



**В ПОМОЩЬ РАДИОЛЮБИТЕЛЮ**

**Клод Галле**

# **Полезные советы по разработке и отладке электронных схем**

*Маленькие хитрости электроники. Создать надежное  
электронное устройство станет проще*



**ETSF**

**DUNOD**

**QMK**  
ПРОЦЕССОРЫ

**Клод Галле**

Полезные советы  
по разработке и отладке  
электронных схем

**Claude Gallès**

---

# **ASTUCES ET MÉTHODES ÉLECTRONIQUES**



**ETSF**

**EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES**

**В помощь радиолюбителю**

**Клод Галле**

---

**ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ  
ПО РАЗРАБОТКЕ И ОТЛАДКЕ  
ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ**



**Москва, 2001**



**ББК 32.844**

**Г15**

**Клод Галле**

Г15 Полезные советы по разработке и отладке электронных схем. — М.: ДМК Пресс, 2001. — 208 с.: ил. (В помощь радиолюбителю).

**ISBN 5-94074-072-3**

Данная книга представляет собой сборник практических рекомендаций по проектированию, изготовлению и наладке аналоговых и цифровых электронных схем различного назначения.

Большое внимание уделено особенностям использования разнообразных электронных компонентов, вопросам разработки и изготовления печатных плат и корпусов, методике испытания устройств и поиска неисправностей. Приведено большое количество сравнительно простых цифровых и аналоговых схем. Отдельная глава посвящена решению типовых задач по программированию микропроцессоров и микроконтроллеров, представлены примеры полезных подпрограмм.

Книга адресована как начинающим любителям электроники и радиотехники, так и профессионалам.

**ББК 32.844**

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 2-10-043880-X (франц.)  
ISBN 5-94074-072-3 (рус.)

© E.S.T.F., Paris (первое издание)  
© DUNOD, Paris, 1998  
© Перевод на русский язык,  
оформление ДМК Пресс, 2001

# СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>1</b>	<b>Конструирование и сборка электронных устройств .....</b>	<b>9</b>
	Формирование батареи аккумуляторов .....	10
	Экранирование устройств .....	11
	Байонетные коаксиальные соединители .....	11
	Клавишные выключатели .....	12
	Рекомендации по монтажу схем .....	12
	Монтажные провода .....	15
	Изготовление печатной платы .....	16
	Компоненты с поверхностным монтажом .....	20
	Выбор корпуса .....	21
	Учет теплопроводности при пайке .....	21
	Наконечники для шнуров .....	21
	Соединительный элемент для девятивольтовой батарейки .....	22
	Стойки для крепления плат .....	22
	Сращивание проводов .....	23
	Облуживание проводов .....	23
	Оформление лицевой панели .....	24
	Наконечники типа «банан» .....	25
	Крепление печатных плат .....	25
	Изоляционная трубка .....	26
	Сетка для громкоговорителя .....	26
	Монтаж выключателя .....	27
	Монтаж мощных компонентов .....	27
	Коаксиальные соединители для аудиоаппаратуры .....	29
	Подбор инструментов .....	29
	Сверление отверстий .....	30
	Защита фотодиода от помех .....	30
	Укорачивание корпуса прибора .....	31
	Телефонные соединители .....	31
	Герконовое реле .....	31
	Выбор сечения проводов .....	32
	Воздушный дроссель .....	32
	Монтаж соединителя ленточного кабеля .....	33

