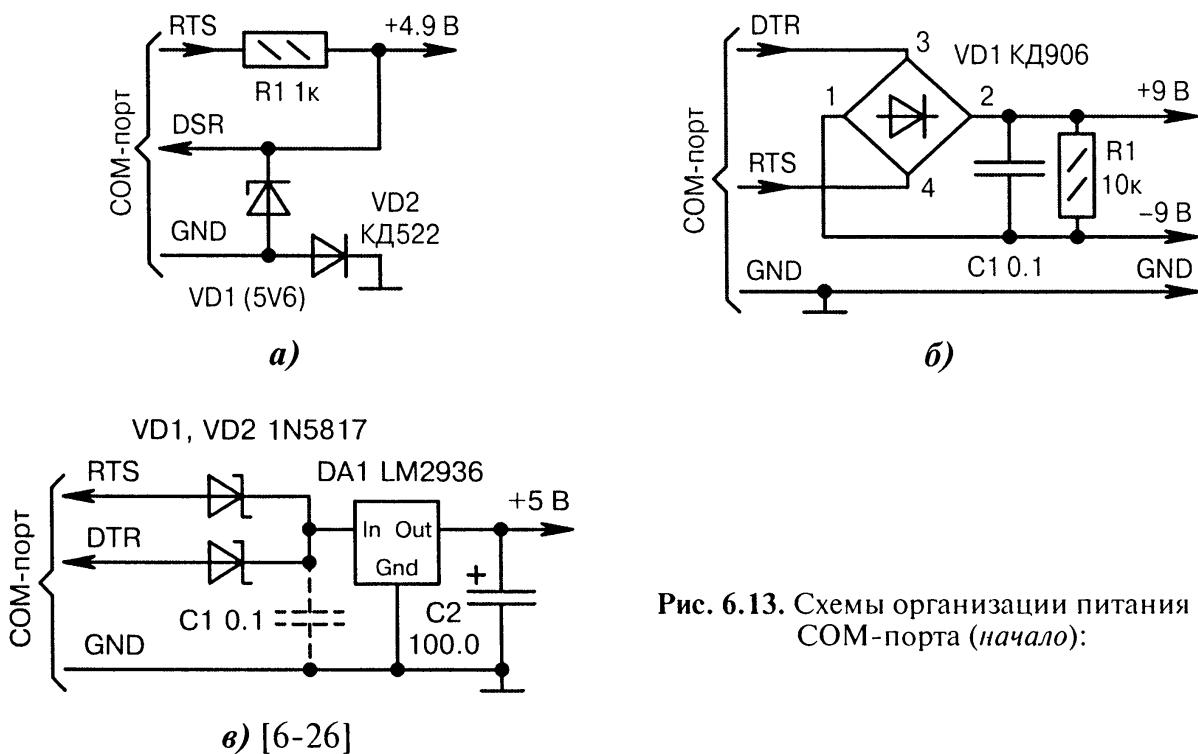


Рис. 6.13. Схемы организации питания от COM-порта (начало):

а) питание от линии «RTS» COM-порта через параметрический стабилизатор на элементах  $R1$ ,  $VD1$ . Диод  $VD2$  уменьшает на 0.7 В напряжение, подаваемое на МК (с +5.6 до +4.9 В). Линию «DSR» можно не задействовать, а можно использовать для программной проверки компьютером наличия питающего напряжения +4.9 В;

б) двухполярное питание от COM-порта через диодный мост  $VD1$ . Выходные сигналы «RTS», «DTR» должны иметь разный знак или быть противофазными (устанавливается в программе);

в) особенность схемы — отсутствие фильтрующего конденсатора  $C1$  между выводами «In» и «Gnd» стабилизатора напряжения  $DA1$  (при длинном кабеле конденсатор надо ставить); ☹



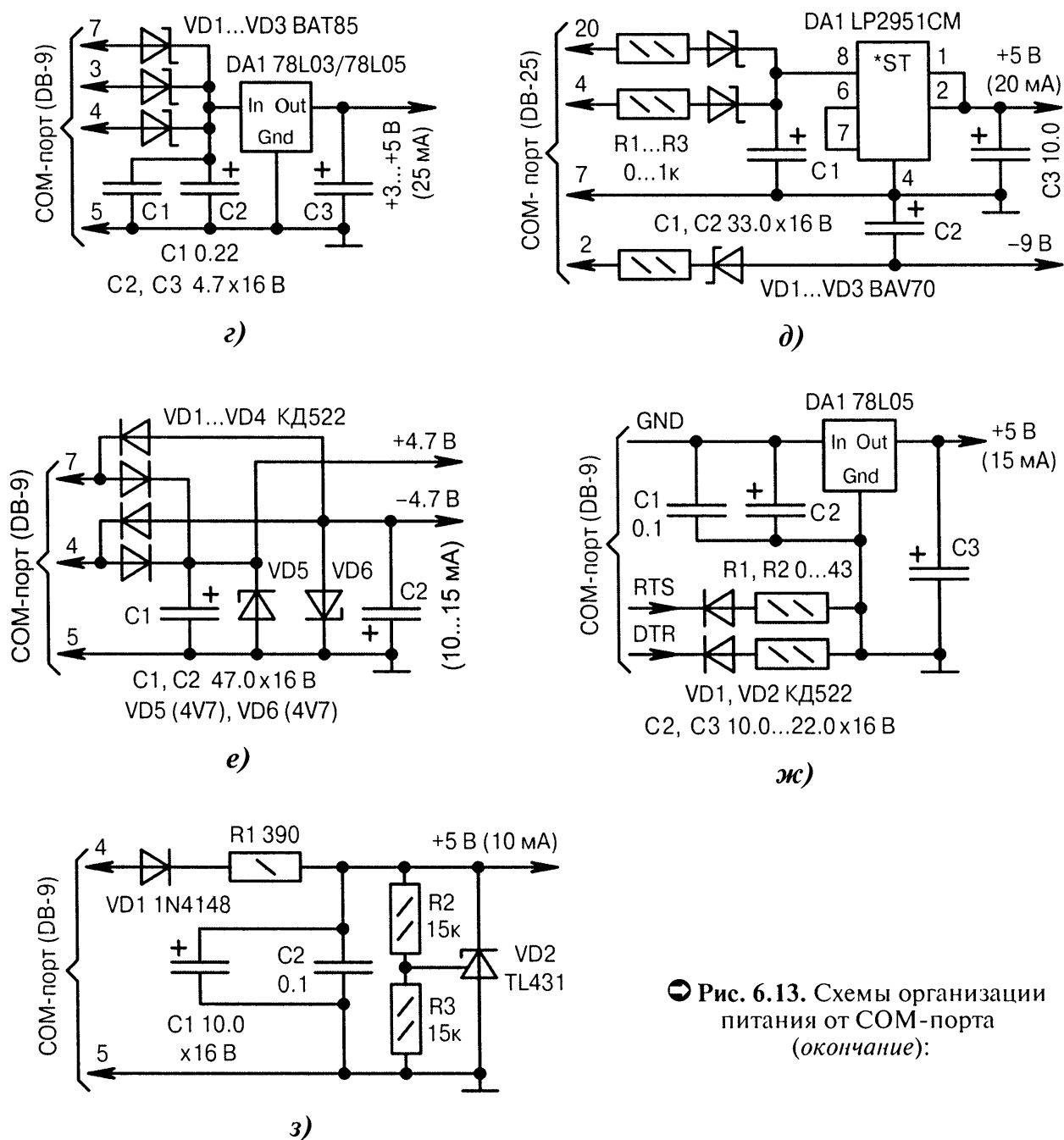


Рис. 6.13. Схемы организации питания от COM-порта (окончание):

г) питание от выходных линий COM-порта через стабилизатор *DA1*. Диоды *VD1...VD3* включаются по схеме «ИЛИ», что увеличивает отдаваемый в нагрузку ток. Все задействованные линии COM-порта надо программно настроить на выдачу положительного напряжения или на генерацию импульсов высокой частоты (конденсатор *C2* будет накапливать энергию);

д) положительное напряжение +5 В стабилизируется микросхемой *DA1*. Отрицательное напряжение не стабилизировано и зависит от сопротивления нагрузки;

е) стабилитроны *VD5*, *VD6* не имеют балластных резисторов. Их функцию выполняют динамические сопротивления диодов *VD1...VD4*, а также выходные цепи внутри компьютера;

ж) инверсное включение сигналов. Линии «RTS» и «DTR» COM-порта должны быть настроены на выдачу отрицательного напряжения. Резисторы *R1*, *R2* ограничивают выходной ток;

з) питание от COM-порта через параметрический стабилизатор на элементах *R1*, *VD2*. Диод *VD1* защищает устройство при случайной смене полярности на линии COM-порта. Резисторы *R2*, *R3* задают выходное напряжение. Они должны быть одинаковыми, точность  $\pm 1\%$ .

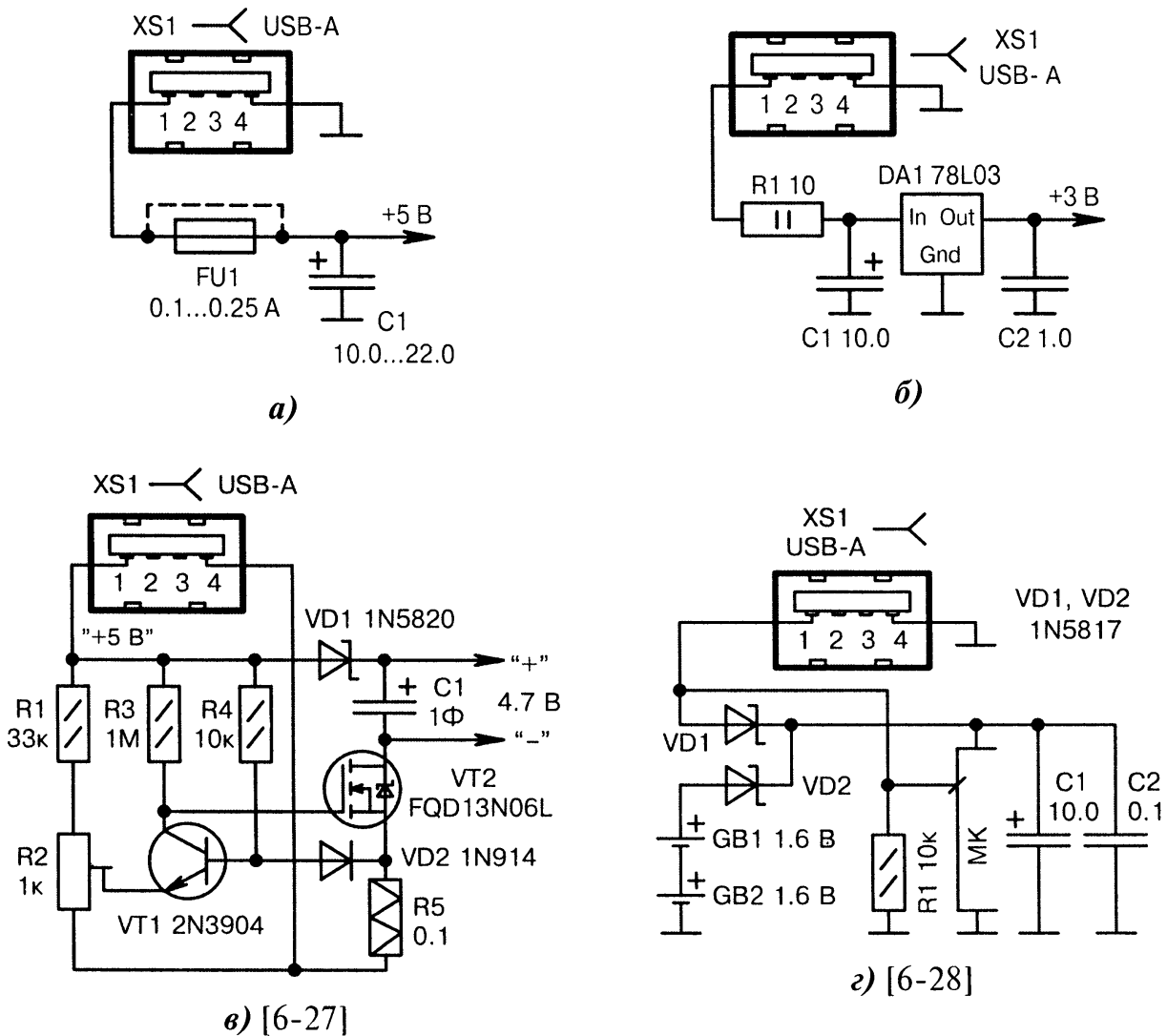


Рис. 6.14. Схемы питания МК от USB (начало):

а) *XS1* — это разъём USB в компьютере, к которому подключается соединительный кабель, подающий питание +5 В в устройство. «Крейсерская» нагрузка по току не более 100 мА, максимальная — не более 500 мА (по стандарту). Однако на некоторых материнских платах ограничений по току вообще нет, поэтому устанавливают предохранитель *FU1*. Допускается «горячее» подключение/отключение кабеля к любому USB-разъёму работающего компьютера. Ёмкость конденсатора *C1* не должна быть слишком большой, иначе при начальной стыковке может сработать защита в компьютере (если таковая имеется на конкретной материнской плате);

б) резистор *R1* выполняет функцию ограничителя тока при коротком замыкании в цепи питания, предохранитель здесь не нужен. Микросхема *DA1* стабилизирует напряжение +3 В для МК. Конденсатор *C1* можно шунтировать керамическим конденсатором ёмкостью 0.1 мкФ;

в) элементы *VT1*, *VT2*, *R1...R5* нужны для того, чтобы начальный заряд ионистора *C1* производился низким током (определяется резистором *R2*). Ионистор в заряженном состоянии позволяет поддерживать некоторое время напряжение питания МК на клеммах «±4.7 В» при отсоединении USB-кабеля от разъёма *XS1*;

г) МК получает основное питание от разъёма *XS1* через диод *VD1* (+4.8 В) и резервное от двух батарей *GB1*, *GB2* через диод *VD2* (+3 В). Если МК фиксирует на своём входе ВЫСОКИЙ уровень, значит, питание осуществляется от USB, если НИЗКИЙ уровень — от батарей. Это позволяет оперативно изменять режимы, увеличивать/уменьшать яркость подсветки ЖКИ и т.д.; ●

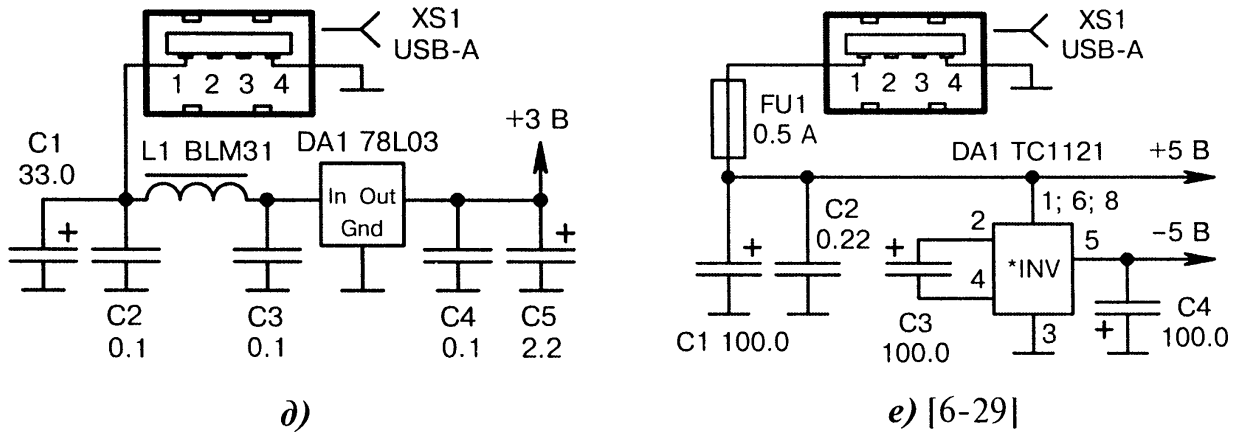


Рис. 6.14. Схемы питания МК от USB (окончание):

д) снижение входных ВЧ-помех SMD-дросселем  $L1$  фирмы Murata Manufacturing (импеданс 120...600 Ом на частоте 100 МГц) и конденсаторами фильтра  $C1...C3$ . Вместо дросселя  $L1$  часто используют ферритовую «бусинку» (проводник, продетый через ферритовое кольцо или ферритовую трубку) Стабилизатор напряжения  $DA1$  имеет встроенную защиту по току 0.1 А;

е) микросхема  $DA1$  (фирма Microchip) инвертирует входное напряжение и держит ток нагрузки до 100 мА. Не исключено, что ёмкости конденсаторов  $C1, C3, C4$  придётся уменьшить, если в компьютере начнёт срабатывать защита по току при подключении USB-кабеля к устройству.

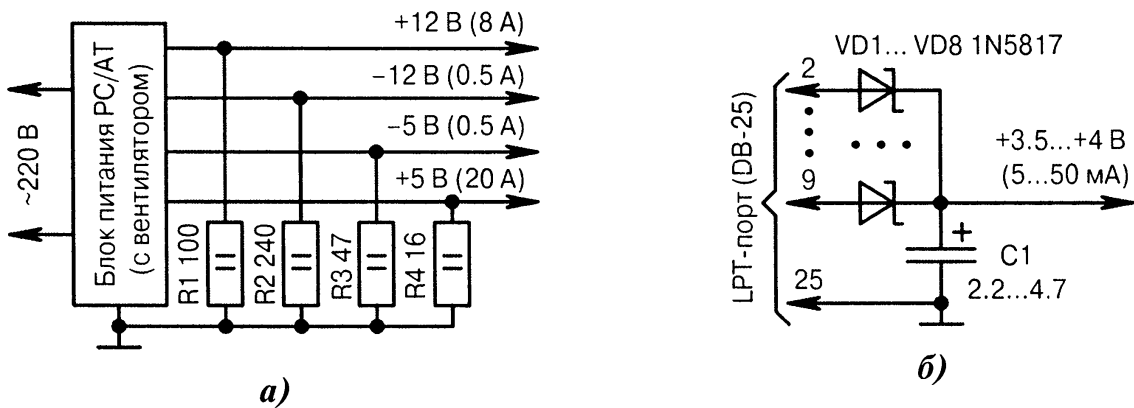


Рис. 6.15. Схемы питания МК от разных разъёмов компьютера (начало):

а) использование компьютерного блока питания РС/АТ в качестве лабораторного источника четырёх напряжений. Резисторы  $R1...R4$  нужны для устойчивого начального запуска. При низких токах нагрузки можно уменьшить акустический шум встроенного в блок питания воздушно-го вентилятора, если подавать на него пониженное рабочее напряжение;

б) организация питания от LPT-порта, выходные линии которого программно настраиваются на выдачу ВЫСОКОГО уровня. Диоды  $VD1...VD8$  включаются по схеме «ИЛИ», что увеличивает отдаваемый в нагрузку ток. Замена диодов Шоттки обычными диодами 1N4148/КД522Б возможна, но не рекомендуется, поскольку уменьшается выходное напряжение. Число диодов 2...8 в зависимости от количества свободных линий LPT-порта. Конденсатор  $C1$  можно применить не только электролитический, но и керамический, такой же ёмкости. Ток нагрузки и выходное напряжение напрямую зависят от материнской платы и типа логических элементов внутри LPT-порта. Эти элементы бывают «слабые», с током отдачи около 1 мА на одну линию, и «сильные», с током отдачи около 10 мА на одну линию (проверяется экспериментально);

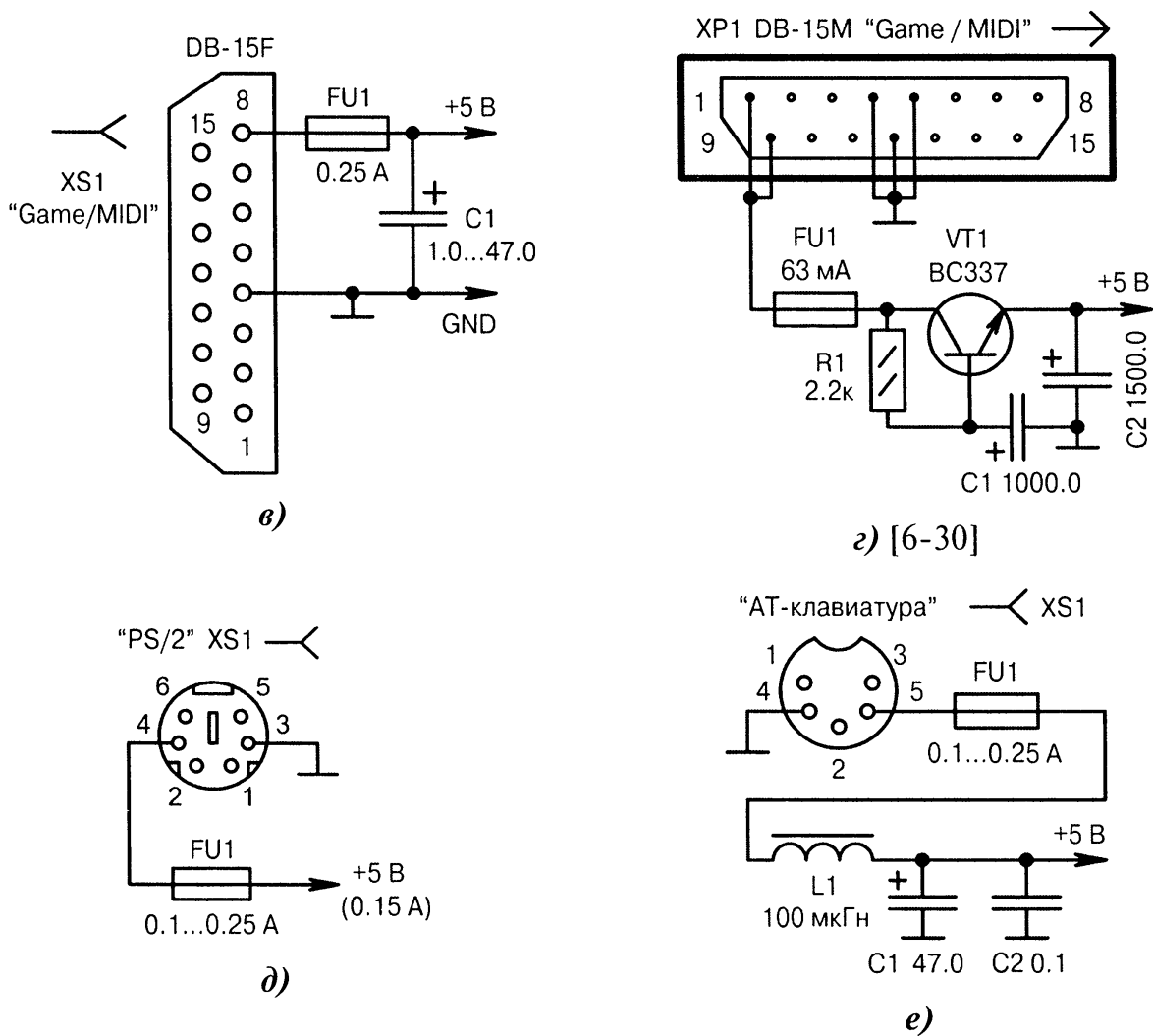


Рис. 6.15. Схемы питания МК от разных разъёмов компьютера (окончание):

в) питание от разъёма «Game/MIDI», к которому в реальной практике подключают игровой компьютерный джойстик и музыкальную MIDI-клавиатуру. Розетку *XS1* нельзя напрямую присоединять к 15-контактной розетке компьютера, необходим промежуточный кабель длиной 1.5...2 м. Другой вариант — заменить розетку *XS1* вилкой DB-15M. Предохранитель *FU1* желательно применить самовосстанавливающийся. Он защищает блок питания компьютера от коротких замыканий в цепи +5 В устройства;

г) схема Ж. Томаса. Элементы *VT1*, *R1*, *C1* служат активным фильтром, снижающим помехи от компьютера. Вилку *XP1* можно напрямую присоединять к 15-контактной розетке компьютера без промежуточного кабеля. Питание +5 В снимается с двух выводов 1 и 9 разъёма *XP1* (а не с одного вывода 8 как на Рис. 6.15, в), что не принципиально, поскольку они запараллелены внутри компьютера;

д) к шестиконтактному разъёму *XS1* с маркировкой «PS/2» (модель «6-pin miniDIN») в реальной практике подключают клавиатуру или мышь. Нагрузочная способность 0.1...0.2 А. Допускается использовать разветвляющий тройник с одновременным питанием разрабатываемого устройства и клавиатуры/мыши;

е) к пятиконтактному разъёму *XS1* в реальной практике подключается АТ-клавиатура («5-pin DIN»). Катушка индуктивности *L1* должна выдерживать постоянный ток не менее 250 мА. Она совместно с конденсаторами *C1*, *C2* фильтрует помехи, проникающие из компьютера в устройство и из устройства в компьютер.

## 6.10. Бесперебойное питание

Ни одно электронное устройство не может быть застраховано от внезапного пропадания питания. Особенно, если речь идёт о сетевом напряжении 220 В и дело происходит в сельской местности. Для повышения надёжности стараются предусмотреть запасной источник энергии. В идеальном случае он должен при аварии автоматически включаться в работу, причём самостоятельно, без участия человека.

Для резервирования обычно используют сменные батареи и аккумуляторы. При батарейном питании желательно применять «алкалиновые» гальванические элементы (Alkaline). Они имеют большую ёмкость, низкий саморазряд, правда, и по цене дороже. Отличить, что есть что, можно по маркировке на корпусе, например, «R6» (обычная батарея типоразмера AA) и «LR6» (то же самое, но Alkaline).

Специфика современных МК заключается в том, что они могут программно переходить в энергосберегающий ждущий режим SLEEP с очень малым потреблением тока. Это позволяет вместо батарей/аккумуляторов использовать электролитические конденсаторы большой ёмкости или, ещё лучше, ионисторы.

Первые ионисторы были разработаны в 1966 г. фирмой Standard Oil Company. Они представляют собой специальные накопительные конденсаторы с органическим электролитом. Типовая ёмкость достигает 0.1...50 фарад при рабочем напряжении 2...10 В. Для справки, ёмкость Земли (шара размером с Землю, как уединённого проводника) составляет всего лишь 0.0007 фарад.

Ионисторы известны в зарубежной технической литературе как конденсаторы с двойным электрическим слоем (Double-Layer capacitors), суперконденсаторы (SuperCaps), резервные конденсаторы (Backup capacitors). Встречаются и фирменные названия: UltraCap (EPCOS), Gold Capacitors (Panasonic), DynaCap (ELNA), BOOSTCAP (Maxwell Technologies). В странах СНГ используется устойчивый термин «ионистор», отражающий другую особенность этих приборов — участие ионов в формировании заряда.

Современные ионисторы условно делятся на три группы в зависимости от рекомендуемого в даташите длительного тока нагрузки:

- Low current (низкий ток, меньше 1.5 мкА);
- Medium current (средний ток, от 1.5 мкА до 10 мА);
- High current (большой ток, от 10 мА до 1 А).

Рабочее напряжение ионисторов подчиняется ряду: 2.5; 3.3; 5.5; 6.3 В. Внутреннее сопротивление ионисторов  $R_{\text{ВНУТ}}$  уменьшается с увеличением ёмкости (Табл. 6.6) и рассчитывается по формуле  $R_{\text{ВНУТ}}[\text{Ом}] = U_{\text{C}}[\text{В}] / I_{\text{КЗ}}[\text{А}]$ , где  $U_{\text{C}}$  — напряжение на ионисторе,  $I_{\text{КЗ}}$  — ток короткого замыкания.

Таблица 6.6. Электрические параметры ионисторов

Тип ионистора	Ёмкость [Ф]	Допуск [%]	$U_{\text{MAX}}$ [В]	$R_{\text{ВНУТ}}$ [Ом]
Разные зарубежные	0.047...2.2	+80/−20	2.3; 2.5; 3.3; 5.5; 6.3	35...220
Standard (ELNA)	0.047...1.0	+80/−20	2.5; 3.3; 5.5; 6.3	30...120
K58-9	0.47; 0.62; 1.0; 2.0	+80/−20	2.5; 5.0; 6.3	30...90

На Рис. 6.16, а...т показаны схемы организации бесперебойного питания.

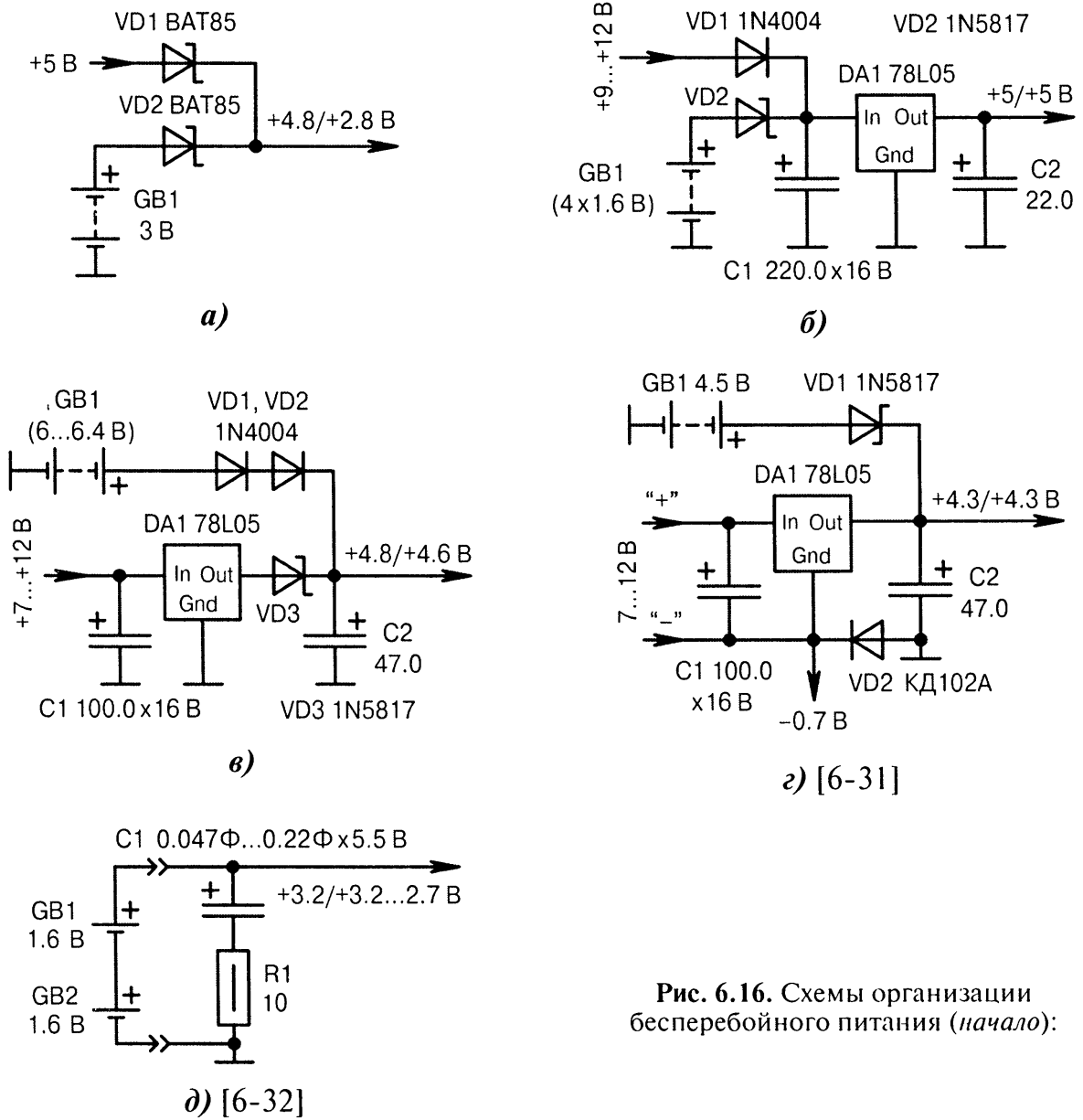


Рис. 6.16. Схемы организации бесперебойного питания (начало):

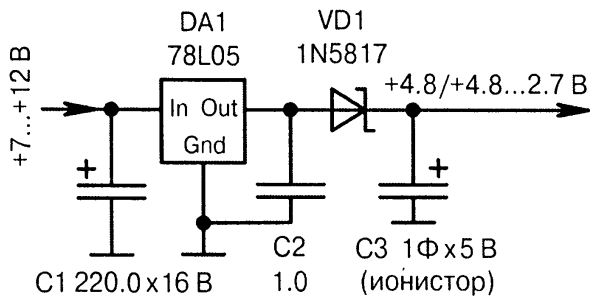
а) диоды  $VD1, VD2$  служат для развязки каналов, чтобы ток из основного источника не перетекал в резервный, и наоборот. Если два источника питания разные по величине, то основным будет канал с более высоким напряжением. При абсолютном равенстве питающих напряжений диод Шоттки в резервном канале следует заменить обычным кремниевым диодом 1N4004, имеющим большее  $U_{пр}$ ;

б) развязывающие диоды  $VD1, VD2$  включаются до (а не после) стабилизатора напряжения  $DA1$ . Основное питание поступает через обычный диод  $VD1$  (чтобы на нём рассеивалось побольше мощности), а резервное батарейное — через диод Шоттки  $VD2$  (чтобы напряжение на входе стабилизатора  $DA1$  было как можно выше);

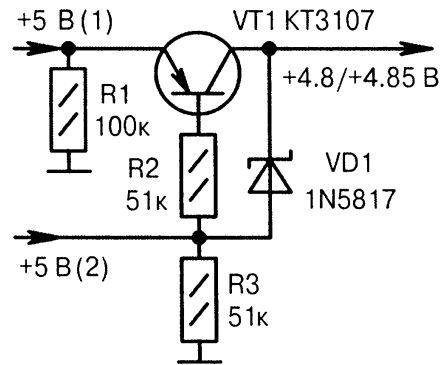
в) диоды  $VD2...VD4$  включаются после (а не до) стабилизатора  $DA1$ ;

г) диод  $VD2$  позволяет организовать дополнительный источник отрицательного напряжения  $-0.7$  В, который, однако, перестаёт функционировать с переходом на резервное питание от батареи  $GB1$ . Диод Шоттки  $VD1$  можно заменить обычным кремниевым диодом КД102А;

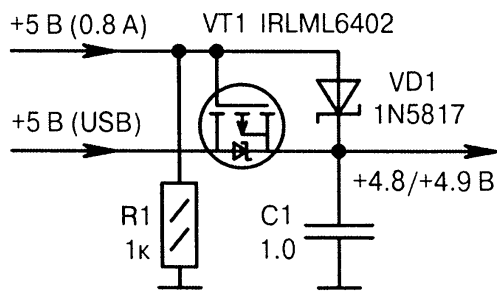
д) ионистор  $C1$  позволяет «на ходу» производить замену истощившихся батарей  $GB1, GB2$ , не прерывая питание МК достаточно длительное время. Если напряжение на ионисторе снижается медленно, то МК не требует рестарта. Резистор  $R1$  ограничивает ток заряда ионистора; ☹



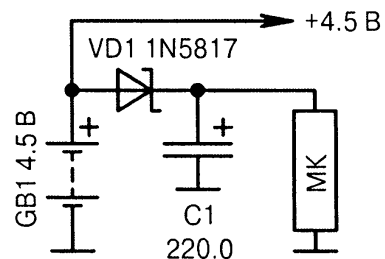
e)



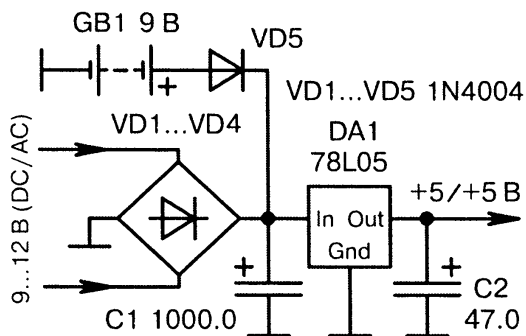
ж)



з)



и)



к)

Рис. 6.16. Схемы организации бесперебойного питания (продолжение):

е) стабилизатор *DA1* ограничивает начальный ток заряда резервного ионистора *C3* на уровне не более 100 мА. Для справки, большой ток, начиная примерно с 250 мА, может повредить ионистор. Диод *VD1* снижает выходное напряжение на 0.2 В. Кроме того, при отключении основного питания он не даёт разряжаться ионистору *C3* через выходные цепи внутри стабилизатора *DA1*;

ж) транзистор *VT1* выполняет функцию развязывающего диода наравне с «настоящим» диодом *VD1*, но имеет меньшее падение напряжения «коллектор — эмиттер» в открытом состоянии (0.1...0.15 В вместо 0.2 В). Основное питание +5 В(1), резервное питание +5 В(2);

з) аналогично Рис. 6.16, ж, но на полевом транзисторе *VT1*, при этом падение напряжения на открытом переходе «сток — исток» будет меньше, чем у биполярного транзистора при прочих равных условиях;

и) накопительный конденсатор *C1* поддерживает некоторое время работоспособность МК при отключении батареи *GB1*. Длительность аварийного функционирования зависит от ёмкости и тока утечки конденсатора *C1*, а также от тактовой частоты МК и его способности устойчиво работать при пониженном питании;

к) благодаря диодному мосту *VD1...VD4*, входное напряжение 9...12 В может быть как постоянным (DC), так и переменным (AC);

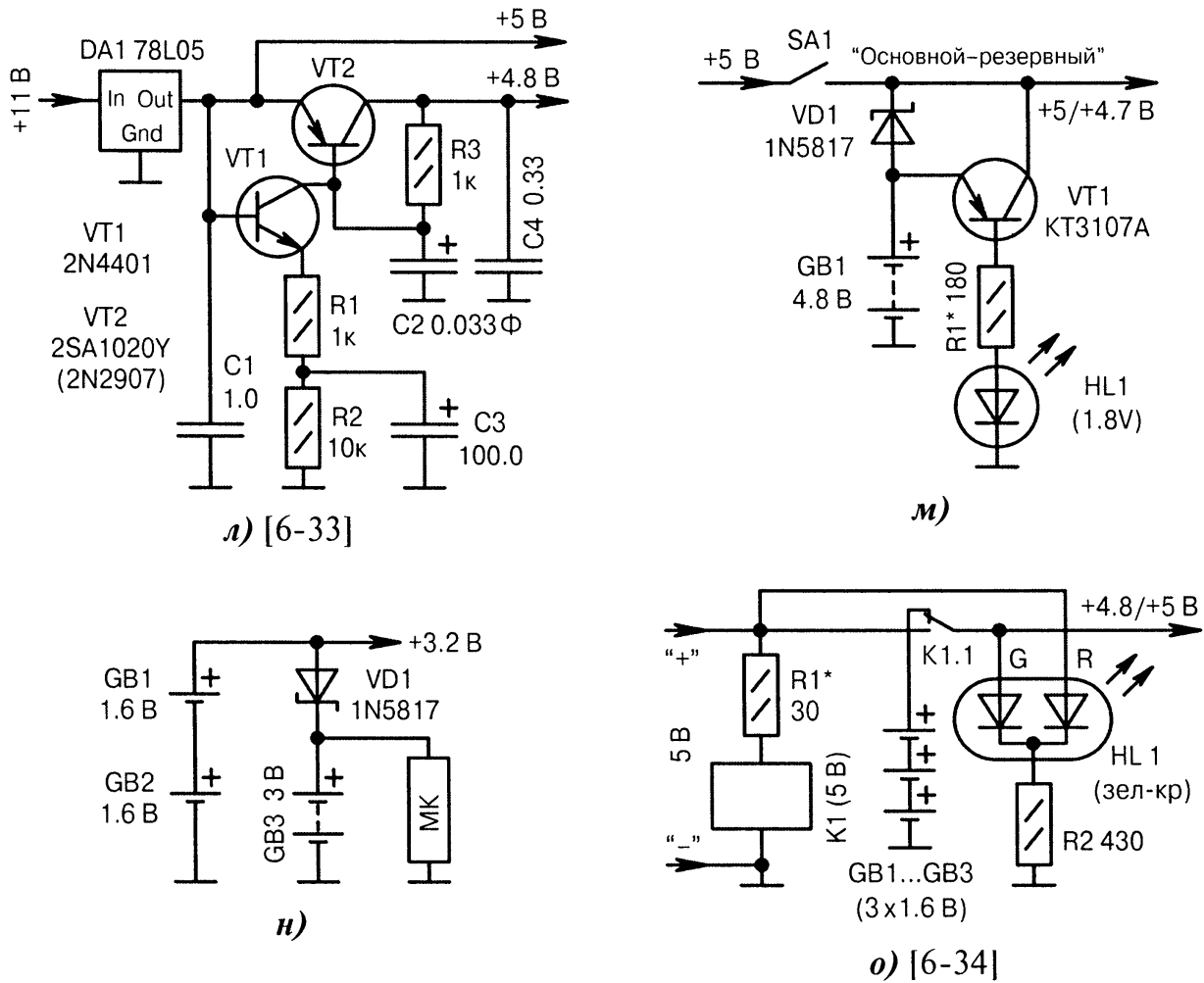


Рис. 6.16. Схемы организации бесперебойного питания (продолжение):

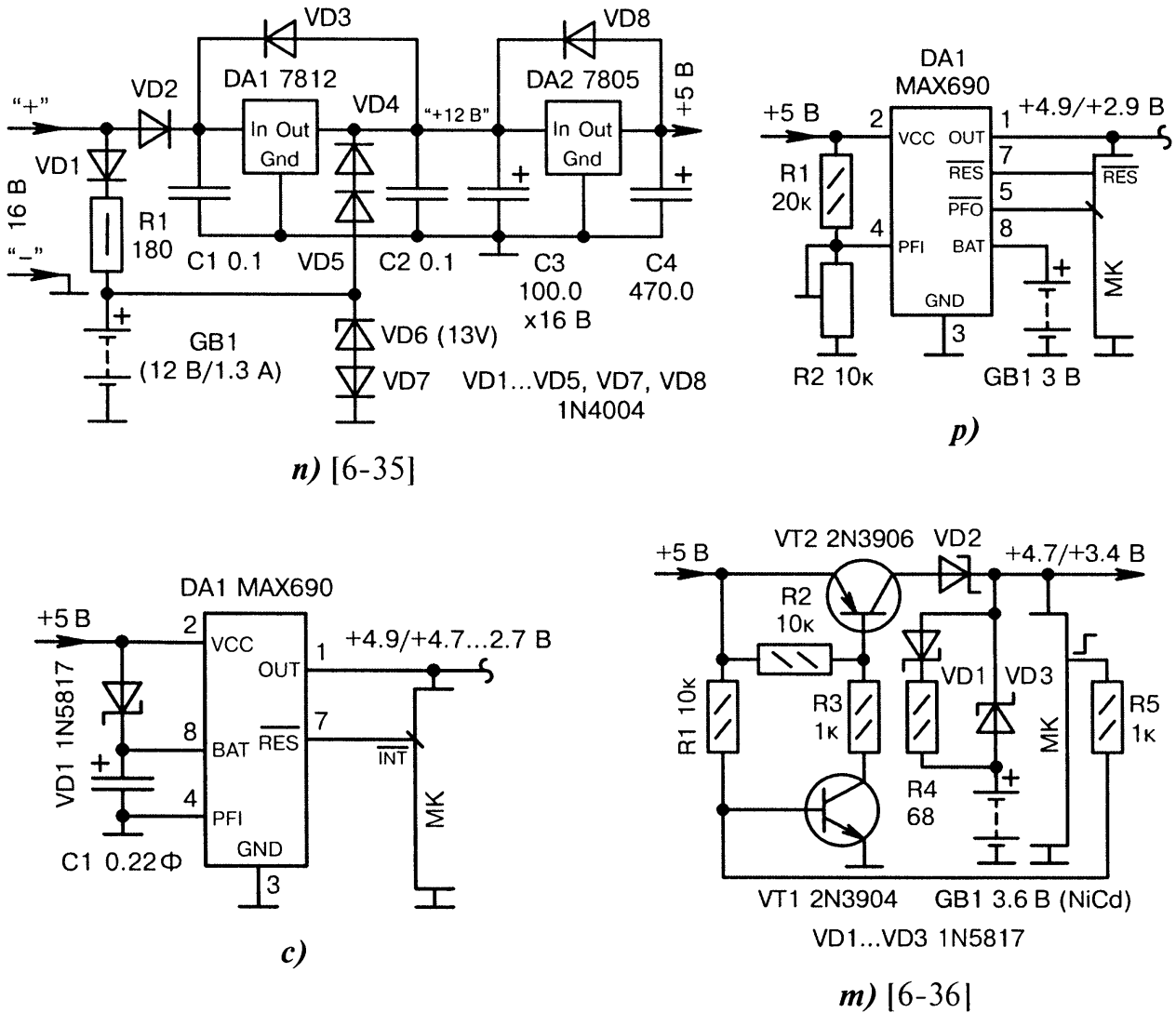
л) резервный ионистор  $C2$  некоторое время поддерживает напряжение в цепи  $+4.8\text{ В}$  (к которой подключается МК) при снятии основного питания  $+11\text{ В}$  от сетевого источника. Транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  не дают разряжаться ионистору через внутреннее сопротивление микросхемы  $DA1$  и нагрузку в цепи  $+5\text{ В}$ ;

м) светодиод  $HL1$  индицирует питание только в том случае, когда работает резервная батарея  $GB1$ . Резистором  $R1$  устанавливается требуемая яркость свечения. При замыкании контактов переключателя  $SA1$  питание поступает от основного источника  $+5\text{ В}$ , при этом диод  $VD1$  и транзистор  $VT1$  закрываются и светодиод  $HL1$  гаснет;

н) основной канал питания — это пальчиковые батареи  $GB1$ ,  $GB2$ , а резервный канал — литиевый аккумулятор  $GB3$ . При отключённых батареях  $GB1$  и  $GB2$  МК будет получать питание от аккумулятора  $GB3$ , находясь в дежурном режиме, поскольку внешние исполнительные устройства (цепь  $+3.2\text{ В}$ ) будут обесточены. Диод  $VD1$  не позволяет разряжаться аккумулятору  $GB3$  через нагрузку, подключённую к цепи  $+3.2\text{ В}$ ;

о) в исходном состоянии питание устройства производится от трёх батарей  $GB1...GB3$ , при этом индикатор  $HL1$  светится зелёным цветом. При подаче внешнего питания  $+5\text{ В}$  срабатывает реле  $K1$ , контакты  $K1.1$  замыкаются, батареи отключаются, индикатор  $HL1$  светится красным цветом. Если вместо красного наблюдается жёлтый цвет индикатора, то следует последовательно с выводом «G» светодиода включить диод типа КД522Б катодом к  $HL1$ . Резистор  $R1$  уменьшает ток потребления по цепи  $+5\text{ В}$ , однако, при неустойчивом срабатывании реле этот резистор можно заменить перемычкой; ●





⊙ Рис. 6.16. Схемы организации бесперебойного питания (окончание):

п) резервный аккумулятор *GB1* постоянно подзаряжается небольшим током через резистор *R1*. Стабилитрон *VD6* совместно с диодом *VD7* ограничивают напряжение на аккумуляторе на уровне +13.7 В. Диоды *VD4*, *VD5* открываются только при снятии основного питания +16 В. Диоды *VD3*, *VD8* необходимы, поскольку ёмкость конденсаторов на выходе стабилизаторов *DA1*, *DA2* больше, чем на входе (сравнить *C1* и *C3*, *C3* и *C4*);

р) питание +5 В является основным, а питание от литиевой батареи/аккумулятора *GB1* — резервным. На выход *OUT* поступает большее из двух напряжений, подаваемых на входы *VCC* и *BAT* микросхемы *DA1*. При снижении напряжения на выводе *VCC* ниже +4.75 В (подстраивается резистором *R2*), на выходе  $\overline{PFO}$  формируется НИЗКИЙ уровень. Это система раннего предупреждения о неполадках в питании, чтобы МК мог переключиться на резервный источник. При снижении напряжения на выводе *VCC* ниже +4.65 В, генерируется импульс сброса  $\overline{RES}$ ;

с) аналогично Рис. 6.16, р, но с резервным питанием от ионистора *C1*. Сигнал сброса  $\overline{RES}$  поступает на вход прерывания  $\overline{INT}$ , поскольку аппаратно сбрасывать МК не обязательно из-за плавного снижения напряжения *OUT*;

т) ВЫСОКИМ/НИЗКИМ уровнем с выхода МК питание коммутируется или от цепи +5 В, или от резервного аккумулятора *GB1*, который подзаряжается небольшим током через элементы *VD1*, *R4*. При пропадании питания +5 В аккумулятор *GB1* включается автоматически, при этом в МК надо произвести сброс, поскольку он может «зависнуть» при резком скачке напряжений.