Перемычки на печатной плате .....	34
Блок переключателей .....	35
Отвертка для настройки .....	36
Установка трансформаторов .....	36
Использование макетной платы .....	37
<b>2 Разработка электронных схем .....</b>	<b>39</b>
Зарядка аккумуляторов .....	40
Согласование КМОП и TTL схем .....	41
Источник аварийного питания .....	42
Операционные усилители .....	43
Световые индикаторы .....	44
Триггеры и счетчики .....	48
Буферный усилитель .....	49
Подача звуковых сигналов .....	49
Датчик освещенности .....	50
Датчик уровня жидкости .....	50
Датчик температуры .....	51
Нагрев жидкости .....	52
Каскады с открытым коллектором .....	52
Компараторы .....	54
Двоичные счетчики .....	54
Аналого-цифровое преобразование .....	58
Цифро-аналоговое преобразование .....	60
Использование конденсаторов .....	61
Транзисторы Дарлингтона .....	63
Температурный дрейф параметров диодов .....	63
Дифференцирующая цепочка .....	64
Удвоитель напряжения .....	64
Дискретизация аналоговых сигналов .....	64
Программируемое постоянное запоминающее устройство .....	66
Логический вентиль Иключающее ИЛИ .....	70
Логические схемы, управляемые фронтом импульса .....	70
Предохранители .....	71
Генератор тока .....	72
Генератор напряжения с двоичным управлением .....	73
Высокое сопротивление .....	74
Гистерезис в электронике .....	75
Интегрирующая цепочка .....	76
Последовательный интерфейс .....	77
Изменение направления вращения двигателя .....	83
Использование светодиодов .....	84
Матрицирование управляющих сигналов .....	86

Аналоговый общий .....	87
Широтно-импульсная модуляция .....	89
Мощные МОП транзисторы .....	89
Шаговый двигатель .....	94
Шифратор с двоичным кодом .....	95
Применение оптопар .....	96
Фотоприемник ИК диапазона .....	97
Применение пьезоэлементов .....	98
Фазовая автоподстройка частоты .....	99
Пневматические устройства .....	101
Полная мостовая схема .....	102
Делитель напряжения .....	104
Многооборотный потенциометр .....	105
Логический вентиль ИЛИ .....	105
Логический вентиль И .....	106
Защита против инверсии полярности .....	106
Двухтактный каскад .....	106
Диодные выпрямители .....	107
Стабилизаторы напряжения .....	108
Импульсная стабилизация напряжения .....	110
Стабилизаторы на дискретных компонентах .....	113
Стабилизация тока .....	114
Особенности использования реле .....	116
Резисторные матрицы .....	117
Некоторые особенности применения резисторов .....	117
Серводвигатель в электронных устройствах .....	122
Сумматор и вычитатель аналогового типа .....	123
Синхронизация от сети .....	123
Измерение температуры .....	124
Отрицательное напряжение .....	125
Соединение обмоток трансформатора .....	126
Транзисторные матрицы .....	126
Применение симисторов .....	128
Трехфазная сеть .....	131
Применение тиристоров .....	132
Генератор, управляемый напряжением .....	132

### **3 Тестирование. Измерения.**

<b>Устранение неисправностей .....</b>	<b>135</b>
Искусственная нагрузка .....	136
Ремонт переключателя .....	137
Старение конденсаторов .....	137
Оснастка при измерениях .....	138



---

Измерение тока .....	139
Режим короткого замыкания .....	140
Демонтаж компонентов с печатных плат .....	141
Форма измеряемого сигнала .....	142
Измерение переменного тока или напряжения .....	143
Методика устранения неисправностей .....	144
Работа с мультиметром .....	148
Очистка устройства от пыли .....	148
Использование осциллографа .....	149
Утилизация компонентов .....	150
Влияние температуры и устранение неисправностей .....	151
Тестирование впаянных компонентов .....	152
Тестирование транзисторов и диодов .....	152
Достоинства практики устранения неисправностей .....	154

---

<b>4 Микроконтроллеры. Информатика .....</b>	<b>155</b>
Стандарт цифрового кодирования ASCII .....	156
Стандартные AT-команды .....	157
Системы счисления .....	160
IBM-совместимые персональные компьютеры .....	162
Стираемые программируемые запоминающие устройства .....	165
Форматы файлов .....	165
Энергонезависимое оперативное запоминающее устройство .....	167
Начальная установка микроконтроллера .....	168
Типовые подпрограммы .....	169
Формирование сигнала синхронизации .....	181
Охлаждение аппаратуры .....	182
Сторожевая схема .....	183