## 6.11. Подзарядка аккумуляторных батарей

Аккумулятор (лат. «accumulator» — собиратель) представляет собой устройство для накопления энергии с целью её последующего использования. Следует отличать электрические аккумуляторы от гальванических батарей (Табл. 6.7).

Таблица 6.7. Параметры аккумуляторов и гальванических батарей

Элемент	Название, тип	Напряжение [В]	Область применения
NiMH, NiCd	Никель-металлогидридный, никель-кадмиевый аккумулятор	1.2	Миниатюрные CD/MP3-плееры, цифровые фотоаппараты, видеокамеры, автомобильные брелоки, карманные игры
Zinc Air	Цинковая батарея	1.4	Слуховые аппараты
Carbon Zink	Углеродно-цинковая батарея (солевая)	1.5...1.6	Пульты дистанционного управления, часы, электронные термометры
Alkaline	«Алкалиновая» батарея (щелочная)	1.5...1.6	CD/MP3-плееры, детские игрушки, цифровые видеокамеры, радиоприёмники
Silver Oxide	«Серебряная» батарея	1.55	Наручные часы
Lithium	Литиевая батарея	3 (реже 1.5; 6)	Калькуляторы, органайзеры, цифровые фотоаппараты
Li-Ion, Li-Polymer	Литий-ионный, литий-полимерный аккумулятор	3.6...3.7	Ноутбуки, наладонные компьютеры, мобильные телефоны, цифровые видеокамеры

Аккумуляторы требуют периодической подзарядки энергии при помощи зарядных устройств (ЗУ). ЗУ можно разделить на внешние и внутренние. Первые из них подключаются к устройству через отдельный разъём и берут питание от сети 220 В, автомобильного аккумулятора, солнечной батареи и т.д. Характерным примером внешних ЗУ могут служить обычные «зарядки» для мобильных телефонов. Схемотехника подобных устройств — это отдельная и достаточно сложная тема.

Применительно к МК, более актуальными являются внутренние ЗУ, позволяющие восстанавливать энергию «на лету» от основного источника питания устройства. Методы заряда аккумуляторов бывают следующие:

- медленный заряд током, не превышающим  $0.1C$ , где «С» — это штатная ёмкость аккумулятора в ампер-часах;
- заряд током  $0.5...1C$  с остановкой в момент начала спада напряжения;
- быстрый заряд большим током  $2...4C$  с контролем температуры перегрева;
- «интеллектуальный» заряд по сложному графику со стабилизацией зарядного тока и напряжения.

При выборе типа аккумулятора следует учитывать разнообразие геометрических размеров (Табл. 6.8). Общее правило — чем больше физический объём элемента, тем больше его энергоёмкость, масса и, разумеется, цена.

Таблица 6.8. Разновидности аккумуляторов и гальванических батарей типоразмера AAA

Типоразмер	1/4 AAA	1/3 AAA	2/3 AAA	AAA	5/4 AAA	5/3 AAA
Длина [мм]	10	14	29	44.5	50.5	66.5

На Рис. 6.17, а...д показаны схемы подзарядки аккумуляторов от внутреннего (основного) источника питания МК.

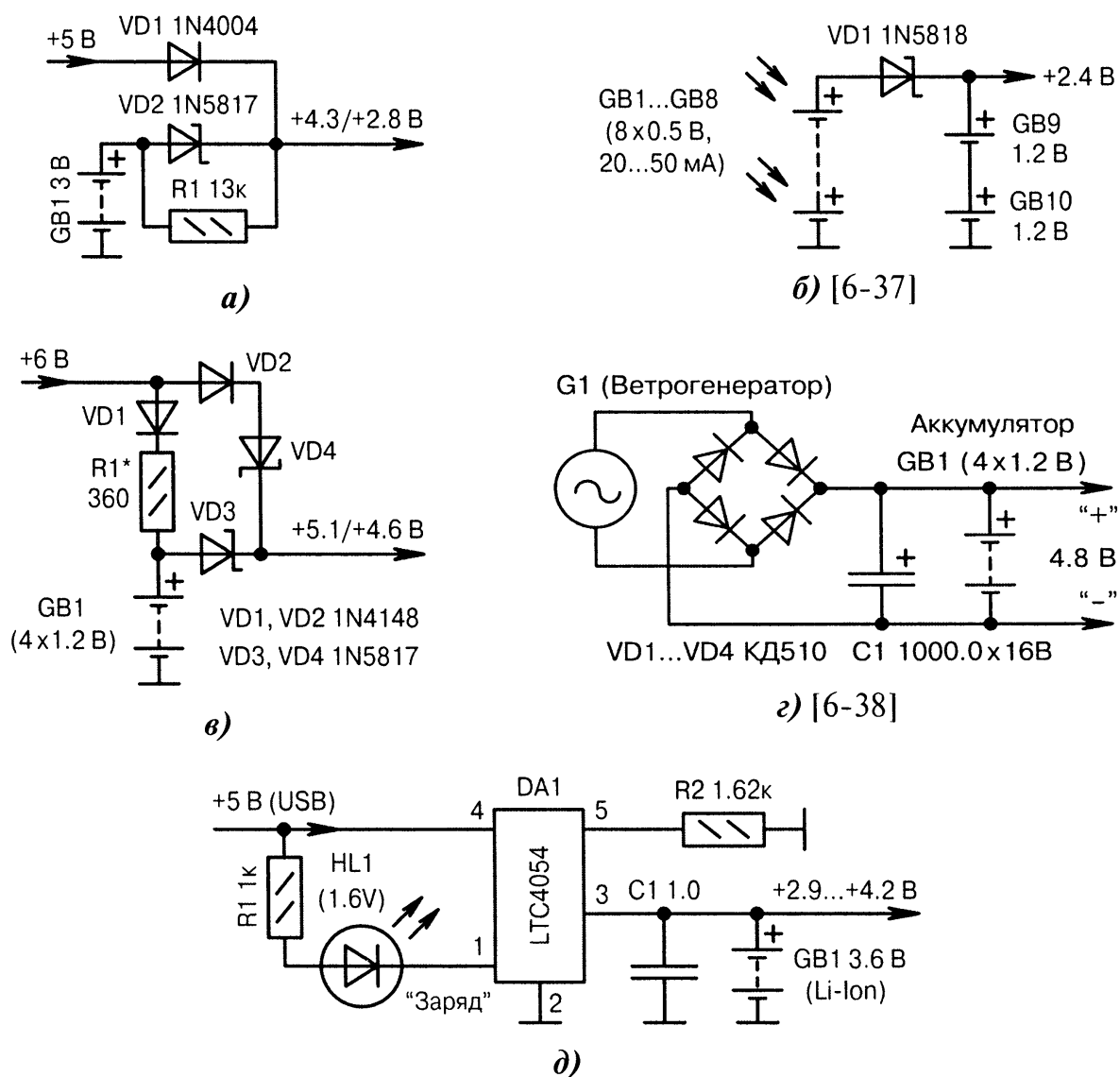


Рис. 6.17. Схемы внутренней подзарядки аккумуляторов:

а) стандартная схема резервирования питания от источников  $+5$  и  $+3$  В дополняется резистором  $R1$ . Через него осуществляется постоянная подзарядка аккумулятора  $GB1$  током примерно  $0.1$  мА. Столь низкий ток выбран для компенсации саморазряда аккумулятора во времени;

б) подзарядка NiCd, NiMH аккумуляторов  $GB9$ ,  $GB10$  типоразмера AA/AAA от панели солнечных элементов  $GB1...GB8$ . Ток заряда в яркий солнечный день может достигать  $50$  мА;

в) ток заряда аккумулятора  $GB1$  обратно пропорционален сопротивлению резистора  $R1$ . Диод  $VD1$  не позволяет разряжаться аккумулятору  $GB1$  через внешние цепи при снятии основного питания  $+6$  В. Диоды  $VD2$ ,  $VD4$  в сумме дают падение напряжения примерно  $0.8...1$  В. Диод  $VD3$  открывается только при снижении напряжения основного источника  $+6$  В ниже  $+4.6$  В;

г) аккумулятор  $GB1$  подзарядается от энергии ветрогенератора  $G1$ . Диодный мост  $VD1...VD4$  преобразует переменное напряжение, поступающее от ветрогенератора, в пульсирующее однополярное. Конденсатор  $C1$  сглаживает пульсации. Аккумулятор  $GB1$  стабилизирует выходное напряжение и служит буферным накопителем энергии;

д) подзарядка аккумулятора  $GB1$  от «интеллектуального» драйвера  $DA1$ . Заряд производится в три этапа с оптимальными режимами, специально разработанными для литиевых аккумуляторов. Максимальное напряжение заряда составляет  $4.2$  В, после чего микросхема  $DA1$  отключается и светодиод  $HL1$  гаснет. Ток заряда  $I_3$  вычисляется по формуле  $I_3[\text{А}] = 1000 / R_2[\text{Ом}]$ .

## 6.12. Питание от солнечных элементов

Ресурсы земной энергетики не безграничны. Это заставляет человечество искать новые источники энергии, и один из них — Солнце. Подсчитано, что Земля, находясь от Солнца на расстоянии 149 млн км, получает около  $2 \cdot 10^{17}$  Вт лучистой энергии, при этом солнечная радиация естественной плотности в среднем составляет  $0.8$  кВт/м<sup>2</sup>. Если бы удалось полностью использовать этот ресурс, то проблема истощения полезных ископаемых отошла бы на второй план.

Солнечная батарея — это полупроводниковый фотоэлектрический генератор, непосредственно преобразующий энергию солнечной радиации в электрическую мощность. Главным сдерживающим фактором, препятствующим широкому внедрению гелиоэнергетики, является низкий КПД современных фотопреобразователей и их высокая стоимость. Однако первая составляющая имеет тенденцию к повышению, а вторая — к снижению. Остаётся лишь дожидаться очередных успехов учёных. А пока можно использовать доступные в продаже солнечные батареи производства разных фирм и их самодельные аналоги (Рис. 6.18, а...ж).

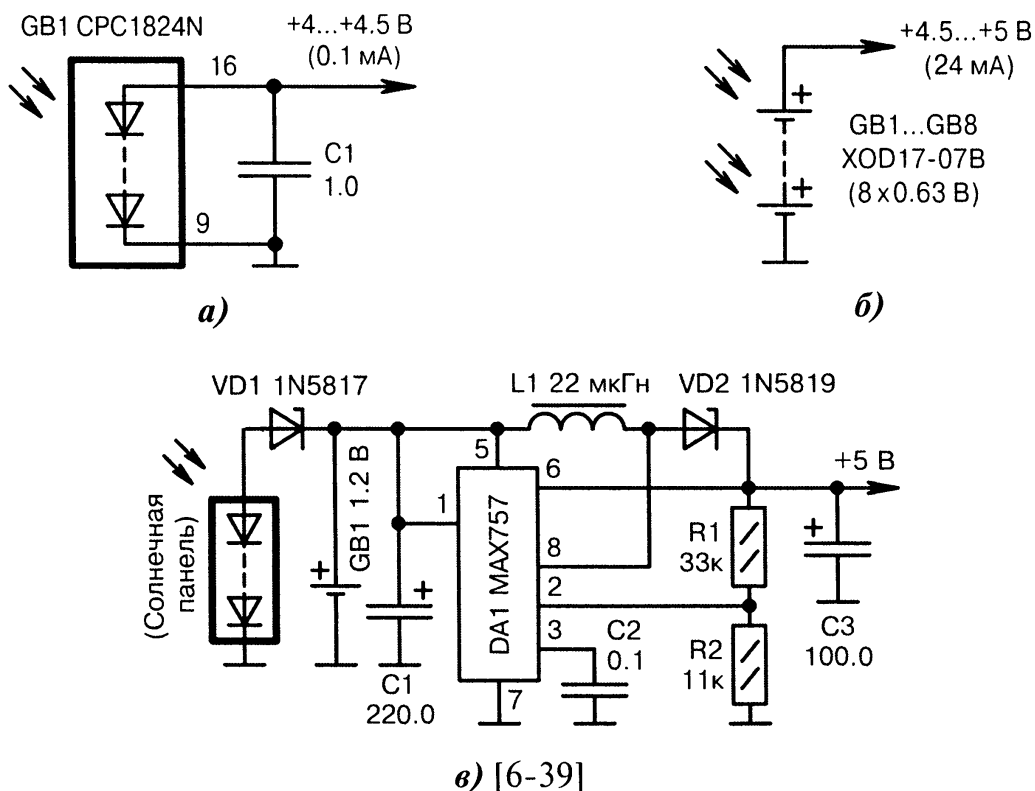


Рис. 6.18. Схемы питания от солнечных батарей (начало):

а) малогабаритная солнечная батарея *GB1* (фирма IXYS) в планарном корпусе SOIC-16. Её энергии достаточно для питания МК, работающего в микроощном режиме с низкой тактовой частотой 32768 Гц. Максимальный ток обеспечивается при прямом солнечном освещении или вблизи от яркой лампы накаливания. Замена солнечной батареи *GB1* — *CPC1822* фирмы IXYS;

б) *GB1...GB8* — это сборная солнечная панель, состоящая из восьми батарей фирмы IXYS. Каждая батарея выдаёт напряжение 0.63 В при токе 24 мА с высоким (17%) КПД;

в) напряжение от солнечной батареи *GB1* одновременно подзаряжает аккумулятор *GB1* и обеспечивает работу DC/DC-преобразователя напряжения, выполненного на микросхеме *DA1*; ☹

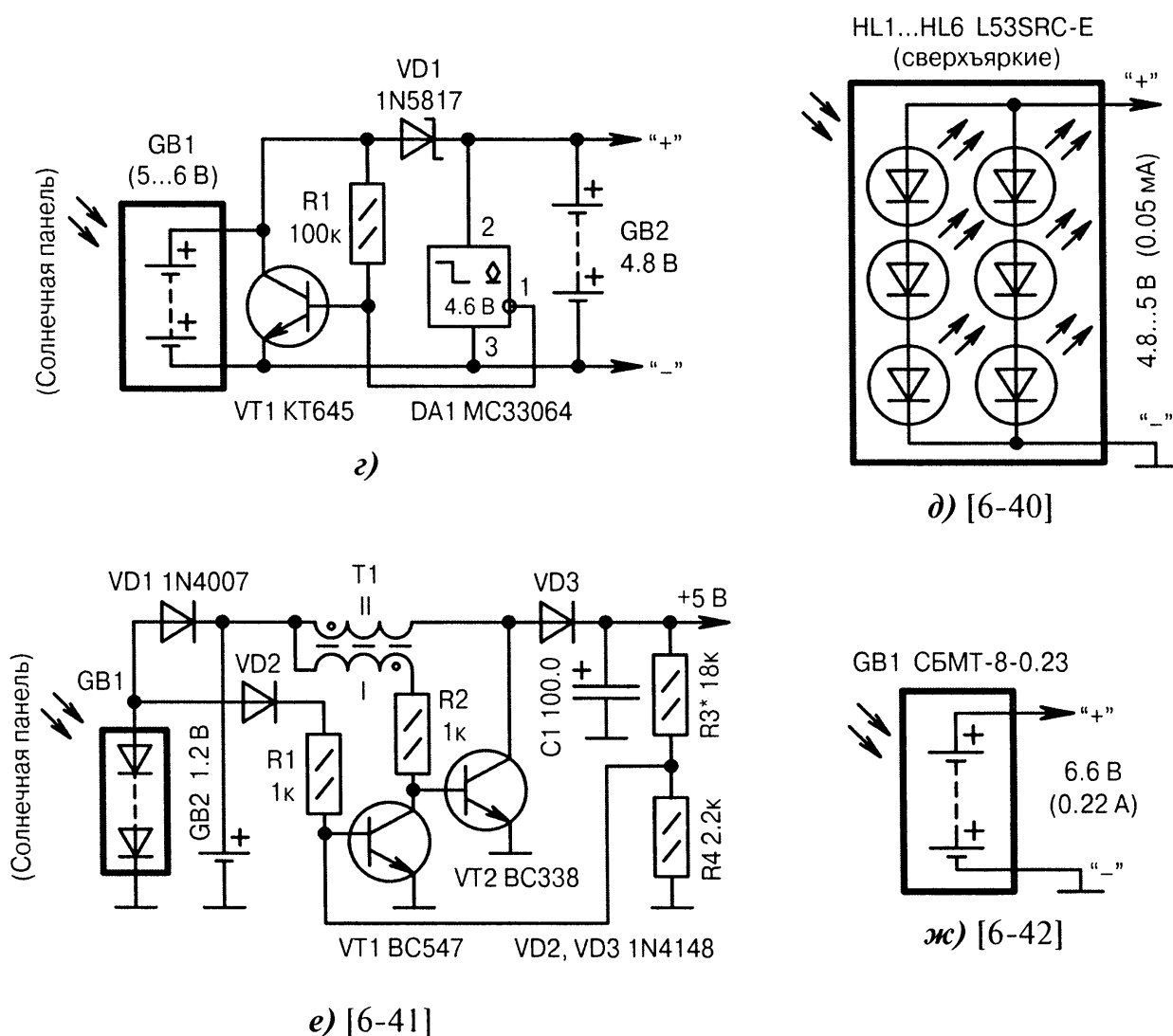


Рис. 6.18. Схемы питания от солнечных батарей (окончание):

г) совместная работа солнечной батареи *GB1* и аккумулятора *GB2*. Как только напряжение на выходе аккумулятора становится меньше +4.6 В, супервизор *DA1* закрывает транзистор *VT1* и энергия начинает поступать от солнечной батареи. Диод *VD1* предотвращает разряд аккумулятора *GB2* через открытый транзистор *VT1*. При подборе замены микросхемы *DA1* следует учитывать, что у неё выход с открытым коллектором;

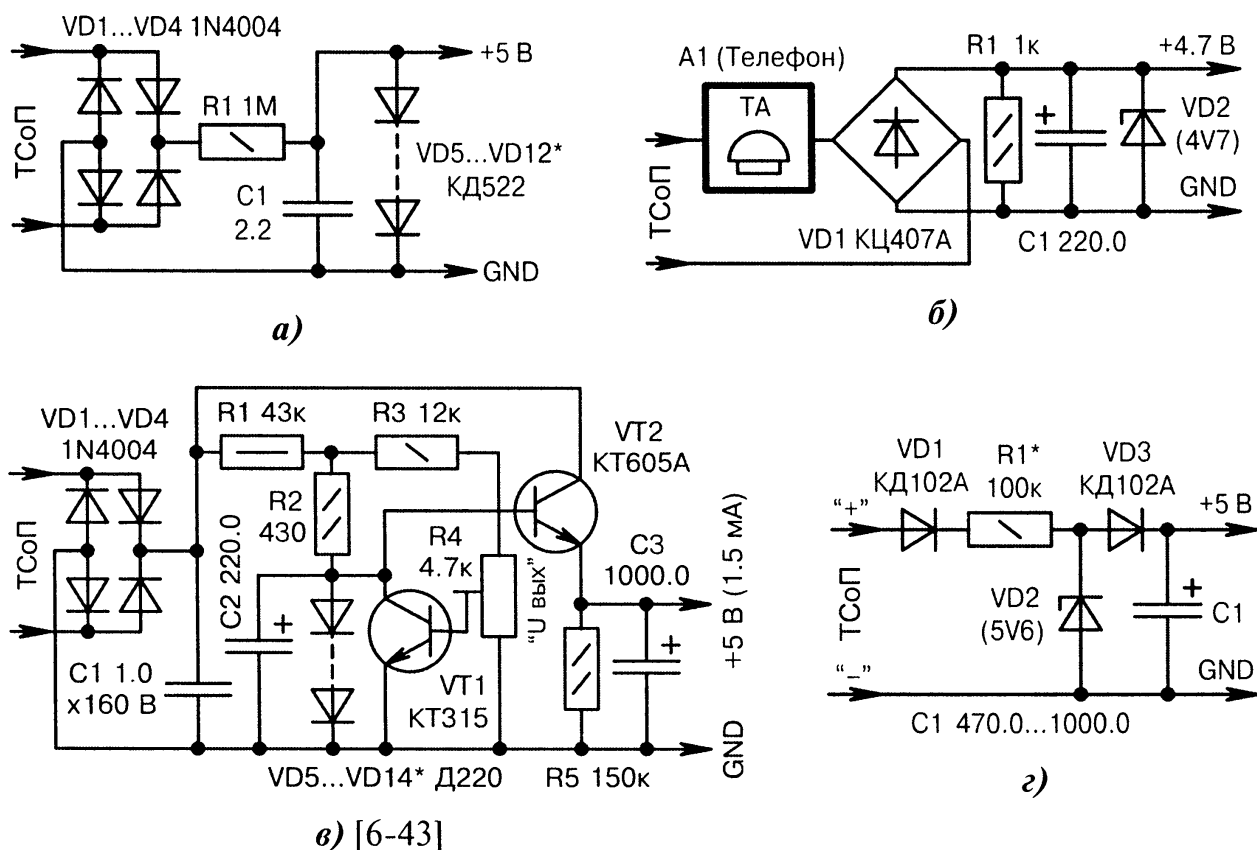
д) нестандартное применение сверхъярких светодиодов *HL1...HL6* в качестве солнечных элементов для питания микромощных конструкций, в том числе и с применением МК. Выходное напряжение одного светодиода составляет 1.65 В при токе 25 мкА. Используется принцип световой обратимости, или, проще, принцип частичной взаимозаменяемости светодиодов и фотодиодов;

е) совместная работа солнечной батареи *GB1* и аккумулятора *GB2*. На транзисторах *VT1*, *VT2* собран DC/DC-преобразователь по схеме блокинг-генератора с регулировкой напряжения резистором *R3*. Трансформатор *T1* наматывается на ферритовом кольце диаметром 7...10 мм и содержит в первичной обмотке 20 витков, а во вторичной — 35 витков провода ПЭВ-0.3;

ж) промышленная солнечная батарея *GB1* может служить бесплатным источником энергии для питания мобильных телефонов в тех местах, где по статистике наблюдается большое количество солнечных дней в году. Ничто не мешает использовать такую батарею для питания самодельных конструкций с МК.

## 6.13. Питание от телефонной линии

Владельцы стационарных телефонных аппаратов иногда используют для питания своих конструкций напряжение ТСоП. Разумеется, вся ответственность за несанкционированное подключение к ТСоП несертифицированных устройств ложится на того, кто это делает. Но поскольку «факт имеет место быть», то на **Рис. 6.19, а...г** показаны схемы организации питания от телефонной линии. Отдаваемая в нагрузку мощность не столь велика, как хотелось бы, поэтому надо устанавливать экономичный режим работы МК с низкой тактовой частотой.



**Рис. 6.19.** Схемы организации питания от телефонной линии:

а) количество и тип диодов  $VD5...VD12$  выбирается до получения на выходе напряжения, близкого к +5 В. Ток нагрузки низкий из-за большого сопротивления резистора  $R1$ . При поднятой телефонной трубке напряжение ТСоП снижается, питание тоже, поэтому в устройстве желательно предусмотреть резервную батарею или аккумулятор;

б) напряжение +4.7 В появляется только при поднятой трубке на телефоне  $A1$ . Устройство включается в разрыв любого телефонного провода «а» или «б»;

в) экономичный стабилизатор напряжения, главными элементами которого являются последовательно включённые диоды  $VD5...VD14$  (их число подбирается экспериментально). Собственное потребление тока стабилизатором 0.5 мА. Диапазон изменения напряжения ТСоП 10...90 В;

г) стабилитрон  $VD2$  (минимальный рабочий ток 1 мА) ограничивает броски напряжения ТСоП и стабилизирует питание. Ток нагрузки определяется резистором  $R1$ , который должен иметь достаточно высокое сопротивление. При поднятой телефонной трубке напряжение в ТСоП резко уменьшается, но, благодаря диоду  $VD3$ , конденсатор  $C1$  поддерживает некоторое время работоспособность МК, подключённого к цепи +5 В.

## 6.14. Защита от всплесков тока и напряжения

Аварийные «экстратоки» и «экстранапряжения» не идут на пользу ни одному электронному устройству. Необходимо вводить защитные цепи с автоматическим ограничением, снижением, отключением питания или, в крайнем случае, с визуальной/звуковой индикацией аварийного состояния.

Простейшим элементом защиты служит плавкий предохранитель. При его выборе надо ориентироваться на стандартные номинальные токи срабатывания:

- SMD-предохранители — 62; 125; 250; 375; 500; 750 мА, 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5; 4.0; 5.0 А;
- обычные «стеклянные» предохранители — 50; 60; 80; 100; 160; 200; 250; 315; 500; 630; 800 мА, 1.0; 1.25; 1.6; 2.0; 3.15; 3.5; 4.0 А.

Время срабатывания предохранителя зависит от величины протекающего тока. Судя по **Табл. 6.9**, ориентироваться на номинальный ток  $I_{\text{ПЛАВ}}$  нельзя, необходимо его многократное превышение, например,  $4I_{\text{ПЛАВ}}$ . На практике считается, что плавкая вставка с надписью «1 А» гарантированно «сгорает» при токе 2.5 А.

**Таблица 6.9.** Параметры «стеклянных» предохранителей фирмы Littelfuse ( $I_{\text{ПЛАВ}} 0.05...10 \text{ А}$ )

Превышение тока	1.0 $I_{\text{ПЛАВ}}$	1.5 $I_{\text{ПЛАВ}}$	2.1 $I_{\text{ПЛАВ}}$	2.75 $I_{\text{ПЛАВ}}$	4.0 $I_{\text{ПЛАВ}}$	Примечание
Время срабатывания [с]	14000	3600	120...1800	0.01...2	0.003...0.3	Предохранители серии «Fast»
Время срабатывания [с]	14000	3600	120...1800	0.25...80	0.05...5	Предохранители серии «Slow»

Радиолюбители за неимением времени иногда изготавливают кустарные проволочные предохранители, называемые в обиходе «жучками». Если используется медный провод, то можно взять данные из **Табл. 6.10**. Разумеется, «жучки» после проведения эксперимента надо заменить нормальными предохранителями.

**Таблица 6.10.** Параметры самодельных предохранителей

Ток плавления $I_{\text{ПЛАВ}}$ [А]	0.5	1	2	3
Диаметр медного провода [мм]	0.03	0.05	0.09	0.11

Следует отличать плавкие предохранители (fuse) от предохранительных резисторов (fusible resistor). Последние по конструкции напоминают обычные резисторы, но при перегорании не оставляют вокруг себя чёрного пятна металлизированной сажи, которая может закортить другие цепи на печатной плате.

Ещё один важный элемент защиты — это варисторы (**Табл. 6.11**). В отличие от предохранителей, они устанавливаются не последовательно, а параллельно, т.е. защита осуществляется по напряжению, а не по току.

**Таблица 6.11.** Типовые параметры зарубежных варисторов (Metal Oxide Varistor)

Варисторы	Энергия поглощения [Дж]	Напряжение ограничения [В]	Пиковый ток [А]
SMD	0.1	2.5...25	30
Дисковые	0.5...500	11...680 (1800)	100...6500
Автомобильные	12...100	14...30	250...2000

Если напряжение меньше порогового, то сопротивление варистора большое, и он практически не оказывает влияния на защищаемую цепь. Если порог достигнут, то сопротивление варистора быстро снижается. Это позволяет эффективно защищать аппаратуру от кратковременных импульсных помех.

На Рис. 6.20, а...к показаны схемы защиты питания от всплесков напряжения и коротких замыканий.

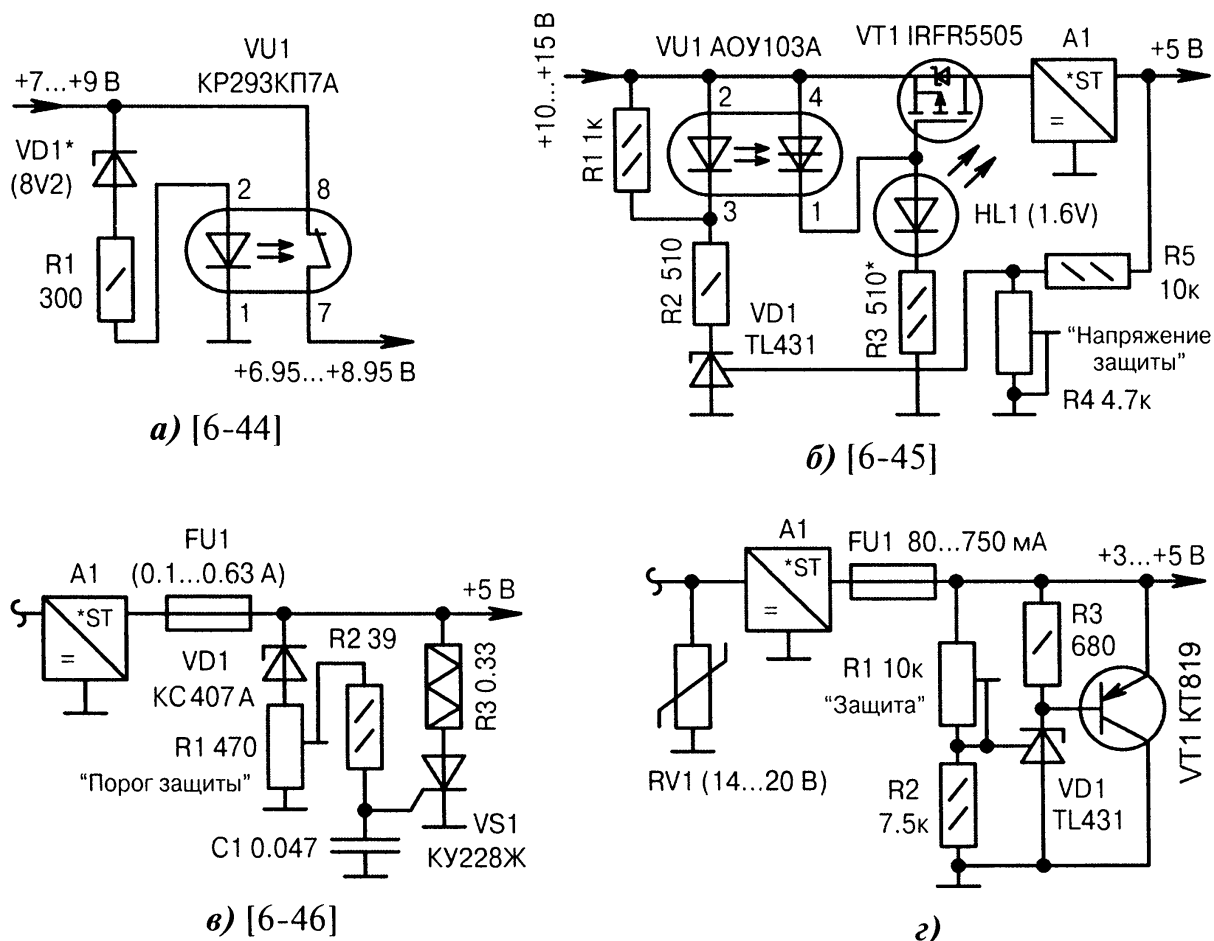


Рис. 6.20. Схемы защиты питания от всплесков напряжения и коротких замыканий (начало):

а) защита от повышенного входного напряжения с порогом, определяемым стабилитроном  $VD1$ . Оптореле  $VU1$  имеет нормально замкнутые контакты с током нагрузки не более 250 мА;

б) электронное отключение питания при пробое мощного регулирующего транзистора, находящегося внутри стабилизатора напряжения  $A1$ . Быстродействие определяется параметрами оптоэмиттера  $VU1$ . Излучатель  $HL1$  красным цветом индицирует аварийное состояние. Резистор  $R4$  устанавливает напряжение перехода транзистора  $VT1$  в закрытое состояние;

в) «параллельная» защита цепи +5 В. При всплесках напряжения открывается тиристор  $VS1$  и перегорает плавкая вставка  $FU1$  (или самовосстанавливающийся предохранитель). Конденсатор  $C1$  устраняет ложные срабатывания тиристора. Мощный проволочный резистор  $R3$  защищает тиристор  $VS1$  от «экстратоков». Пороговое напряжение стабилитрона  $VD1$  имеет разброс 3.1...3.5 В, поэтому его точное значение устанавливается подстройкой резистора  $R1$ ;

г) аналогично Рис. 6.20, в, но с заменой тиристорного ключа мощным параллельным стабилизатором напряжения на элементах  $VD1$ ,  $VT1$ ,  $R1...R3$  и дополнительной защитой по входу при помощи варистора  $RV1$ . Порог срабатывания устанавливается резистором  $R1$  на уровне примерно на 0.2...0.4 В выше, чем напряжение питания +3...+5 В; Ⓞ



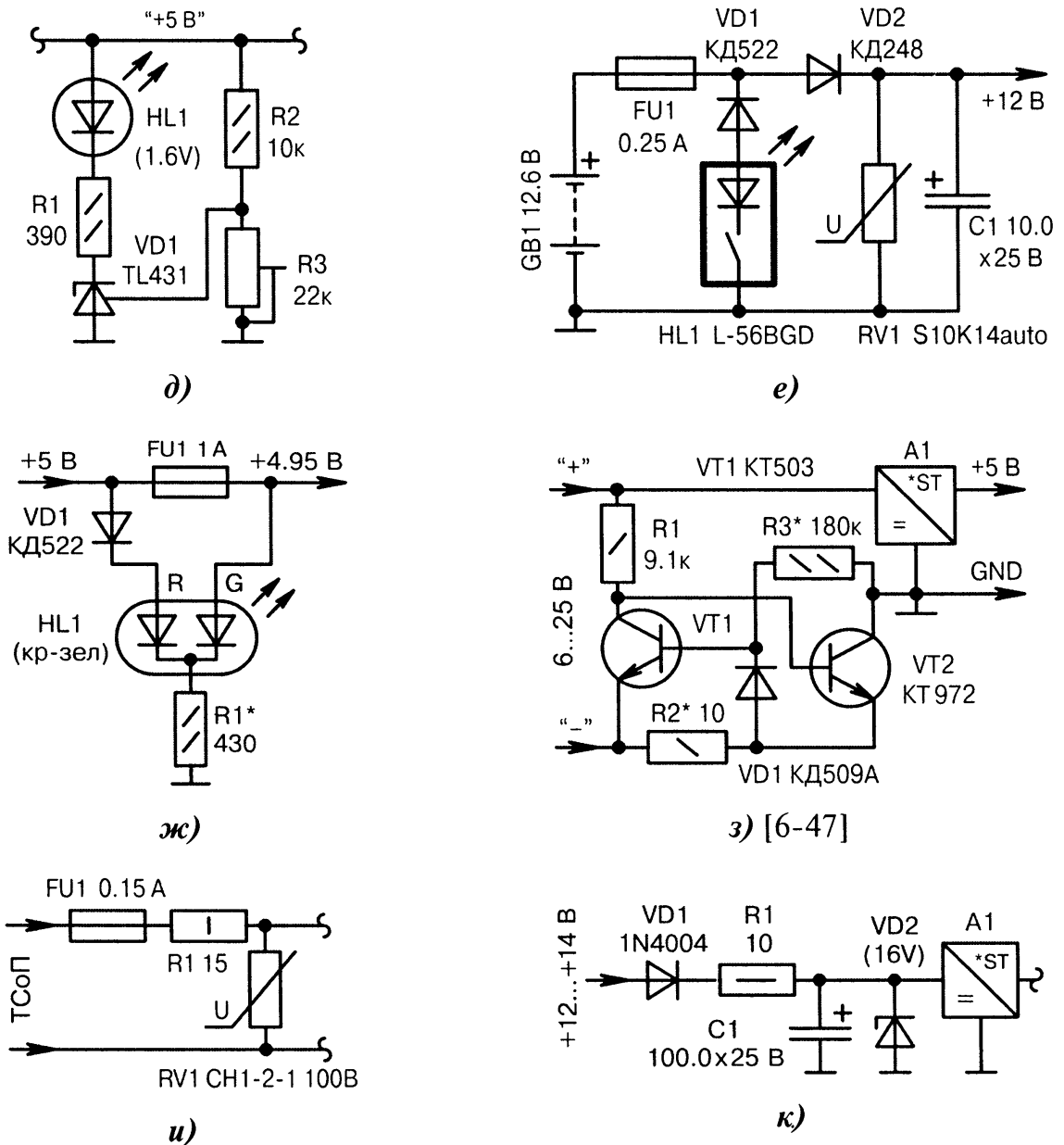


Рис. 6.20. Схемы защиты питания от всплесков напряжения и коротких замыканий (окончание):

д) *HL1* — это индикатор снижения напряжения питания с +5 до +4 В, что может свидетельствовать о предаварийном состоянии. Точный порог устанавливается резистором *R3*. Схема служит только для индикации неполадок. Устранение аварии производится оператором вручную;

е) защита от помех и перенапряжений в бортовой сети автомобиля (элементы *RV1*, *C1*). Мигающий светодиод *HL1* служит индикатором неверной полярности подачи питания;

ж) красный цвет светодиода *HL1* индицирует обрыв предохранителя *FU1*, зелёный — нормальную работу. При оранжевом или жёлтом цвете следует выбрать другой тип диода *VD1*;

з) защита от превышения тока в «минусовом» проводе. Резистором *R3* добиваются триггерного режима работы. Резистором *R2* устанавливают ток защиты в пределах 10...600 мА. Для ориентира, если  $R_2 = 10$  Ом, то ток срабатывания равен 85...111 мА;

и) варисторная защита устройств, подключённых к телефонной линии. При большой амплитуде или случайной подаче сетевого напряжения 220 В перегорает плавкая вставка *FU1*;

к) стабилитрон *VD2* защищает от всплесков входного напряжения. Ток ограничивается резистором *R1*, короткие импульсные помехи сглаживаются конденсатором *C1*.

## 6.15. Защита от смены полярности питания

Человеческий фактор, к сожалению, является наиболее частой причиной аварий и катастроф. Забывчивость, рассеянность, невнимательность, расчёт на пре-словутые «авось да небось» — вот первопричины того, что многие устройства не доживают свой век до «технической пенсии».

При лабораторных и радиолюбительских экспериментах частой ошибкой является переполюсовка питания, когда положительный и отрицательный провод меняются местами. Защититься от этого не так уж и сложно (Рис. 6.21, а...и).

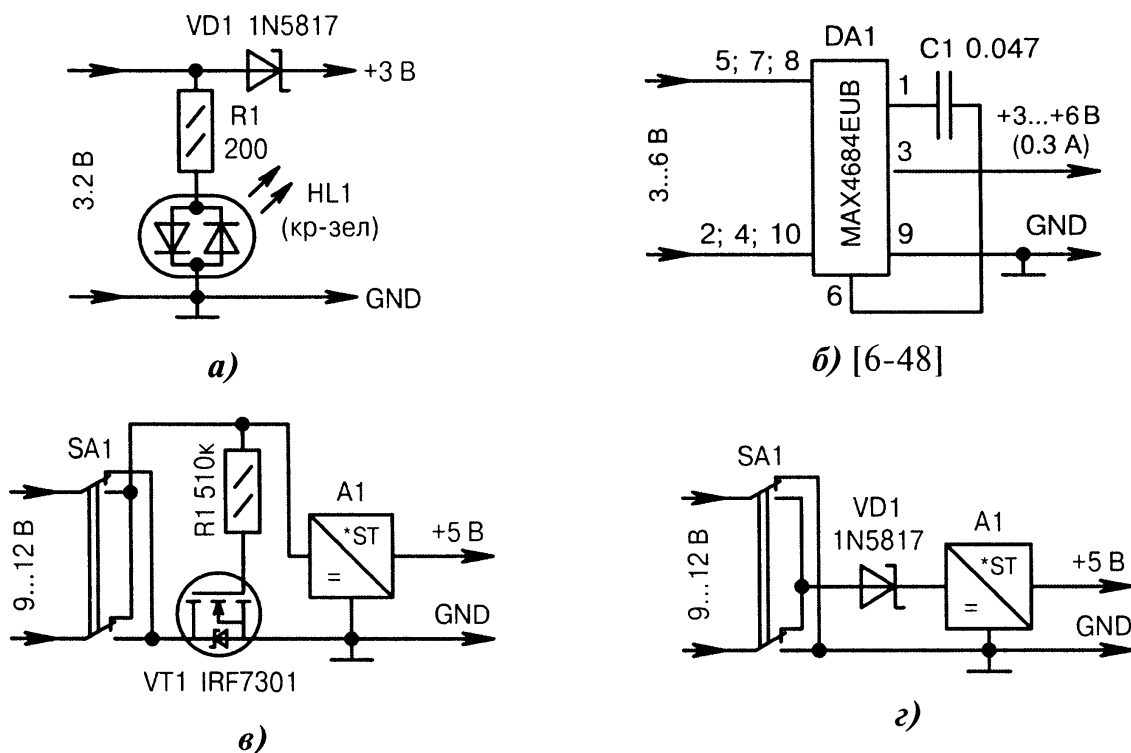


Рис. 6.21. Схемы защиты от смены полярности питания (начало):

а) индикатор *HL1* светится разным цветом при нормальной работе (зелёный) и при неверной полярности входного напряжения (красный). Для устранения неисправности требуется ручная перестыковка проводов. При повышении питания с +3 до +5 В следует увеличить сопротивление резистора *R1* до 390...470 Ом;

б) автоматическая коррекция полярности питания без участия человека («автополюсовка»). Специализированная микросхема *DA1* (фирма Maxim/Dallas) обеспечивает очень низкую разность напряжений между входом и выходом, а именно, 40 мВ при токе 100 мА;

в) схема полуавтоматической коррекции полярности питания. Исходное состояние переключателя *SA1* произвольное. Если полярность с первого раза «не угадана», то надо перевести переключатель *SA1* в другое положение. Такая методика иногда технически проще, чем перестыковка соединительных проводов. Транзистор *VT1* защитный, на нём падает напряжение около 0.1 В. Здесь и далее считается, что внутри стабилизатора *A1* имеются конденсаторы фильтра, но на схеме они не показаны;

г) аналогично Рис. 6.21, в, но при замене полевого транзистора диодом Шоттки *VD1*. Однако при этом ухудшается экономичность, поскольку на диоде падает достаточно большое напряжение, в среднем 0.2...0.4 В в зависимости от протекающего тока; ☹

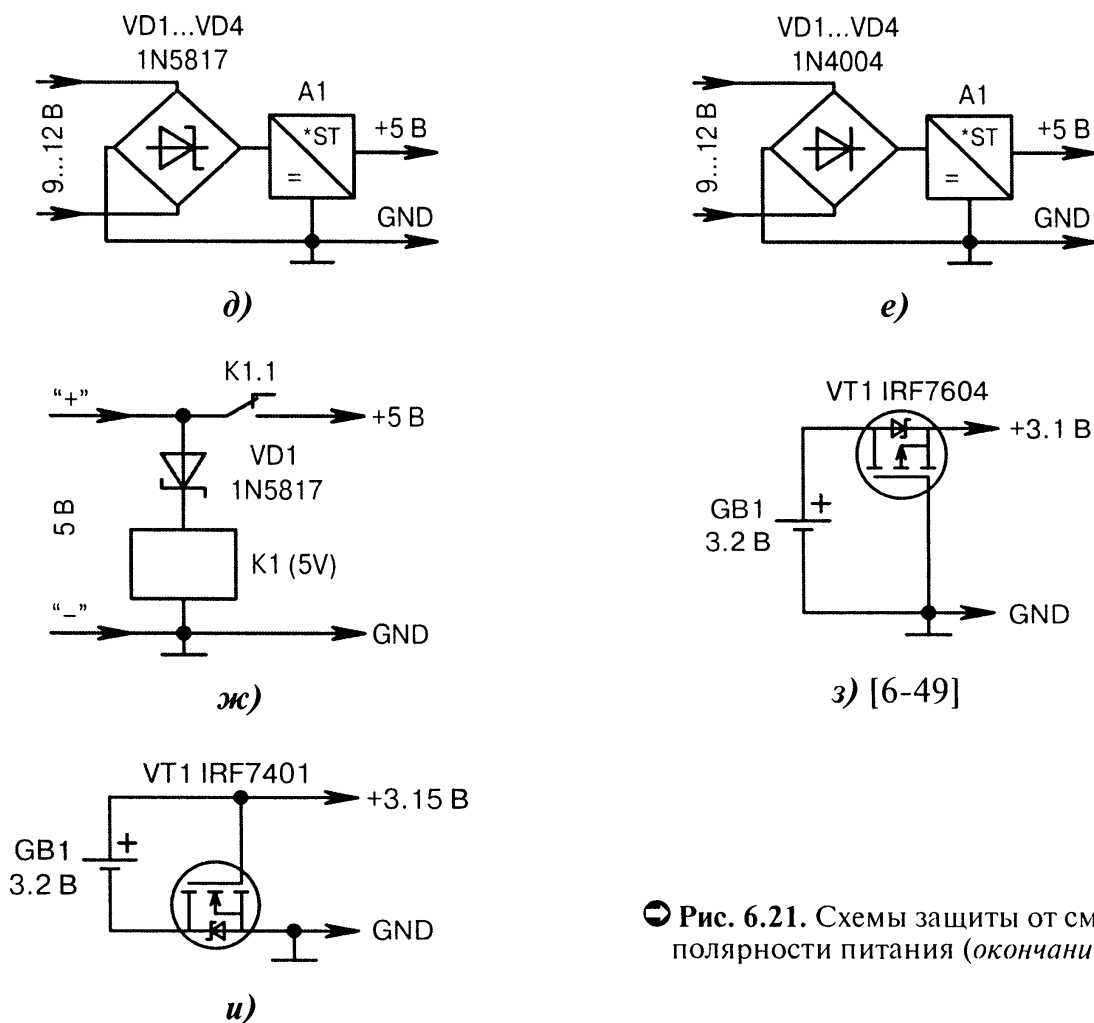


Рис. 6.21. Схемы защиты от смены полярности питания (окончание):

д) схема «автополюсовки» с диодным мостом  $VD1...VD4$ . Применение диодов Шоттки обеспечивает падение напряжения между входом и выходом  $0.4...0.8$  В в зависимости от протекающего тока;

е) аналогично Рис. 6.21, д, но с мостом на обычных диодах  $VD1...VD4$ . Эта схема хуже по экономичности, поскольку падение напряжения между входом и выходом составляет  $1.4...1.8$  В. Может применяться при отсутствии диодов Шоттки, а также при желании рассеять на диодах «лишнюю» мощность в целях облегчения теплового режима стабилизатора  $A1$ ;

ж) благодаря диоду  $VD1$ , контакты реле  $K1.1$  замыкают цепь только в том случае, если будет подана «правильная» полярность питания. Достоинство — очень малое падение напряжения между входом и выходом. Недостаток — дополнительный расход мощности на постоянно включённом реле  $K1$ ;

з) защита от неверной полярности питания в «плюсовом проводе» при помощи полевого  $p$ -канального транзистора  $VT1$ . Важную роль играет диод Шоттки, находящийся внутри транзистора. Через него (и нагрузку в цепи  $+3.1$  В) в начальный момент времени протекает ток, который открывает транзистор, после чего диод шунтируется открытым переходом «сток — исток». Замена транзистора  $VT1$  — IRLML6402. Достоинство схемы заключается в непосредственной связи общего провода устройства и «минусового» контакта батареи  $GB1$ ;

и) аналогично Рис. 6.21, з, но с установкой  $n$ -канального транзистора  $VT1$  в «минусовом» проводе. Замена транзистора — IRLML2402, IRF7601, BS170. Схема защиты с  $n$ -канальным транзистором обычно обеспечивает меньшее падение напряжения, чем схема с  $p$ -канальным транзистором. Особенность — отсутствует прямая связь цепи GND и батареи  $GB1$ .

## 6.16. Фильтры по питанию

Фильтрация помех по питанию является важным, хотя и не единственным средством повышения устойчивости работы МК. Это, как правило, первая ступень, которую надо обязательно пройти до конца. Обычно используют пассивные  $RC$ - и  $LC$ -фильтры, гораздо реже — активные транзисторные фильтры.

Если нельзя устранить причину помехи (с чего, по идее, и надо начинать анализ), то пытаются устранить следствие, т.е. ставят заградительные фильтры (Рис. 6.22, а...м). Окончательный вердикт об эффективности того или иного технического решения может дать лишь практика или детальное компьютерное моделирование реальных условий работы. Стоит только отметить, что МК и присоединяемые к нему импульсные узлы, сами могут являться довольно серьёзным источником помех. Следовательно, вторая функция заградительных фильтров заключается в уменьшении уровня не только «входящих», но и «исходящих» помех.