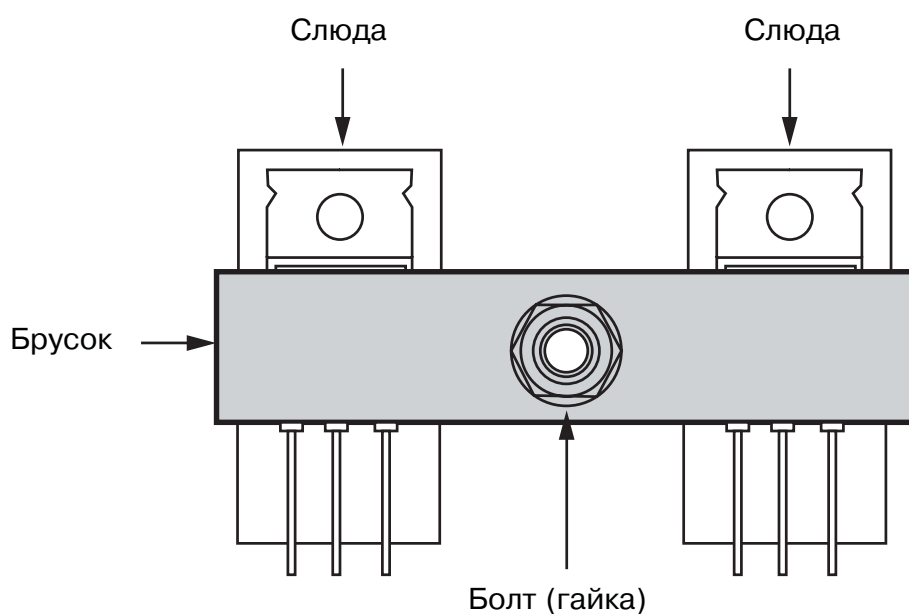
---

<b>5 Справочная информация .....</b>	<b>185</b>
Расположение выводов .....	186
Токи и напряжения различной формы .....	187
Схема подключения к телефонной линии .....	187
Классические импульсные устройства .....	190
Частотные фильтры .....	192
Список сокращений .....	193
Аналоги зарубежных компонентов .....	196

---

<b>Предметный указатель .....</b>	<b>197</b>
-----------------------------------	------------

# 1 КОНСТРУИРОВАНИЕ И СБОРКА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ



<b>2</b>	Разработка электронных схем	39
<b>3</b>	Тестирование. Измерения. Устранение неисправностей	135
<b>4</b>	Микроконтроллеры. Информатика	155
<b>5</b>	Справочная информация	185

Практическая реализация радиоэлектронных устройств не менее важна, чем этап их проектирования. Функционирование устройства зависит от самых разных факторов, таких как эффективное экранирование и охлаждение, рациональное размещение компонентов и т.д. По этим вопросам в книге дан ряд полезных советов.

Следует иметь в виду, что потребность в ремонте или совершенствовании устройства может возникнуть через несколько лет после начала его эксплуатации, когда разработчик уже многое забыл. Возможно также, что ремонтом будут заниматься другие люди. Поэтому после завершения наладки устройства необходимо составить его полную схему. В будущем это окажет неоценимую помощь.

Материал первой главы знакомит читателей с некоторыми принципами конструирования и приемами сборки радиоэлектронных устройств. Эти сведения могут пригодиться как любителям, так и профессионалам.

## ФОРМИРОВАНИЕ БАТАРЕИ АККУМУЛЯТОРОВ

Радиоуправляемые модели и другие электронные устройства часто получают питание от аккумуляторной батареи напряжением 7,2 или 9,6 В. Такой блок состоит из 6 или 8 элементов по 1,2 В, соединенных последовательно и помещенных в специальный корпус. При отсутствии подходящего корпуса его упрощенный вариант легко изготовить из отрезка велосипедной камеры, в который плотно вставлены спаянные друг с другом элементы (рис. 1.1). Хотя внешний вид такой конструкции оставляет желать лучшего, она не требует практически никаких расходов.