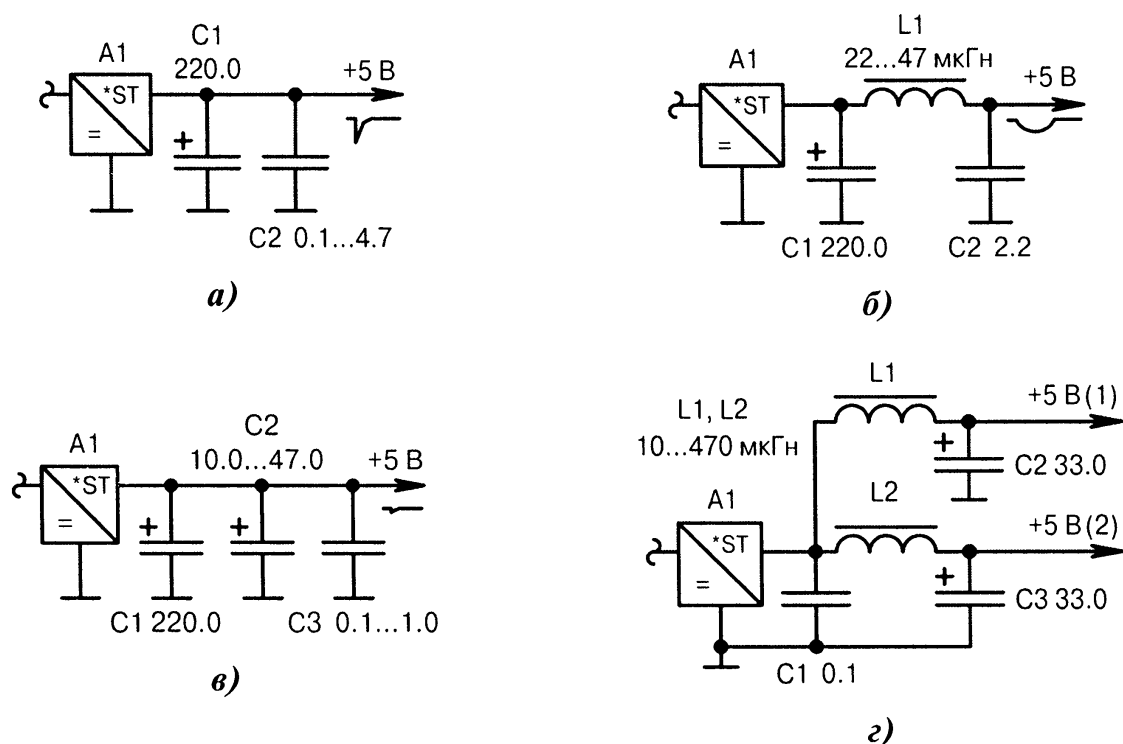


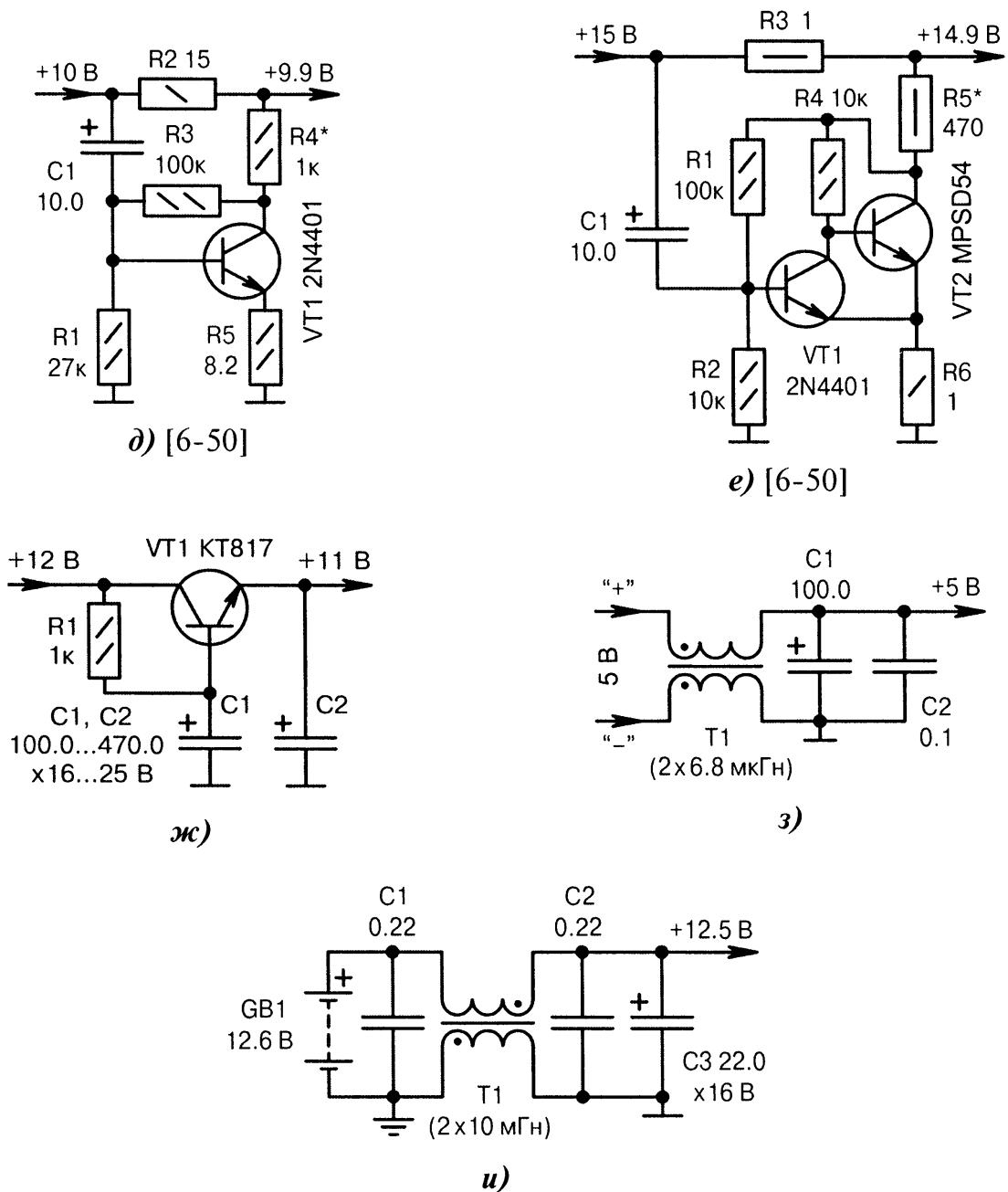
Рис. 6.22. Схемы фильтров по питанию (начало):

а) в непосредственной близости от выводов стабилизатора напряжения  $A1$  размещаются два конденсатора: электролитический  $C1$  большой ёмкости для фильтрации НЧ-помех и керамический  $C2$  малой ёмкости для фильтрации ВЧ-помех;

б) аналогично Рис. 6.22, а, но с  $LC$ -фильтром. Как следствие, «скругляется» форма пульсаций выходного напряжения;

в) аналогично Рис. 6.22, а, но с тремя конденсаторами разной ёмкости, каждый из которых действует в своей частотной области. Экспериментально следует подобрать оптимальные места установки конденсаторов на печатной плате, что позволяет заметно снизить амплитуду пульсаций;

г) разделение двух «пятивольтовых» каналов питания через  $LC$ -фильтры. Один из каналов может обслуживать цифровую, а другой канал — аналоговую часть устройства; ●



⊖ Рис. 6.22. Схемы фильтров по питанию (продолжение):

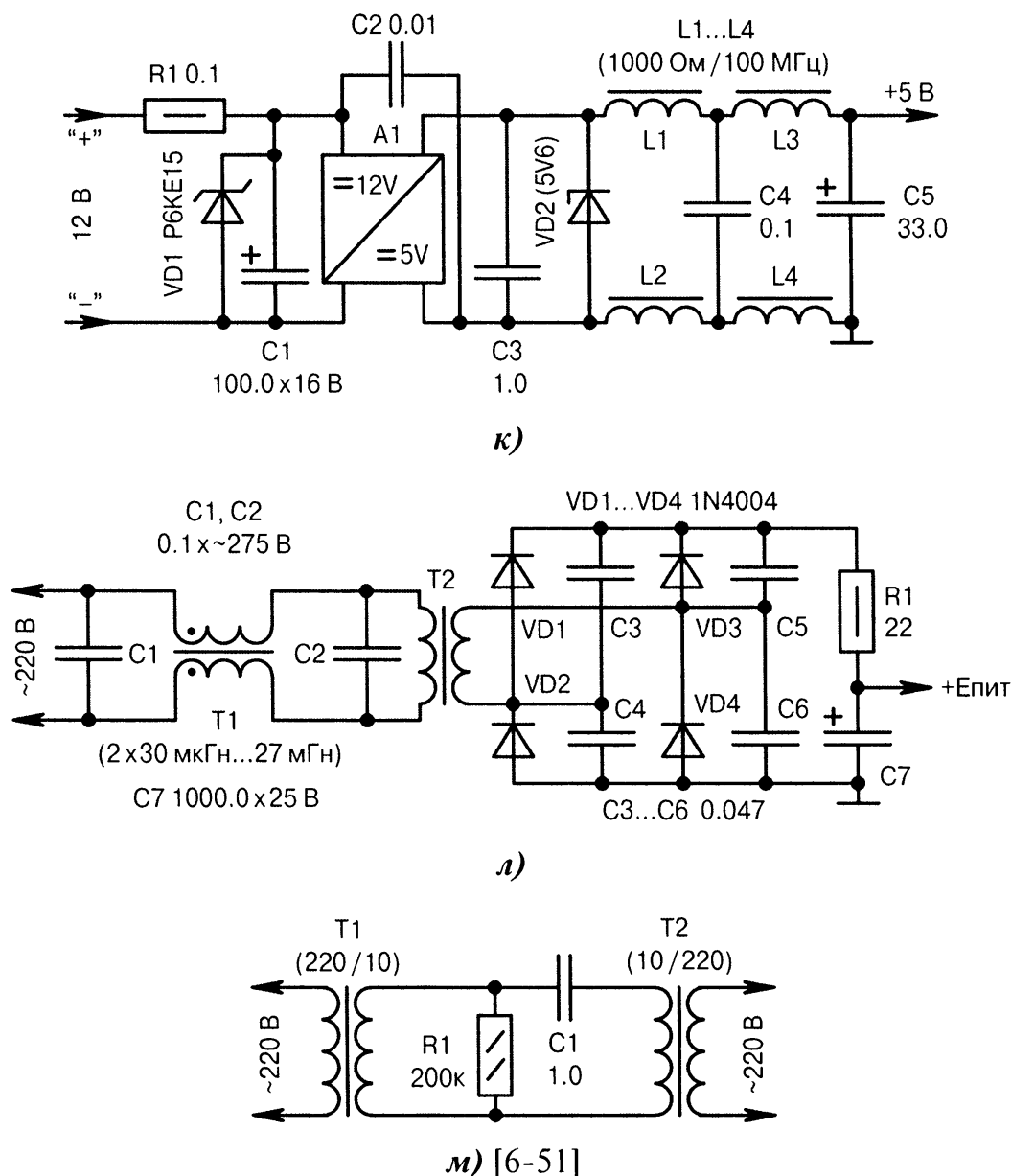
д) снижение сетевых пульсаций и уровня шума в цепи питания методом фазовой компенсации. Транзистор *VT1* усиливает переменную составляющую пульсаций, инвертирует её и частично компенсирует в точке соединения резисторов *R2*, *R4*;

е) аналогично Рис. 6.22, д, но на составных транзисторах *VT1*, *VT2*, что актуально для больших токов нагрузки;

ж) транзисторный фильтр на основе эмиттерного повторителя *VT1*, который ставится после диодного выпрямителя для снижения пульсаций сетевой частоты 50/100 Гц;

з) трансформатор *T1* снижает уровень синфазных помех. Если это не помогает, то можно изменить полярность включения одной (любой) обмотки трансформатора *T1* на противоположную (снижение уровня противофазных помех);

и) аналогично Рис. 6.22, з, но для бортовой сети автомобиля. Трансформатор *T1* (точнее, двойной дроссель) разделяет «электрическую массу» шасси автомобиля и общий провод устройства; ⊖



⊙ Рис. 6.22. Схемы фильтров по питанию (окончание):

к) комплексная фильтрация и защита гальванически изолированного DC/DC-преобразователя напряжения  $A1$  в условиях сильных промышленных помех. Резистор  $R1$  ограничивает ток через сапессор  $VD1$  при всплесках напряжения. Стабилитрон  $VD2$  ограничивает в аварийной ситуации выходное напряжение на уровне  $+5.6$  В, но он может выйти из строя при длительном протекании большого тока;

л) многоступенчатая система снижения ВЧ-помех на выходе  $+E_{\text{пит}}$ . Фильтруются помехи как излучаемые в сеть 220 В, так и принимаемые из нее. Первая ступень заграждения —  $C1, T1, C2$ , вторая ступень —  $C3...C6$ , третья ступень —  $R1, C7$ ;

м) сеть 220 В подключается к трансформатору  $T1$ , а сетевой источник питания для МК подключается к трансформатору  $T2$ . Связка элементов  $T1, C1, T2$  образует LC-фильтр, который уменьшает импульсные помехи, возникающие при включении мощных бытовых приборов, например, холодильника, утюга или СВЧ-печи. Схема обладает стабилизирующим свойством — на входе переменное напряжение 190...250 В, а на выходе 216...228 В. Расчётные мощности трансформаторов  $T1, T2$  должны быть больше мощности нагрузки. Если применяются трансформаторы с коэффициентом передачи 1:1, то конденсатор  $C1$  ставят на напряжение 630 В.

## 6.17. Электронное включение питания

Казалось бы, чего проще, включил питание и прибор, содержащий МК, заработал. Однако на практике бывают случаи, когда обычный механический тумблер для этих целей не годится. Показательные примеры:

- микропереключатель хорошо вписывается в конструкцию, но он рассчитан на низкий ток коммутации, а устройство потребляет на порядок больше;
- необходимо осуществить дистанционное включение/выключение питания сигналом логического уровня;
- тумблер питания сделан в виде сенсорной (квазисенсорной) кнопки;
- требуется осуществить «триггерное» включение/выключение питания повторным нажатием одной и той же кнопки.

Для таких целей нужны специальные схемные решения, основанные на применении электронных транзисторных ключей (Рис. 6.23, а...м).

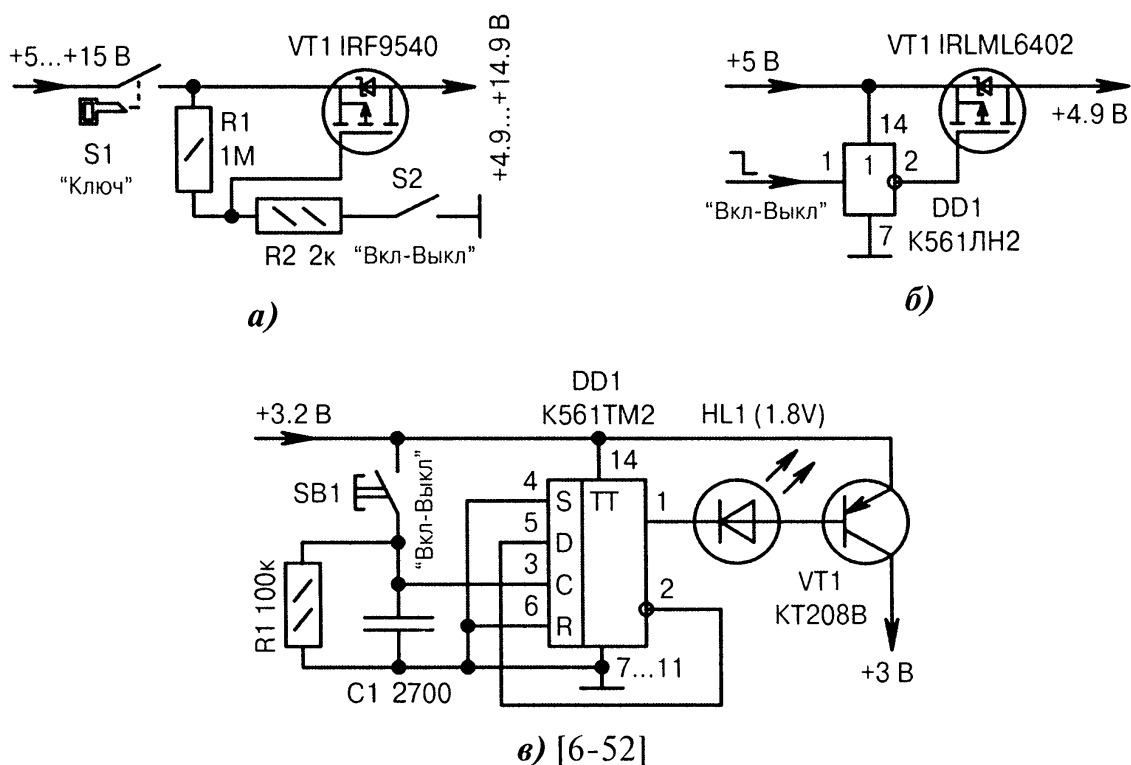


Рис. 6.23. Схемы электронного включения питания (начало):

а) *S1* — это выключатель «с секретом», применяемый для ограничения несанкционированного доступа к компьютеру. Маломощный тумблер *S2* открывает/закрывает полевой транзистор *VT1*, который подаёт питание на устройство, содержащее МК. При входном напряжении выше +5.25 В требуется поставить перед МК дополнительный стабилизатор;

б) включение/выключение питания +4.9 В цифровым сигналом ВКЛ-ВЫКЛ через логический элемент *DD1* и коммутирующий транзистор *VT1*;

в) маломощная «квазисенсорная» кнопка *SB1* триггерно включает/выключает питание +3 В через микросхему *DD1*. Конденсатор *C1* снижает «дребезг» контактов. Светодиод *HL1* индицирует протекание тока через ключевой транзистор *VT1*. Достоинство схемы — очень низкое собственное потребление тока в выключенном состоянии; Ⓞ

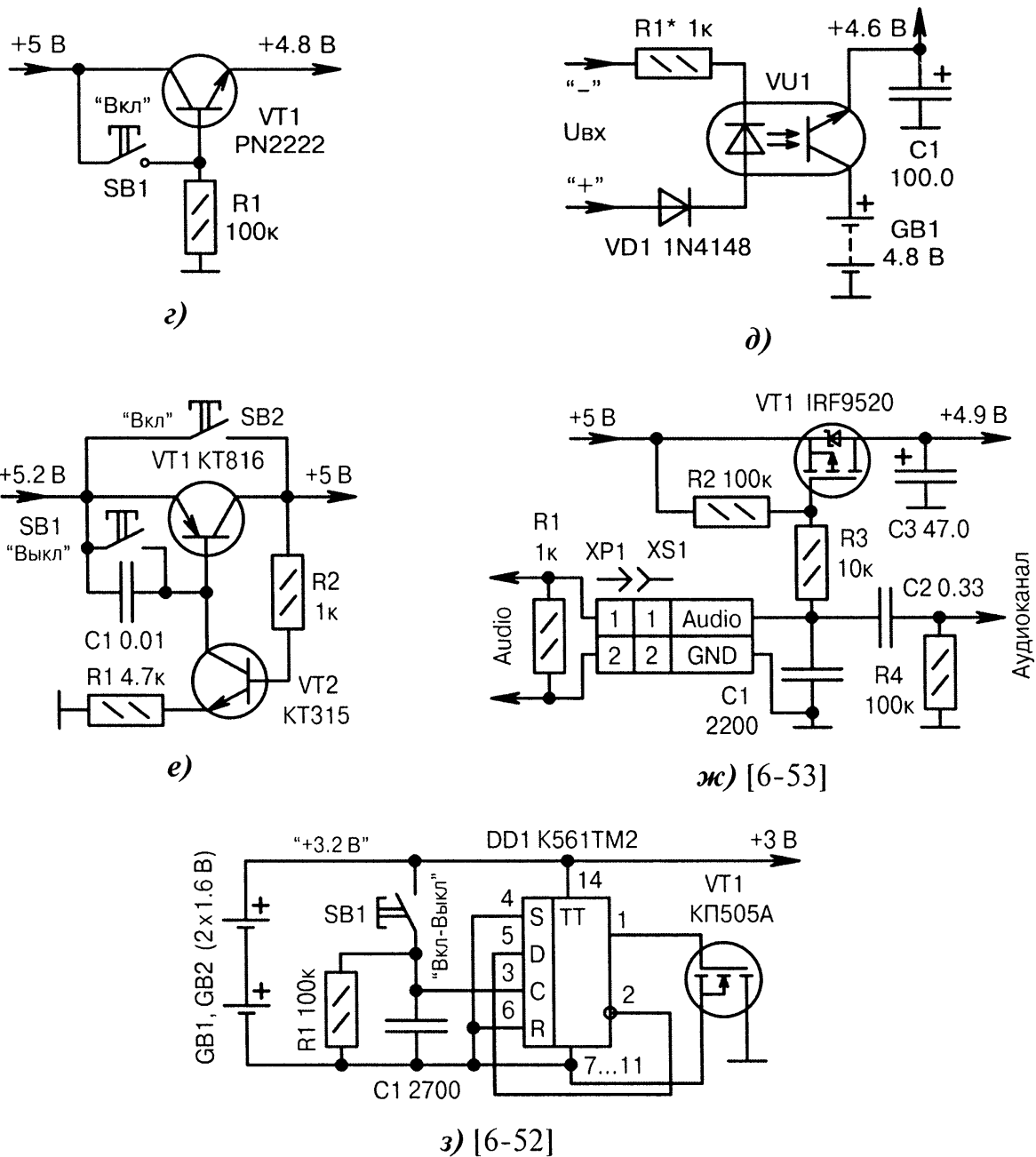


Рис. 6.23. Схемы электронного включения питания (продолжение):

г) подача напряжения +4.8 В маломощной кнопкой *SB1* (без самовозврата). Источник входного питания +5 В должен иметь защиту по току, чтобы не вышел из строя транзистор *VT1* при коротком замыкании в нагрузке;

д) включение напряжения +4.6 В по внешнему сигналу  $U_{вх}$ . Предусмотрена гальваническая развязка на оптопаре *VU1*. Сопротивление резистора *R1* зависит от амплитуды  $U_{вх}$ ;

е) кнопки *SB1*, *SB2* должны быть с самовозвратом, их нажимают по очереди. Начальный ток, проходящий через контакты кнопки *SB2*, равен полному току нагрузки в цепи +5 В;

ж) схема Л. Койла. Транзистор *VT1* автоматически открывается в момент соединения вилки *XP1* с розеткой *XS1* (за счёт последовательно включённых резисторов *R1*, *R3*). Одновременно в основное устройство подаётся звуковой сигнал от аудиоусилителя через элементы *C2*, *R4*. Резистор *R1* допускается не устанавливать при низком активном сопротивлении канала «Audio»;

з) аналогично Рис. 6.23, в, но с ключом на полевом транзисторе *VT1*. Это позволяет снизить собственное потребление тока как в выключенном, так и во включённом состоянии; ☉



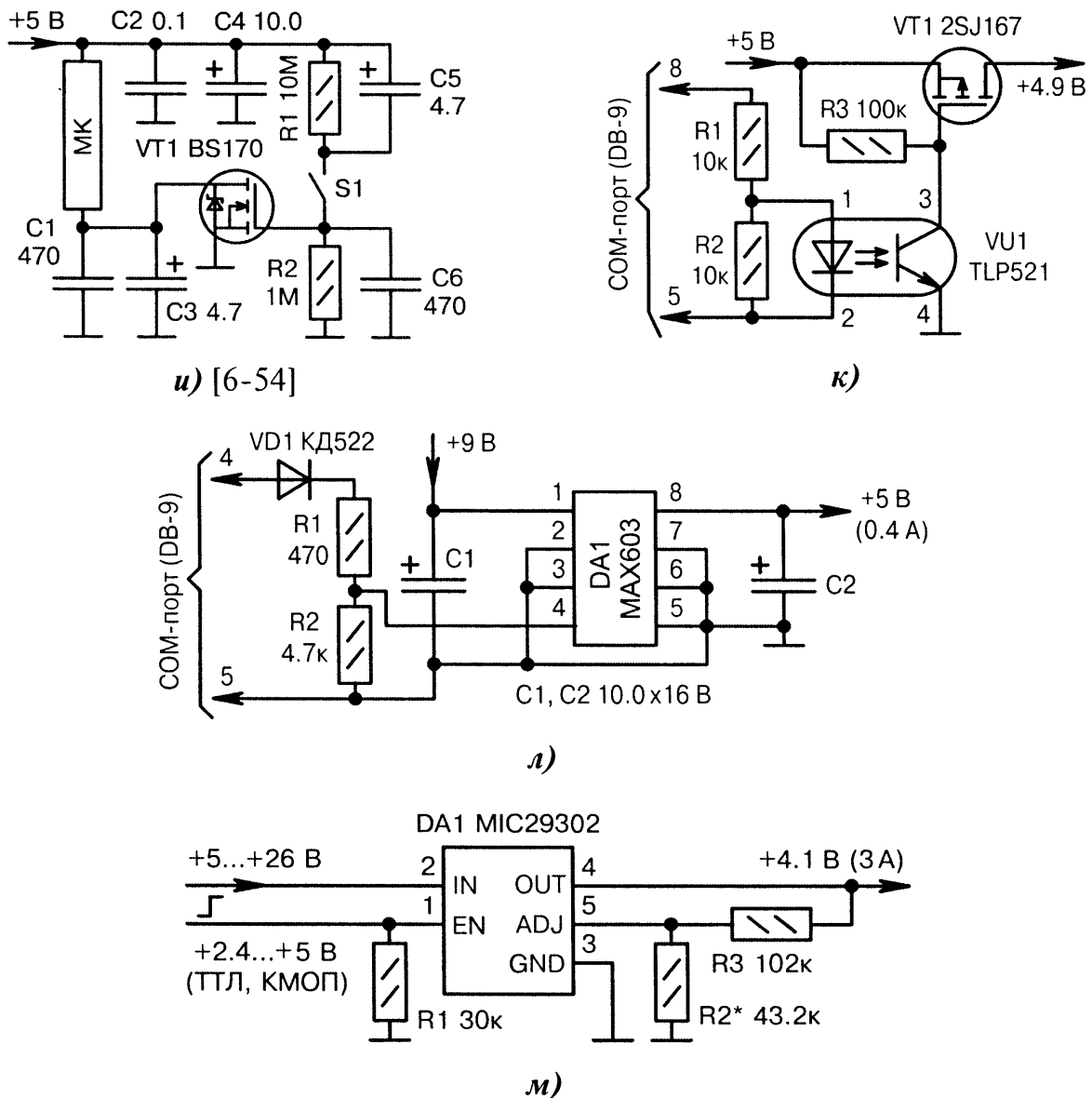


Рис. 6.23. Схемы электронного включения питания (окончание):

и) схема активизации МК на строго фиксированный промежуток времени. При замыкании контактов переключателя  $S1$  конденсатор  $C5$  начинает заряжаться через резистор  $R2$ , транзистор  $VT1$  открывается, МК включается. Как только напряжение на затворе транзистора  $VT1$  уменьшится до порога отсечки, МК выключается. Для повторного включения надо разомкнуть контакты  $S1$ , выдержать небольшую паузу (зависит от  $R1$ ,  $C5$ ) и затем снова их замкнуть;

к) гальванически изолированное включение/выключение питания +4.9 В при помощи сигналов с COM-порта компьютера. Резистор  $R3$  поддерживает закрытое состояние транзистора  $VT1$  при «выключенной» оптопаре  $VU1$ ;

л) удалённое включение/выключение интегрального стабилизатора напряжения  $DA1$  (фирма Maxim Integrated Products) через COM-порт компьютера. Питание +9 В может быть снижено вплоть до +5.5 В, но при этом надо увеличить сопротивление резистора  $R1$ , чтобы напряжение на выводе 1 микросхемы  $DA1$  стало больше, чем на выводе 4;

м) стабилизатор напряжения  $DA1$  (фирма Micrel) имеет вход включения питания EN, который управляется ВЫСОКИМ логическим уровнем. Резистор  $R1$  нужен, чтобы вывод 1 микросхемы  $DA1$  «не висел в воздухе», например, при Z-состоянии ТТЛ/КМОП-микросхемы или при расстыковке разъёма. Напряжение на выходе  $DA1$ :  $U_{\text{вых}}[\text{В}] = 1.24 \cdot (1 + R_3[\text{кОм}] / R_2[\text{кОм}])$ .

## 6.18. Необычные источники питания

На Рис. 6.24, а...и показаны схемы необычных источников питания.

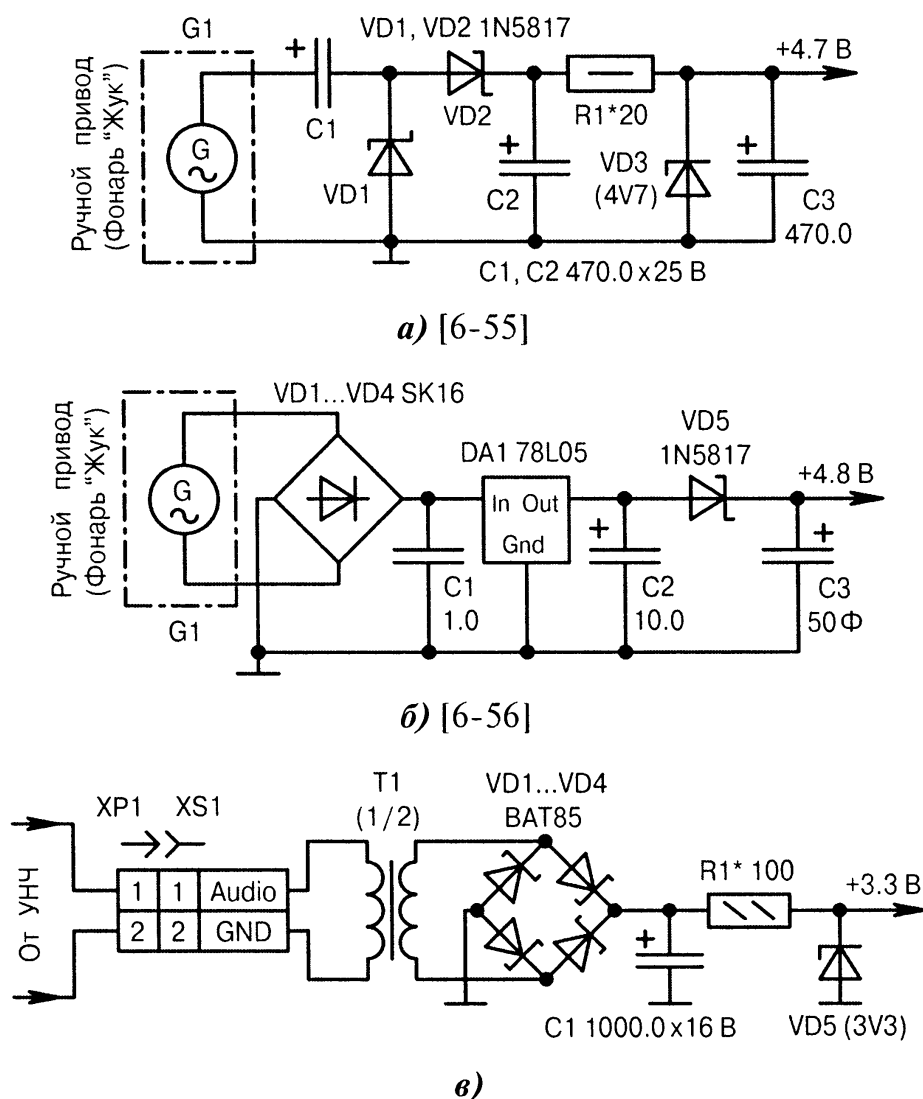


Рис. 6.24. Схемы необычных источников питания (начало):

а)  $G1$  — это электрогенератор с ручным приводом от карманного фонаря. На его выходе формируется напряжение треугольной формы частотой около 150 Гц и размахом до 15 В. Элементы  $C1$ ,  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $C2$  образуют удвоитель напряжения, а элементы  $R1$ ,  $VD3$ ,  $C3$  — параметрический стабилизатор;

б) аналогично Рис. 6.24, а, но с интегральным стабилизатором напряжения  $DA1$  и с ионистором  $C3$  типа ЭК801-50 фирмы «ЭСМА». Диод  $VD5$  предотвращает разряд ионистора через внутренние цепи стабилизатора  $DA1$ . Время интенсивной ручной «накачки» электрогенератора составляет 10 минут, при этом выходное напряжение плавно возрастает от 0 до +4.8 В. Время саморазряда ионистора  $C3$  составляет примерно 1 час при сопротивлении нагрузки 200 Ом;

в) получение питания от переменного напряжения звуковой частоты с выхода мощного УНЧ через повышающий трансформатор  $T1$ . Ток нагрузки в цепи +3.3 В зависит от громкости звука и отсутствия пауз. Резистором  $R1$  выбирают такой режим работы стабилитрона  $VD5$ , чтобы протекающий через него ток был меньше предела по даташиту. Желательно предусмотреть резервный источник питания на случай продолжительных звуковых пауз; ●

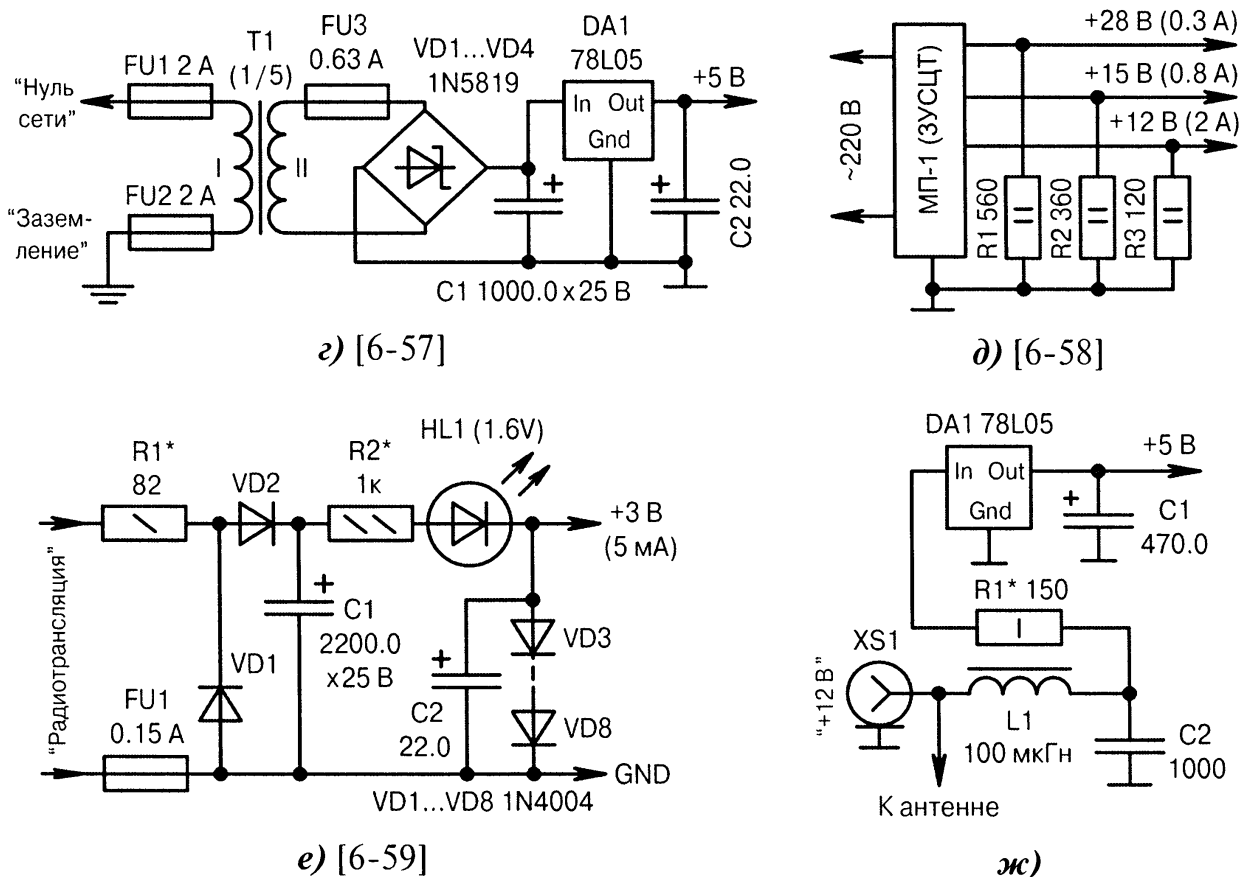


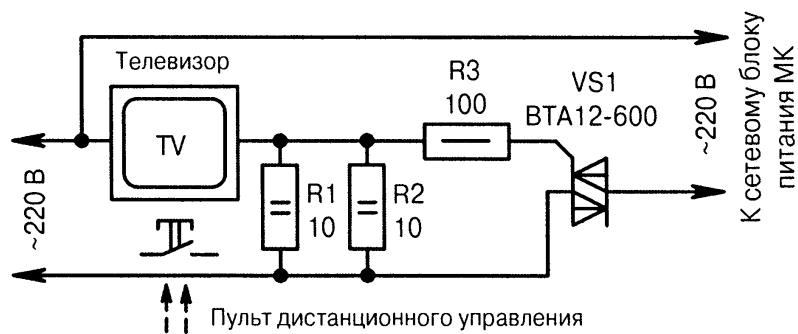
Рис. 6.24. Схемы необычных источников питания (продолжение):

г) «бесплатный» источник сетевого питания, использующий разность потенциалов между «нулевым» проводом сети 220 В и надёжно заземлённой металлической арматурой, закопанной прямо в почву. Получаемый ток зависит от общей нагрузки на сеть 220 В и может в вечернее время достигать сотен миллиампер. При наличии ВЧ-помех надо шунтировать каждый из диодов  $VD1...VD4$  керамическим конденсатором ёмкостью 0,1 мкФ. Трансформатор  $T1$  выполняется на Ш-образном сердечнике сечением 3...5 см<sup>2</sup>, его первичная и вторичная обмотки содержат соответственно 60 и 325 витков провода ПЭВ-0,51. **ВНИМАНИЕ!** Нельзя использовать в качестве заземления металлические трубы газопровода в доме;

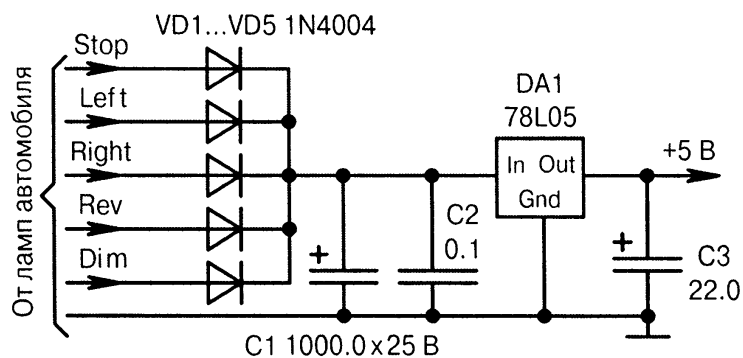
д) лабораторный блок питания на основе модуля МП-1, входившего в состав старых советских цветных телевизоров 2УСЦТ, 3УСЦТ разных торговых марок. Резисторы  $R1...R3$  создают начальную токовую нагрузку для устойчивого запуска импульсного AC/DC-преобразователя напряжения;

е) питание от переменного звукового напряжения радиотрансляционной сети 30 В. Напряжение на конденсаторе  $C1$  колеблется в пределах 7...12 В в зависимости от громкости звука и длительности пауз в радиопередаче. Светодиод  $HL1$  индицирует наличие питания, яркость подбирается резистором  $R2$ . Вместо диодов  $VD3...VD8$  можно поставить микросхему стабилизатора 78LCxx с выходным напряжением +3...+5 В. В ночное время радиотрансляция прекращается, поэтому для круглосуточной работы устройства понадобится резервный источник питания;

ж) к разъёму  $XS1$  подключается коаксиальный кабель от удалённого базового устройства. Через кабель одновременно принимается телевизионный ВЧ-сигнал от антенны и передаётся постоянное напряжение +12 В для питания стабилизатора  $DA1$ . Фильтр  $L1, C2$  разделяет ВЧ-сигнал и постоянную составляющую. Резистор  $R1$  необходим, чтобы облегчить тепловой режим микросхемы  $DA1$  и защитить базовое устройство при коротком замыкании на входе  $DA1$ ; ◉



з)



и) [6-60]

Рис. 6.24. Схемы необычных источников питания (окончание):

з) пультом дистанционного управления или кнопкой включается телевизор (или другой достаточно мощный прибор), при этом автоматически открывается симистор  $VS1$  и подаётся напряжение 220 В на сетевой блок питания для МК. При выключении телевизора симистор закрывается и МК обесточивается;

и) организация питания от сигнальных ламп задних фонарей бортовой сети автомобиля. Диоды  $VD1...VD5$  обеспечивают непрерывность подачи питания на стабилизатор напряжения  $DA1$  вне зависимости от количества включённых ламп.

**Список использованных источников и литературы к главе 6**

- 6-1. Кашкаров, А. Балластный конденсатор / Андрей Кашкаров // Радиомир. — 2004. — № 2. — С. 31.
- 6-2. Тимошенко, А. В. Доработка блоков питания зарубежных антенных усилителей / А. В. Тимошенко // Радиоаматор. — 2001. — № 9. — С. 55.
- 6-3. Дайджест зарубежной периодики. Замена обычных диодов в маломощном сетевом блоке питания стабилитронами // Радиолюбби. — 2002. — № 1. — С. 22–23.
- 6-4. Янгалиев, Н. Блок питания на основе преобразователя напряжения для питания галогенных ламп / Н. Янгалиев // Радио. — 2005. — № 5. — С. 36–37.
- 6-5. Дайджест зарубежной периодики. Ламповый предусилитель с винил-корректором и регулятором тембра // Радиолюбби. — 2003. — № 5. — С. 10–11.
- 6-6. Беседин, В. Защищаемся... / В. Беседин // Радиомир. — 2009. — № 5. — С. 16.
- 6-7. Москатов, Е. Импульсный ИП в спичечной коробке / Евгений Москатов // Радио. — 2005. — № 6. — С. 26–27.
- 6-8. Дьяконов, М. Н. Справочник по электрическим конденсаторам / Михаил Дьяконов, Валентин Карабанов, Валентин Пресняков и др. — М. : Радио и связь, 1983. — 576 с.
- 6-9. Ловчук, В. Б. Управление ёлочными огнями по микрофону / В. Б. Ловчук // Радиоаматор. — 2001. — № 12. — С. 35.
- 6-11. Яковлев, Е. Л. Выпрямители-стабилизаторы / Евгений Яковлев // Радиоаматор. — 2005. — № 8. — С. 27–28.
- 6-10. Секриеру, В. Терморегулятор с трёхфазным питанием / В. Секриеру, Е. Мунтяну // Радио. — 2005. — № 1. — С. 44–45.
- 6-12. Белоусов, О. Терморегулятор для мини-инкубатора / Олег Белоусов // Радиомир. — 2004. — № 2. — С. 10–12.
- 6-13. AC/DC модули фирмы ROHM / Rainbow Technologies // Радио. — 2005. — № 4. — С. 74.
- 6-14. Рюмик, С. С Интернета «по нитке»... / Сергей Рюмик // Радиомир. — 2006. — № 5. — С. 36–38.
- 6-15. Kleine, G. 3.3V or 5V Direct from the Mains / Gregor Kleine // Elektor Electronics. — 2004. — № 7–8. — P. 41.
- 6-16. Лазовик, В. Автоматическое смещение в РА / Владимир Лазовик // Радиолюбби. — 2004. — № 5. — С. 42.
- 6-17. Интегральные микросхемы: Микросхемы для линейных источников питания и их применение. Издание второе, исправленное и дополненное / Ответственный за выпуск А. В. Перебаскин. — М. : ДОДЭКА, 1998. — 400 с. — ISBN-5-87835-021-1.
- 6-18. Нечаев, И. Простой многоточечный термометр / Игорь Нечаев // Радио. — 2003. — № 7. — С. 35.
- 6-19. Воличенко, Г. В. «Многоликая» TDA2030A / Г. В. Воличенко // Радиоаматор. — 2005. — № 12. — С. 35–39.
- 6-20. Семёнов, И. Блок питания «Ступенька» / И. Семёнов // Радиомир. — 2001. — № 4. — С. 16.
- 6-21. Ершов, М. Цифровой фазометр на микроконтроллере / М. Ершов // Радиомир. — 2003. — № 10. — С. 34–35.
- 6-22. Шрайбер, Г. 300 схем источников питания / Герман Шрайбер. — М. : ДМК Пресс, 2001. — 216 с. — ISBN 5-94074-134-7.
- 6-23. Харций, Д. Современный предварительный усилитель с микропроцессорным управлением / Дмитрий Харций // Радиолюбби. — 2003. — № 5. — С. 48–52.

- 6-24. Кавыев, А. Импульсный БП с акустическим выключателем для мультиметра / А. Кавыев // Радио. — 2005. — № 5. — С. 23–24.
- 6-25. Бочарников, В. Цифровой вольтметр для лабораторного БП / В. Бочарников // Радио. — 2005. — № 8. — С. 24–24.
- 6-26. Xu, G. Create Your Own Software Serial Port / G. Y. Xu // Nuts & Volts. — 2007. — № 6. — P. 52–56.
- 6-27. Santarelli, S. Q & A (Reader's Circuit) / Stephen Santarelli // Nuts & Volts. — 2006. — № 8. — P. 28–29.
- 6-28. Baker, D. Microprocessor Controlled Xmas Tree / Dave Baker, John Toebes, Mark Schnell // Nuts & Volts. — 2008. — № 11. — P. 43–51.
- 6-29. Schroeder, R. How to Trick an Op-Amp / Richard Schroeder // Nuts & Volts. — 2008. — № 4. — P. 67–70.
- 6-30. Дайджест зарубежной периодики. Винил-корректор в виде периферийного устройства ПК // Радиолюбби. — 2004. — № 1. — С. 16.
- 6-31. Заец, Н. Электронный домоуправ / Николай Заец // Схемотехника. — 2003. — № 7. — С. 29–32.
- 6-32. Бутов, А. Ионистор в карманных электронных часах / Андрей Бутов // Радио. — 2005. — № 3. — С. 62.
- 6-33. Door Chime Privacy Sentry [Электронный ресурс] / Richard Cappels, 2004. — Режим доступа: <http://cappels.org/dproj/doorchime/doorchime.html> (англ.). — 05.07.2009.
- 6-34. Ознобихин, А. Автоматический коммутатор питания / А. Ознобихин // Радиомир. — 2001. — № 9. — С. 38.
- 6-35. Jackson, T. A PC-Controlled Burglar Alarm System / Trent Jackson // Everyday Practical Electronics. — 2008. — № 4. — P. 10–19.
- 6-36. Vachiochi, J. A SPI Power Alarm / Jeff Vachiochi // Circuit Cellar. — 2006. — № 9. — P. 74–77.
- 6-37. Forrest Cook, G. AA Battery Solar Charger [Электронный ресурс] / G. Forrest Cook. — 1999. — Режим доступа: <http://www.solorb.com/elect/solarcirc/aacharge/index.html> (англ.). — 05.07.2009.
- 6-38. Портативная ветростанция [Электронный ресурс] / Alt-Electro.ru. — 2008. — Режим доступа: <http://alt-electro.ru/opisanie-shemy.php>. — 26.05.2009.
- 6-39. Stojadinovic, N. Solar Powered Wireless Weather Station [Электронный ресурс] / Nenad Stojadinovic. — 2004. — Режим доступа: [http://www.siliconchip.com.au/cms/A\\_103238/article.html](http://www.siliconchip.com.au/cms/A_103238/article.html) (англ.). — 05.07.2009.
- 6-40. Климов, А. «Серебряный ионатор» / А. Климов // Радиомир. — 2004. — № 5. — С. 20.
- 6-41. Mitchell, C. 5V Solar Power Supply [Электронный ресурс] / Colin Mitchell. — 2005. — Режим доступа: <http://www.talkingelectronics.com/projects/PowerSupply5vSolar/PowerSupply5vSolar.html> (англ.). — 05.07.2009.
- 6-42. Солнечная батарея СБМТ-8-0.23 для мобильных телефонов // Радиоаматор. — 2005. — № 5. — С. 57.
- 6-43. Дубовой, С. Низковольтный стабилизатор напряжения / С. Дубовой // Радиомир. — 2003. — № 4. — С. 18.
- 6-44. Петраков, О. Устройство защиты / О. Петраков // Радио. — 2005. — № 3. — С. 24.
- 6-45. Нечаев, И. Устройство защиты радиоаппаратуры от превышения питающего напряжения / Игорь Нечаев // Радио. — 2005. — № 1. — С. 54–55.
- 6-46. Бутов, А. Защита радиоаппаратуры от перенапряжений / Андрей Бутов // Радиомир. — 2004. — № 4. — С. 11-12.

- 6-47. Мовсум-Заде, К. Простой электронный предохранитель / К. Мовсум-Заде // Радио. — 2003. — № 9. — С. 39.
- 6-48. Thiesler, K. J. Battery Polarity Protection / K. J. Thiesler // Elektor Electronics. — 2004. — № 7–8. — P. 110–111.
- 6-49. DT94-8. Reverse Battery Protection With HEXFETs Doubles Battery Life. Design Tips [Электронный ресурс] / International Rectifier. — Режим доступа: <http://www.irf.com/technical-info/designntp/dt94-8.pdf> (англ.). — 05.07.2009.
- 6-50. Finesse Voltage Regulator Noise! [Электронный ресурс] / Wenzel Associates Inc. — Режим доступа: <http://www.wenzel.com/documents/finesse.html> (англ.). — 05.07.2009.
- 6-51. Кашкаров, А. Сетевой фильтр не только для ПК / Андрей Кашкаров // Радиомир. — 2003. — № 7. — С. 17.
- 6-52. Пахомов, А. Квазисенсорные выключатели питания / А. Пахомов // Радио. — 2004. — № 1. — С. 22–23.
- 6-53. Дайджест зарубежной периодики. Звуковой процессор для улучшения селективности при прослушивании телеграфных сигналов // Радиолюбби. — 2003. — № 5. — С. 21–22.
- 6-54. Kincaid, R. Q & A (Mailbag) / Russell Kincaid, William D. McMurray // Nuts & Volts. — 2008. — № 7. — P. 28.
- 6-55. Турчинский, Д. Аварийная подзарядка аккумуляторной батареи сотового телефона / Д. Турчинский // Радио. — 2007. — № 2. — С. 43.
- 6-56. Медведев, А. Электромеханические автономные источники питания / Александр Медведев, Александр Кисляков // Схемотехника. — 2004. — № 6. — С. 40–41.
- 6-57. Бутов, А. Л. Нормализатор разностного напряжения / Андрей Бутов // Радиоаматор. — 2004. — № 1. — С. 34.
- 6-58. Кашкаров, А. Блок питания из телевизора / Андрей Кашкаров // Радиомир. — 2004. — № 9. — С. 18–19.
- 6-59. Балинский, Р. Н. Частотно-зависимый компрессор для приёмников проводного вещания / Руслан Балинский // Радиоаматор. — 2004. — № 3. — С. 50–51.
- 6-60. Красносельский, Д. Стоп-сигнал «Бегущие огни» / Денис Красносельский // Радиолюбитель. — 2005. — № 10. — С. 22–23.

## СХЕМЫ, НЕ РЕКОМЕНДУЕМЫЕ К ПРИМЕНЕНИЮ

*Не всякой находке радуйся!  
(Словарь Владимира Даля)*

### 7.1. Общие критерии и факторы

Как известно, человек учится на ошибках: реже чужих, чаще своих. Электронщику эти слова словно бальзам на душу после очередного неудачного опыта...

В данном разделе будут представлены электрические схемы, которые содержат подводные камни, иногда приводящие к фатальным разрушениям радиоэлементов, иногда к ухудшению экономичности, иногда к снижению помехоустойчивости, иногда к риску аварии в будущем. Отягощающими факторами являются: невнимательность разработчика, отсутствие базовых знаний, а также слепое копирование чужих технических идей.

Тем не менее, многие «неправильные» микроконтроллерные схемы годами успешно применяются на практике, и работают, не вызывая нареканий. Их создатели даже и не подозревают, что «ходят по лезвию бритвы» и не знают, что существуют другие решения, солиднее, надёжнее, эффективнее. Почему же МК в аппаратуре проявляют чудеса жизнестойкости? Причин несколько.

**Законы теории вероятности.** Неблагоприятные события, приводящие к аварии, могут произойти, но, благодаря малой вероятности, не происходят. Скорее всего отрезок времени наблюдения слишком короткий. Ситуация примерно такая же, как с падением метеорита на голову человека. Вероятность этого печального события существует, но ведь никто на улице железный зонт над собой не носит.

**Длительность неблагоприятного воздействия.** Если нагрузка по току одного из выходов МК превышает норму, то кристалл микросхемы при кратковременном воздействии не успевает разогреться до критической температуры и ничего фатального не происходит. Прямо как в известном афоризме: «Предмет, который быстро подняли с пола, — не падал». Другое дело, что каждый выход параметров за допустимые нормы исподволь укорачивает назначенный ресурс работы МК. Ни одному электронному устройству превышение режимов на пользу не идёт.

**Технологический запас.** Разброс электрических параметров МК зависит от номера партии микросхемы, от даты изготовления и даже от страны, где размещается производство. Но в любом случае параметры должны укладываться в допуск, указанный в даташите. Фирма-поставщик заинтересована в том, чтобы от потребителей не было нареканий. Однако, микросхема микросхеме рознь. Следовательно, МК, имеющий достаточный технологический запас, будет нормально работать в конкретной схеме, а МК, не имеющий запаса, может давать сбои. Мудрость опытного разработчика как раз и заключается в том, чтобы обеспечить



надёжную работу устройства при любых допустимых отклонениях параметров, в том числе и при «нулевом» технологическом запасе.

**Конструктивный запас.** Характеристики в даташитах приводятся для полного диапазона температур, напряжений, входных частот. Но любительские приборы чаще всего эксплуатируются в «тепличных» температурных условиях при стабильном питании и низком уровне помех. Получается, что МК работает в облегчённом режиме, следовательно, многие его параметры будут выше минимально допустимых по документации. Отсюда возникают парадоксы, когда схема успешно запускается «на столе», а в эксплуатации на объекте — не хочет.

Теоретические выкладки можно подкрепить конкретным примером.

Как известно, МК Atmel ATmega128 допускает согласно даташиту тактовую частоту не более 16 МГц. Почему именно 16, а не 16.2 или 16.5 МГц? Очевидно, что «круглое» число выбрано условно, как легко запоминающееся. Рассчитать точное значение предельной частоты до десятых долей мегагерца нельзя, по крайней мере, при существующем уровне развития техники.

Реальная практика показывает, что МК Atmel ATmega128 (и другие микросхемы семейства ATmega) устойчиво запускаются при небольшом выходе тактовой частоты за максимум. В частности, они годами нормально функционируют на частоте 16.384 МГц (подтверждённый факт). Налицо технологический запас, который подкрепляется ещё и конструктивным запасом, если МК работает при комнатной температуре и стабильном питании.

Минус такого решения — в случае поломки не удастся предъявить претензию изготовителю и потребовать гарантийную замену МК, потому что формально микросхема работает с превышением режима. Для радиолюбителей данный момент не существенен, чего нельзя сказать о крупных поставщиках продукции.

Ещё один довод против «разгона» частоты МК — это разработка продукции специального назначения. Там, наоборот, тактовую частоту рекомендуют не повышать, а понижать с 16 до 12.8...14.4 МГц (коэффициент запаса 0.8...0.9).

## 7.2. Условные обозначения и пример анализа

Можно ли утверждать, что неудачные схемы не требуют пояснений? В книге [7-1] так и сделано в расчёте на то, что читатель будет самостоятельно анализировать, думать, исследовать, сравнивать, проводить вычисления. Это вариант экстремального обучения «щенка плаванию», и он хорошо приживается в студенческой и научной аудитории. Если рассчитывать на массового читателя, то краткие подсказки, думается, будут полезны, ибо в микроконтроллерных схемах не всё так очевидно и прозрачно.

Для начала следует визуально отделить «неправильные» схемы от «правильных». Здесь и далее они будут нарисованы с наклоном графики вправо под углом  $17^\circ$  к вертикальной оси.

После этого надо определиться с методологией анализа схем. Идеальным вариантом было бы их полное исследование и расчёт с математическими выкладками. Но, с другой стороны, можно применить и упрощённый вариант анализа, разбив задачу на три условные части: А, Б, В по аналогии с [7-2].

Образец для примера.

**Часть А** (формулировка начальных условий).

На Рис. 7.1, а показана схема, в которой реле *K1* автоматически перебрасывает цепи питания «плюс» и «минус» в нужной полярности. Тип реле *K1* выбирается в зависимости от тока нагрузки по цепи +5 В. На диоде Шоттки *VD1* падает 0.2 В.

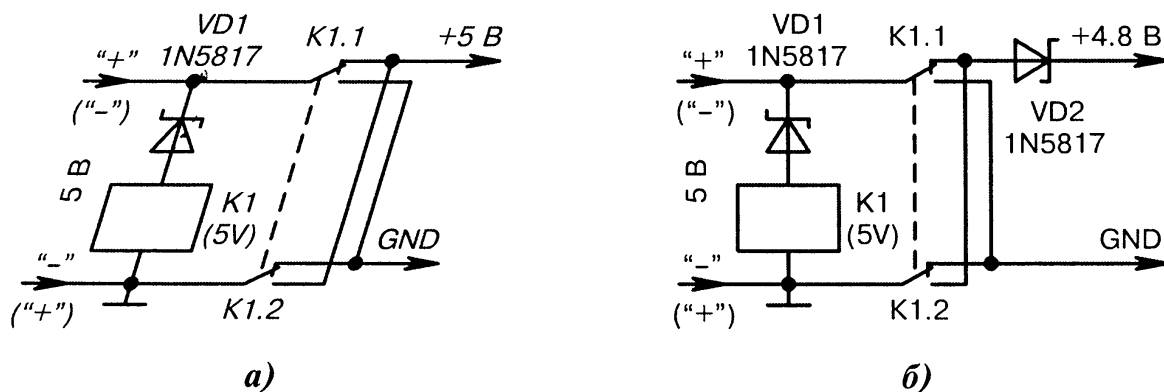


Рис. 7.1. Схема автоматической смены полярности питания:  
а) не рекомендуемая, б) рекомендуемая.

**Часть Б** (предварительный анализ схемы).

Если на верхний по схеме вход подаётся «плюс», а на нижний — «минус», то реле *K1* обесточено (за счёт диода *VD1*) и питание на выход поступает через нормально замкнутые контакты *K1.1*, *K1.2*. Если на верхний по схеме вход подаётся «минус», а на нижний — «плюс», то срабатывает реле *K1* и его контакты перекидывают питание в противоположную сторону.

Ход мысли правильный, но не учитывается инерционность реле. Дело в том, что от момента подачи напряжения на реле до момента перебрасывания его контактов должно пройти некоторое время (десятки миллисекунд). Следовательно, в этот период на устройство будет подан короткий импульс противоположной полярности. Все ли ЭРИ выдержат такой «краш-тест» — большой вопрос.

**Часть В** (варианты разрешения проблемы).

На Рис. 7.1, б приведена схема, которая отличается от предыдущей наличием диода *VD2*. Он гарантированно защищает цепь +4.8 В от отрицательной полярности питания. Обратная сторона медали заключается в снижении выходного напряжения примерно на 0.2 В, которое к тому же будет изменяться в зависимости от температуры окружающей среды и тока нагрузки. Альтернативные схемы переброса полярности питания показаны ранее на Рис. 6.21, а...и.

## 7.3. Коллекция не рекомендуемых схем

На Рис. 7.2, а...р дана подборка схем, которые при тех или иных условиях (режимах) не рекомендуются к применению. Пояснения к схемам даются краткие, но с конкретными рекомендациями по выходу из положения. Более детальный анализ их работы с этапами А, Б, В предлагается провести самостоятельно в качестве «гимнастики для ума».

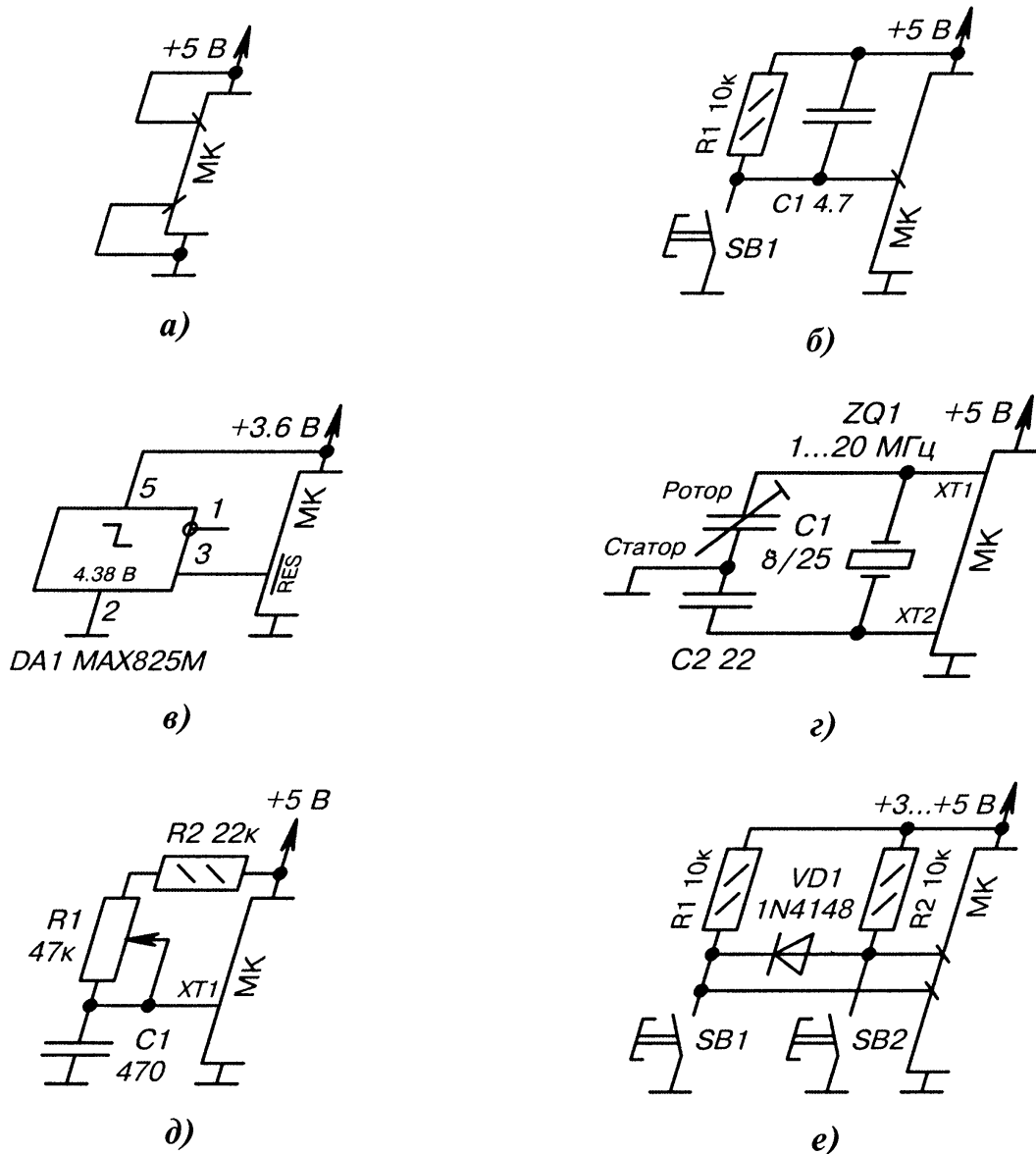


Рис. 7.2. Схемы, не рекомендуемые к применению (начало):

а) при ошибках в программе (линии «входа» перенастраиваются в режим «выхода») может выйти из строя МК из-за превышения тока нагрузки. Надо было последовательно с линиями поставить резисторы 200 Ом или не подключать их никуда, активизировав «pull-up» резисторы;

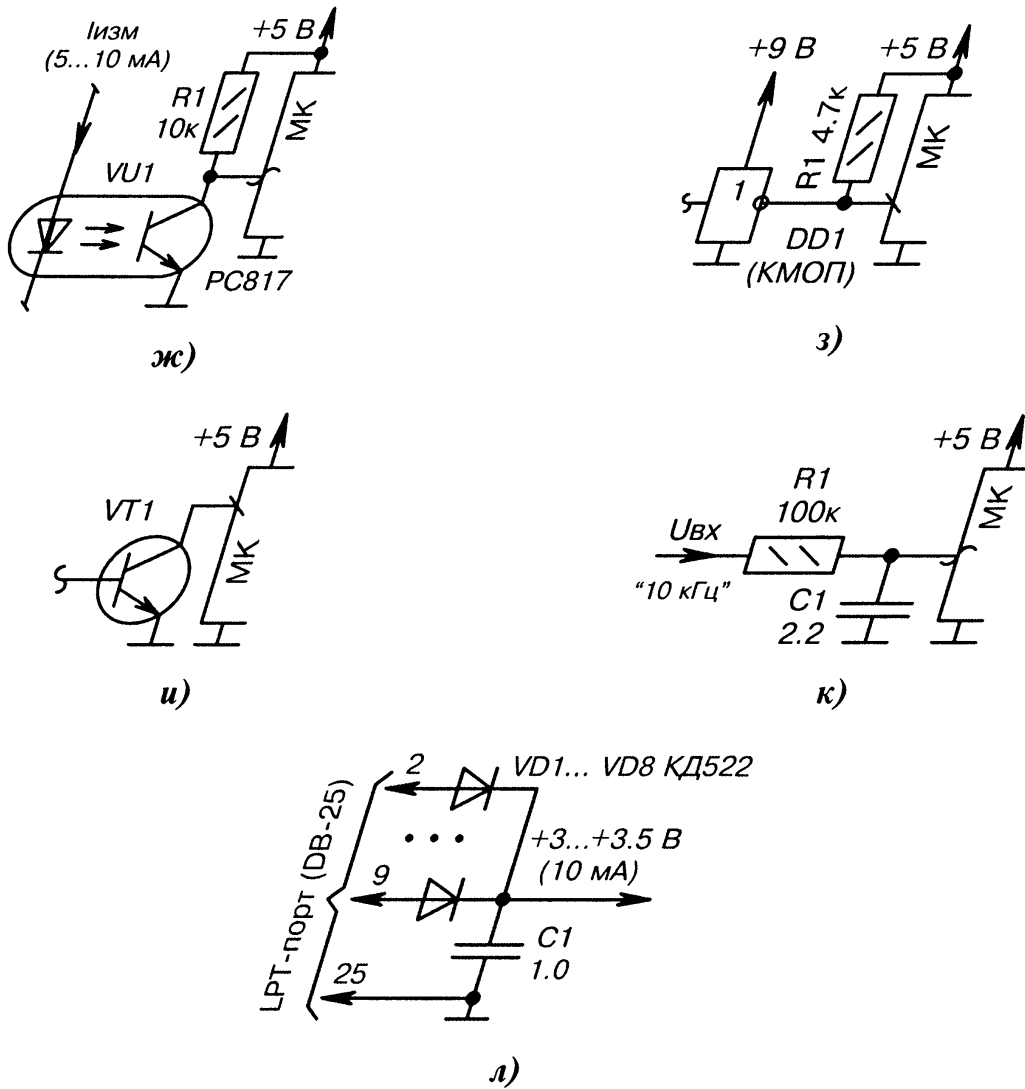
б) при нажатии кнопки *SB1* в начальный момент времени через её контакты протекает большой импульсный ток заряда конденсатора *C1*. Надо было поставить последовательно с кнопкой *SB1* резистор сопротивлением 100...200 Ом или уменьшить ёмкость конденсатора *C1*;

в) неверная полярность выходного сигнала детектора BOD *DA1*. Надо было использовать инверсный выход (вывод 1). Кроме того, порог срабатывания BOD выше, чем напряжение питания. Надо было применить микросхему *DA1* MAX825R с порогом 2.63 В;

г) если вращать ротор конденсатора *C1* металлической отвёрткой, то частота генерации будет «плавать». Надо было физически поменять ротор и статор конденсатора местами [7-3];

д) в цепь *XT1* при вращении ручки резистора *R1* может вноситься паразитная ёмкость тела человека относительно «земли». Надо было физически поменять местами резисторы *R1*, *R2*;

е) при нажатии кнопки *SB1* автоматически блокируется кнопка *SB2* через открытый диод *VD1*. Надо было удалить диод, поскольку кнопка *SB2* подключается к отдельной линии порта и её легко заблокировать программно сразу же после обнаружения факта нажатия кнопки *SB1*; ☹



⊖ Рис. 7.2. Схемы, не рекомендуемые к применению (продолжение):

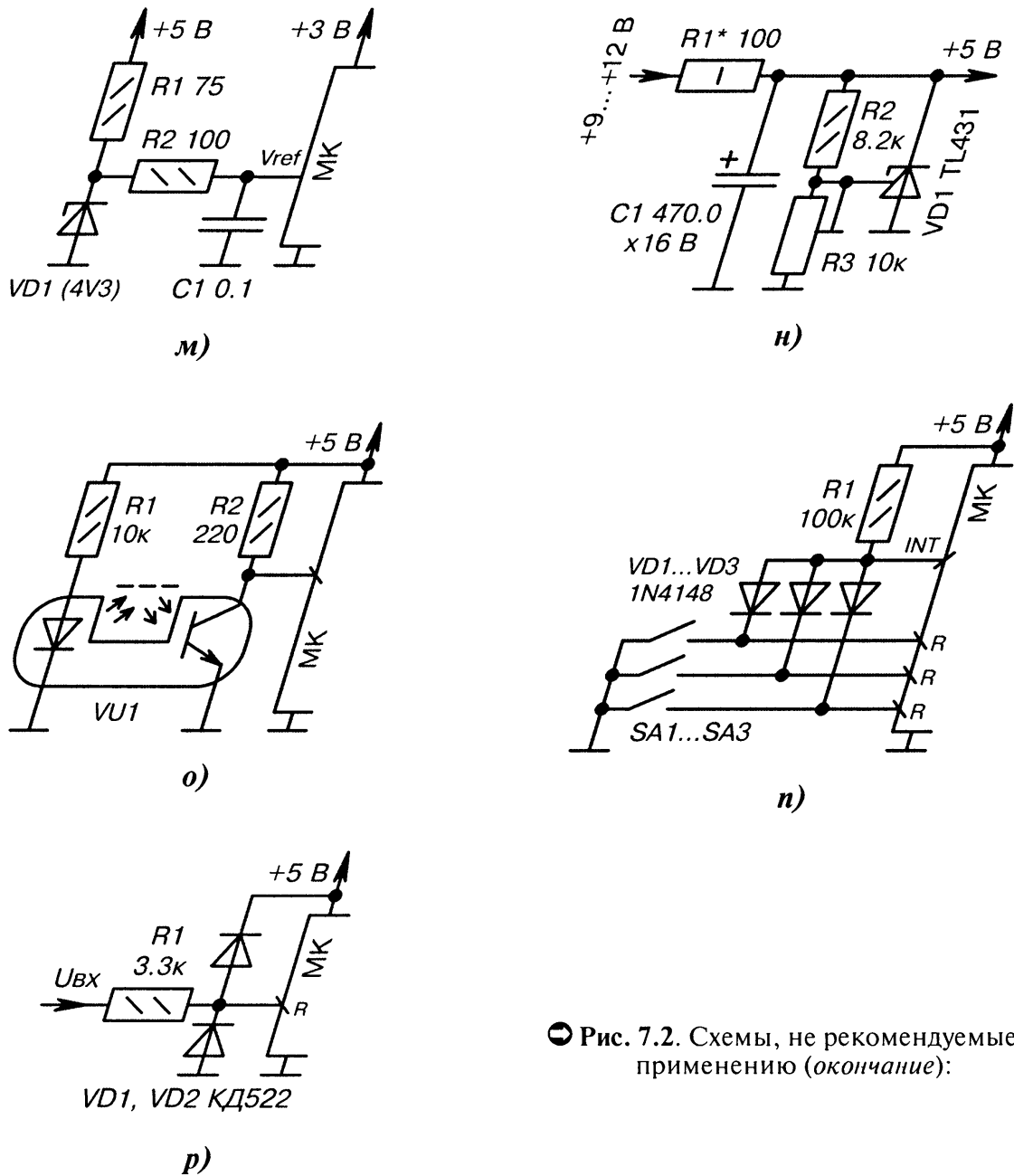
ж) через диод оптопары *VU1* протекает измерительный ток 5...10 мА, следовательно, при разбросе коэффициента передачи оптопары в пределах 50...600%, через её транзистор теоретически должен протекать ток 2.5...60 мА. Из-за большого сопротивления резистора *R1* этот ток равен примерно 0.5 мА и транзистор оптопары всегда открыт. Надо было уменьшить на порядок сопротивление резистора *R1*, а также выбрать оптопару с узким диапазоном коэффициента передачи;

з) поскольку логический элемент *DD1* питается от повышенного напряжения +9 В, то резистор *R1* бесполезен. Надо было его поставить не параллельно, а последовательно входу МК. Сопротивление резистора выбирается в зависимости от нагрузочной способности элемента *DD1* (если у *DD1* «сверхслабый» КМОП-выход, то напряжение ВЫСОКОГО уровня с +9 В может уменьшиться до допустимых +5.3 В даже при нулевом сопротивлении резистора);

и) вход МК не имеет внутреннего «pull-up» резистора, поэтому сигнал ВЫСОКОГО уровня при закрытом транзисторе *VT1* будет неустойчивым (КМОП-вход «висит в воздухе»). Надо было поставить внешний резистор между входом МК и питанием сопротивлением 1...100 кОм;

к) частота входного сигнала 10 кГц не согласована с параметрами ФНЧ, образованного элементами *R1*, *C1*. Схема годится для работы с низкочастотными сигналами, а для частоты 10 кГц надо было на два порядка уменьшить сопротивление резистора *R1* и ёмкость конденсатора *C1*;

л) на диодах *VD1...VD8* теряется достаточно много мощности, которой и так мало при работе со «слабым» LPT-портом. Надо было заменить *VD1...VD8* диодами Шоттки 1N5818 [7-4]; ⊖



⊖ Рис. 7.2. Схемы, не рекомендуемые к применению (окончание):

м) на вход  $V_{REF}$  МК подаётся напряжение выше питания. Диапазон измерения АЦП от этого не увеличивается, а повредить МК можно, особенно при низких сопротивлениях резисторов  $R1$ ,  $R2$ . Надо было уменьшить  $V_{REF}$  до +2.7...+3 В выбором другого типа стабилитрона  $VD1$ ;

н) движок подстроечного резистора  $R3$  можно случайно установить в нижнее по схеме положение, при этом его сопротивление станет нулевым и напряжение на выходе увеличится гораздо больше, чем +5 В. Надо было физически поменять местами резисторы  $R2$  и  $R3$ ;

о) оптопара  $VU1$  не будет регистрировать отражённый световой поток из-за неверно выбранных сопротивлений резисторов. Надо было физически поменять местами резисторы  $R1$ ,  $R2$ ;

п) на входе INT не будет фиксироваться, как задумано, момент нажатия любой из кнопок  $SB1...SB3$ . Надо было программно изменить полярность входа INT на противоположную ( $\overline{INT}$ );

р) диоды  $VD1$ ,  $VD2$  имеют ВАХ примерно такую же, как и внутренние диоды МК. Следовательно, внешние диоды слабо защищают МК от всплесков напряжения. Надо было поставить между диодами и входом МК ещё один ограничительный резистор 0.3...1 кОм или применить вместо  $VD1$ ,  $VD2$  диоды Шоттки типа BAT85, BAT54S.

## **Список использованных источников и литературы к главе 7**

- 7-1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. / Пауль Хоровиц, Уинфилд Хилл — М. : Мир, 2003. — 704 с. — ISBN 5-03-003395-5.
- 7-2. Маковецкий, П. В. Смотри в корень!: Сборник любопытных задач и вопросов / Пётр Маковецкий. — М. : Наука, 1979. — 384 с.
- 7-3. Рюмик, С. М. Спрашиваете? Отвечаем! / Сергей Рюмик // Радиоаматор. — 2009. — № 6. — С. 30–31.
- 7-4. Рюмик, С. Как подключить к компьютеру джойстик от игровой приставки / Сергей Рюмик // Радио. — 2003. — № 12. — С. 28–29.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## СОДЕРЖАНИЕ КОМПАКТ-ДИСКА

*Знание — сила!*  
(Фрэнсис Бэкон)

Возможности компьютерной техники позволяют вынести в приложение значительный объём справочного материала, полезного при изучении настоящей книги. Если гипотетически распечатать все файлы, содержащиеся на прилагаемом компакт-диске, то получится несколько пухлых томов убористого текста.

Файлы сгруппированы по тематическим папкам. К теоретической части книги относятся папки со свободно распространяемыми компиляторами языка Си (папки «WinAVR», «MikroC») и с оболочками программаторов (папка «Programmers»).

Практическую часть книги рекомендуется изучать совместно с даташитами на ЭРИ (папка «Datasheets»). Это подборка файлов с расширением \*.pdf, просмотреть которые можно, например, программой из папки «Foxit Reader».

Отдельной папкой «Other» выделены дополнительные материалы, которые могут пригодиться при самостоятельном изучении МК по журналам.

Все приведенные программы и технические данные свободно доступны в Интернете и не имеют ограничений по сроку использования. Последние версии программ и даташитов можно найти по ключевым словам названий через поисковые сайты, например, DatasheetCatalog (<http://www.datasheetcatalog.com>), Google (<http://www.google.com/>), Yandex (<http://www.yandex.ru/>) и т.д.

### Папка «WinAVR»

Папка содержит три инсталляционных пакета среды WinAVR для языка Си к AVR-контроллерам (руководитель проекта Eric B. Weddington):

- WinAVR-20060421 (стабильная версия с компилятором AVR-GCC-3);
- WinAVR-20070525 (стабильная версия с компилятором AVR-GCC-4.1);
- WinAVR-20090313 (текущая версия с компилятором AVR-GCC-4.3.0).

### Папка «MikroC»

Папка содержит две демо-версии компилятора MikroC для PIC-контроллеров (фирма «mikroElektronika»):

- MikroC-8.2.0.0 (стабильная версия 2008 г., старый синтаксис);
- MikroC-Pro-2.50 (текущая версия 2009 г., новый синтаксис).

## Папка «Datasheets»

Папка содержит файлы справочных данных (даташитов) на радиоэлементы, встречающиеся в электрических схемах настоящей книги, а также на их возможные замены и аналоги. Названия файлов переименованы так, чтобы легче было проводить поиск и сортировку по первым буквам (цифрам) названия ЭРИ.

Дефис между цифрами в названиях файлов означает, что даташит относится к целой линейке ЭРИ с примерно одинаковыми параметрами. Например, файл «1N5817-5819.pdf» относится к диодам Шоттки 1N5817, 1N5818, 1N5819.

Подстрочная черта между цифрами в названиях файлов означает, что даташит относится к конкретным ЭРИ. Например, файл «LB1403\_13\_23\_33\_43.pdf» относится к микросхемам LB1403N, LB1413N, LB1423N, LB1433N, LB1443N.

## Папка «Foxit Reader»

Папка содержит свободно распространяемую и безлимитную по сроку действия программу Foxit Reader-3.1 (фирма «Foxit Corporation»), которая предназначена для просмотра файлов даташитов с расширением \*.pdf.

## Папка «Programmers»

Папка содержит установочные файлы оболочек программирования, которые перечислены в Табл. 2.3:

- «USB-Programmer Amadeus UPAL», версия 2.0 (Bernhard Michelis);
- «IC-Prog», версия 1.06B (Bonny Gijzen);
- «PonyProg2000», версия 2.07c (Claudio Lanconelli);
- «Willem Eprom», версия 0.97ja (Mike Coates & other);
- «WinPic800», версия 3.64 (Fransisco Benach Font).

## Папка «Other»

Папка содержит дополнительные авторские материалы к циклам статей про МК для начинающих из журнала «Радиоаматор» за 2004...2009 гг.



# ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## ССЫЛКИ И АДРЕСА В ИНТЕРНЕТЕ

*Знание бывает двух видов. Мы сами знаем предмет или же знаем, где найти о нём сведения  
(Бенджамин Франклин)*

В Табл. П2.1, Табл. П2.2 приведены списки печатных изданий разных лет выпуска, которые рассматривались при составлении электрических схем настоящей книги. Некоторые журналы уже не выпускаются. Это, в частности, «Радиопарад», «Радиолюбитель. Ваш компьютер», «Радиомир. Ваш компьютер», «Схемотехника».

**Таблица П2.1. Интернет-адреса печатных изданий стран СНГ**

Журнал	Страна (город)	Интернет-адрес на 05.07.2009 г.
Радиоаматор Радиокомпоненты Радиопарад Электрик	Украина (г.Киев)	<a href="http://www.ra-publish.com.ua/">http://www.ra-publish.com.ua/</a>
Радио	Россия (г.Москва)	<a href="http://www.radio.ru/">http://www.radio.ru/</a>
Радиodelo	Россия (г.Москва)	<a href="http://www.radiodelo.com/">http://www.radiodelo.com/</a>
Радиоконструктор	Россия (г.Вологда)	<a href="mailto:radiocon@vologda.ru">radiocon@vologda.ru</a>
Радиолюбитель	Беларусь (г.Минск)	<a href="http://radioliga.com/">http://radioliga.com/</a>
Радиомир Радиомир. Ваш компьютер Радиолюбитель. Ваш компьютер	Беларусь (г.Минск), Россия (г.Москва)	<a href="http://radio-mir.com/">http://radio-mir.com/</a>
Радиосхема	Украина (г.Киев)	<a href="mailto:radioshema@ukr.net">radioshema@ukr.net</a>
Радиоhobby	Украина (г.Киев)	<a href="http://radiohobby.ldc.net/">http://radiohobby.ldc.net/</a>
Современные технологии автоматизации	Россия (г.Москва)	<a href="http://www.cta.ru/">http://www.cta.ru/</a>
Схемотехника	Россия (г.Москва)	<a href="http://www.dian.ru/">http://www.dian.ru/</a> (адрес до 2008 г.)
CHIP NEWS Украина	Украина (г.Киев)	<a href="http://chipnews.com.ua/">http://chipnews.com.ua/</a>

**Таблица П2.2. Интернет-адреса печатных изданий дальнего зарубежья**

Журнал	Страна	Интернет-адрес на 05.07.2009 г.
Circuit Cellar	США	<a href="http://www.circuitcellar.com/">http://www.circuitcellar.com/</a>
Elektor Electronics	Великобритания	<a href="http://www.elektor.com/">http://www.elektor.com/</a>
Elektronika Praktyczna	Польша	<a href="http://www.ep.com.pl/">http://www.ep.com.pl/</a>
Everyday Practical Electronics	Великобритания, США	<a href="http://www.epemag.com/">http://www.epemag.com/</a>
Funkamateurl	Германия	<a href="http://www.funkamateurl.de/">http://www.funkamateurl.de/</a>
Nuts & Volts	США	<a href="http://www.nutsvolts.com/">http://www.nutsvolts.com/</a>

В Табл. П2.3, Табл. П2.4 приведены списки фирм дальнего зарубежья и стран СНГ, которые упоминаются в книге. В основном это изготовители ЭРИ.

*Таблица П2.3. Интернет-адреса фирм дальнего зарубежья, которые упоминаются в книге*

Фирма	Интернет-адрес на 05.07.2009 г.
Advances Photonics	<a href="http://www.advancedphotonix.com/">http://www.advancedphotonix.com/</a>
Allegro MicroSystems	<a href="http://www.allegromicro.com/en/">http://www.allegromicro.com/en/</a>
Ampson Technology	<a href="http://www.ampson.com.tw/english/">http://www.ampson.com.tw/english/</a>
Analog Devices	<a href="http://www.analog.com/">http://www.analog.com/</a>
Atmel	<a href="http://www.atmel.com/">http://www.atmel.com/</a>
Avago Technologies	<a href="http://www.avagotech.com/">http://www.avagotech.com/</a>
BEI Duncan Electronics Division	<a href="http://www.beiduncan.com/">http://www.beiduncan.com/</a>
Burr-Brown	Сейчас в составе фирмы Texas Instruments
California Micro Devices	<a href="http://calmicro.com/">http://calmicro.com/</a>
Calogic Corporation	<a href="http://www.calogic.net/">http://www.calogic.net/</a>
Cardinal Components	<a href="http://www.cardinalxtal.com/">http://www.cardinalxtal.com/</a>
Clare	<a href="http://www.clare.com/">http://www.clare.com/</a>
CTS Corporation	<a href="http://www.ctscorp.com/">http://www.ctscorp.com/</a>
Cygnal Integrated	Сейчас в составе фирмы Silicon Laboratories
Dallas Semiconductor	Сейчас в составе фирмы Maxim/Dallas
Diodes Incorporated	<a href="http://www.diodes.com/">http://www.diodes.com/</a>
ELNA	<a href="http://www.elna.america.com/">http://www.elna.america.com/</a>
EPCOS	<a href="http://www.epcos.com/">http://www.epcos.com/</a>
Fairchild	<a href="http://www.fairchild.com/">http://www.fairchild.com/</a>
Figaro Engineering	<a href="http://www.figarosensor.com/">http://www.figarosensor.com/</a>
Foxit Corporation	<a href="http://www.foxitsoftware.com/">http://www.foxitsoftware.com/</a>
Freescale Semiconductor	<a href="http://www.freescale.com/">http://www.freescale.com/</a>
Fujitsu	<a href="http://www.fujitsu.com/">http://www.fujitsu.com/</a>
Fuzetec Technology	<a href="http://www.fuzetec.com/">http://www.fuzetec.com/</a>
Grayhill	<a href="http://www.grayhill.com/">http://www.grayhill.com/</a>
Hamamatsu Photonics	<a href="http://www.hamamatsu.com/">http://www.hamamatsu.com/</a>
Hamlin Electronics	<a href="http://www.hamlin.com/">http://www.hamlin.com/</a>
Hewlett Packard	<a href="http://www.hp.com/">http://www.hp.com/</a>
Hitachi	<a href="http://www.hitachi.com/">http://www.hitachi.com/</a>
Hitano Enterprise	<a href="http://www.hitano.com.tw/">http://www.hitano.com.tw/</a>
Honeywell	<a href="http://www51.honeywell.com/">http://www51.honeywell.com/</a>
Infineon Technologies	<a href="http://www.infineon.com/">http://www.infineon.com/</a>
Intel	<a href="http://www.intel.com/">http://www.intel.com/</a>
Intersema Sensoric	<a href="http://www.intersema.ch/">http://www.intersema.ch/</a>
Intersil	<a href="http://www.intersil.com/">http://www.intersil.com/</a>
Intertec Components	<a href="http://www.intertec-components.de/">http://www.intertec-components.de/</a>
IXYS	<a href="http://www.ixys.com/">http://www.ixys.com/</a>
Kingbright	<a href="http://www.kingbright.com/">http://www.kingbright.com/</a>
Laser Components	<a href="http://www.lasercomponents.com/">http://www.lasercomponents.com/</a>
LEM	<a href="http://www.lem.com/">http://www.lem.com/</a>
Littelfuse	<a href="http://www.littelfuse.com/">http://www.littelfuse.com/</a>

## Продолжение таблицы П2.3.

Фирма	Интернет-адрес на 05.07.2009 г.
Maxim Integrated Products	Сейчас в составе фирмы Maxim/Dallas
Maxim/Dallas	<a href="http://www.maxim-ic.com/">http://www.maxim-ic.com/</a>
Maxwell Technologies	<a href="http://maxwell.com/">http://maxwell.com/</a>
Mean Well	<a href="http://www.meanwell.com/">http://www.meanwell.com/</a>
Melexis	<a href="http://www.melexis.com/">http://www.melexis.com/</a>
Micrel	<a href="http://www.micrel.com/">http://www.micrel.com/</a>
Microchip Technology	<a href="http://www.microchip.com/">http://www.microchip.com/</a>
mikroElektronika	<a href="http://www.mikroe.com/">http://www.mikroe.com/</a>
Mitel	<a href="http://www.mitel.com/">http://www.mitel.com/</a>
Mitsubishi Electric	<a href="http://www.mitsubishielectric.com/">http://www.mitsubishielectric.com/</a>
Motorola	<a href="http://www.motorola.com/">http://www.motorola.com/</a>
Murata Manufacturing	<a href="http://www.murata.com/">http://www.murata.com/</a>
National Semiconductor	<a href="http://www.national.com/">http://www.national.com/</a>
NEC	<a href="http://www.nec.com/">http://www.nec.com/</a>
NXP Semiconductors	<a href="http://www.nxp.com/">http://www.nxp.com/</a>
OKI	<a href="http://www.oki.com/">http://www.oki.com/</a>
Olimex	<a href="http://www.olimex.com/">http://www.olimex.com/</a>
Omega Engineering	<a href="http://www.omega.com/">http://www.omega.com/</a>
Omnivision	<a href="http://www.ovt.com/">http://www.ovt.com/</a>
ON Semiconductor	<a href="http://www.onsemi.com/">http://www.onsemi.com/</a>
OSRAM	<a href="http://www.osram.com/">http://www.osram.com/</a>
Panasonic	<a href="http://www.panasonic.com/">http://www.panasonic.com/</a>
Parallax	<a href="http://www.parallax.com/">http://www.parallax.com/</a>
Philips	<a href="http://www.philips.com/">http://www.philips.com/</a>
Piher International	<a href="http://www.piher-nacesa.com/">http://www.piher-nacesa.com/</a>
Pletronics	<a href="http://www.pletronics.com/">http://www.pletronics.com/</a>
Power Integrations	<a href="http://www.powerint.com/">http://www.powerint.com/</a>
Promis Electro Optics	<a href="http://www.promis-electro-optics.com/">http://www.promis-electro-optics.com/</a>
Quantum Research Group	Сейчас в составе фирмы Atmel, <a href="http://www.qprox.com/">http://www.qprox.com/</a>
Recom	<a href="http://www.rcom-international.com/">http://www.rcom-international.com/</a>
RF Solutions	<a href="http://www.rfsolutions.co.uk/">http://www.rfsolutions.co.uk/</a>
ROHM	<a href="http://www.rohm.com/">http://www.rohm.com/</a>
Sanyo	<a href="http://www.sanyo.com/">http://www.sanyo.com/</a>
Scenix	Сейчас в составе фирмы Uvicom
SGS-THOMSON	Сейчас в составе фирмы STMicroelectronics
Sensirion	<a href="http://www.sensirion.com/">http://www.sensirion.com/</a>
Silicon Laboratories	<a href="http://www.silabs.com/">http://www.silabs.com/</a>
SparkFun Electronics	<a href="http://www.sparkfun.com/">http://www.sparkfun.com/</a>
Speake & Co Llanfapley	<a href="http://www.speakesensors.com/">http://www.speakesensors.com/</a>
Standard Oil Company	Сейчас в составе нескольких фирм
STMicroelectronics	<a href="http://www.st.com/">http://www.st.com/</a>
Supertex	<a href="http://www.supertex.com/">http://www.supertex.com/</a>
Switronic Industrial Corp.	<a href="http://www.switronic.com/">http://www.switronic.com/</a>
TelCom Semiconductor	Сейчас в составе фирмы Microchip

Окончание таблицы П2.3.

Фирма	Интернет-адрес на 05.07.2009 г.
Telefunken	<a href="http://www.telefunken-tv.eu/">http://www.telefunken-tv.eu/</a>
Texas Instruments	<a href="http://www.ti.com/">http://www.ti.com/</a>
TME	<a href="http://www.tmc.eu/ru/">http://www.tmc.eu/ru/</a>
Ubicom	<a href="http://www.ubicom.com/">http://www.ubicom.com/</a>
Unisonic Technologies	<a href="http://www.unisonic.com.tw/">http://www.unisonic.com.tw/</a>
Vishay	<a href="http://www.vishay.com/">http://www.vishay.com/</a>
VTI Technologies	<a href="http://www.vti.fi/en/">http://www.vti.fi/en/</a>
Winbond	<a href="http://www.winbond.com/">http://www.winbond.com/</a>
YCL Electronics	<a href="http://www.ycl.com.tw/">http://www.ycl.com.tw/</a>
Zetex Semiconductors	Сейчас в составе фирмы Diodes Incorporated
Zilog	<a href="http://www.zilog.com/">http://www.zilog.com/</a>

Таблица П2.4. Интернет-адреса фирм стран СНГ, которые упоминаются в книге

Фирма	Интернет-адрес на 05.07.2009 г.
ЗАО «ЭСМА»	<a href="http://www.esma-cap.com/">http://www.esma-cap.com/</a>
НПО «Интеграл»	<a href="http://www.integral.by/">http://www.integral.by/</a>
ОАО «Ангстрем»	<a href="http://www.angstrem.ru/">http://www.angstrem.ru/</a>
ОАО «Кварц»	<a href="http://www.quartz.cv.ua/">http://www.quartz.cv.ua/</a>
ОАО «Лтава»	<a href="http://www.ltava.com.ua/">http://www.ltava.com.ua/</a>
ОАО РЗМКП	<a href="http://www.rmcp.ru/">http://www.rmcp.ru/</a>

# ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## СПИСОК АББРЕВИАТУР

*Last but not least*  
(«Последний по счету, но не по важности»)

АМ — амплитудная модуляция  
АОН — автоматический определитель номера  
АТС — автоматическая телефонная станция  
АЦП — аналого-цифровой преобразователь  
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика  
БИС — большая интегральная схема  
ВАХ — вольт-амперная характеристика  
ВЧ — высокочастотный  
ДВ — длинные волны  
ДУ — дистанционное управление  
ЖКИ — жидкокристаллический индикатор  
ИК — инфракрасный  
ИОН — источник опорного напряжения  
КВ — короткие волны  
КМОП — комплементарная структура «металл-оксид-полупроводник»  
КПД — коэффициент полезного действия  
МК — микроконтроллер  
МОП — металл-оксид-полупроводник  
НЧ — низкочастотный  
ОЗУ — оперативное запоминающее устройство  
ОУ — операционный усилитель  
ПЗУ — постоянное запоминающее устройство  
ПИД — пропорционально-интегрально-дифференциальный  
ПКР — пьезокерамический резонатор  
ПЛИС — программируемая логическая интегральная схема  
ПСП — псевдослучайная последовательность  
РТЛ — резисторно-транзисторная логика  
СБИС — сверхбольшая интегральная схема  
СВ — средние волны  
СВЧ — сверхвысокочастотный  
СП — сигнальный процессор  
ТКС — температурный коэффициент сопротивления  
ТСоП — телефонная сеть общего пользования  
ТТЛ — транзисторно-транзисторная логика  
УКВ — ультракороткие волны

- УНЧ — усилитель низкой частоты
- ФАПЧ — фазовая автоподстройка частоты
- ФВЧ — фильтр высоких частот
- ФНЧ — фильтр низких частот
- ЦАП — цифроаналоговый преобразователь
- ЦПУ — центральное процессорное устройство
- ЦТС — цирконат-титанат свинца
- ЧМ — частотная модуляция
- ШИМ — широтно-импульсная модуляция
- ЭВМ — электронная вычислительная машина
- ЭДС — электродвижущая сила
- ЭМИ — электромагнитное излучение
- ЭМС — электромагнитная совместимость
- ЭПС — эквивалентное последовательное сопротивление
- ЭРИ — электрорадиоизделие
- ЭСПЗУ — электрически стираемое постоянное запоминающее устройство

Книги Издательского дома «Додэка-XXI» можно заказать в торгово-издательском холдинге «АЛЬЯНС-КНИГА» наложенным платежом, выслать открытку или письмо по почтовому адресу: **123242, Москва, а/я 20**  
или по электронному адресу: **orders@aliants-kniga.ru**.

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 Internet-магазине: **www.aliants-kniga.ru**.

Оптовые закупки:

тел. **(495) 258-91-94, 258-91-95;**

e-mail: **books@aliants-kniga.ru**.

*Рюмик Сергей Максимович*

**1000 и одна  
микроконтроллерная схема.  
Вып. 1**

Подписано в печать 31.01.2010. Формат 70x100/16. Бумага офсетная.

Гарнитура «NewtonС». Печать офсетная.

Объем 22,5 п. л. Усл. п. л. 29,2

Тираж 1500 экз. Код RYUMIK.

**Заказ 586**

Издательский дом «Додэка-XXI»

ОКП 95 3000

105318 Москва, а/я 70

Тел./факс: (495) 366-04-56, 365-26-95

E-mail: red@dodeca.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Щербинская типография»

117623 Москва, ул. Типографская, д.10

*С. М. Рюмик*  
**1000 и одна  
микроконтроллерная схема**

*Выпуск 1*

**Справочные  
данные  
(DataSheets)**

**Полезные  
утилиты**

**Дополнительные  
материалы**

**Programmers**

**Microcap**

**WinAVR**

© Издательский дом «Додэка-XXI» • [www.dodeca.ru](http://www.dodeca.ru) • 2010