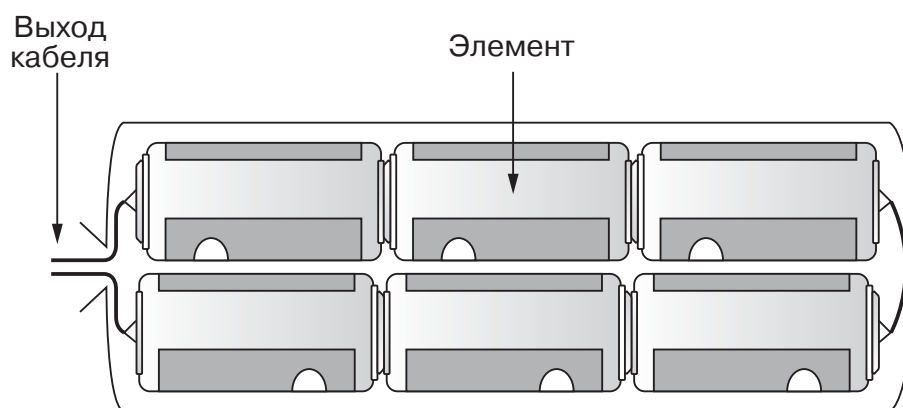


Рис. 1.1

## ЭКРАНИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ

Иногда нужно обеспечить качественное экранирование устройства или его узла, чувствительного к наводкам (например, предусилителя приемника ИК излучения). Проблема решается довольно просто, если корпус устройства выполнен из металла и его можно заземлить (следует помнить о возможности появления ненулевого потенциала на гнездах соединителей и др.). В противном случае можно спаять экранирующий корпус из фольгированного стеклотекстолита или гетинакса (рис. 1.2а).

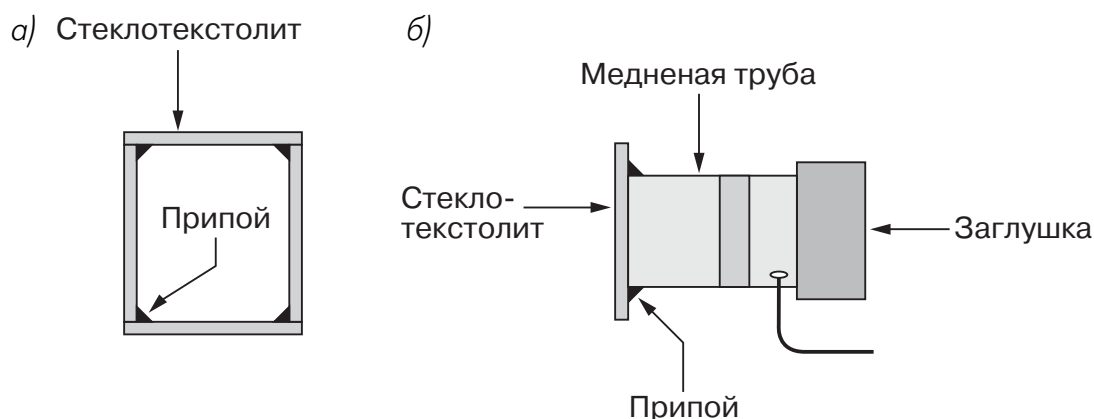


Рис. 1.2

Вскрывать такой корпус довольно сложно, поэтому размещаемый в нем узел следует заранее тщательно проверить.

Для небольшой сборки корпус можно изготовить из отрезка медной водопроводной трубы, которая с одного конца запаивается обрезком фольгированного стеклотекстолита, а с другой закрывается стандартной заглушкой (рис. 1.2б).

## БАЙОНЕТНЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ

Сборка кабеля, снабженного миниатюрным байонетным соединителем штыревого типа, является весьма трудоемкой операцией. В зависимости от модели эти соединители крепятся к проводникам путем пайки или обжима. Для сборки необходимо оголить кабель на точно заданную длину и смонтировать большое количество деталей. Если не предполагается работа с устройствами ВЧ диапазона, значительно проще припаять к кабелю штыревую часть обычного коаксиального разъема и использовать переходник на байонетный



соединитель (рис. 1.3). Такой комплект обойдется дешевле, чем сам байонетный соединитель, а изготовленный кабель можно будет подключать к разъемам двух типов.

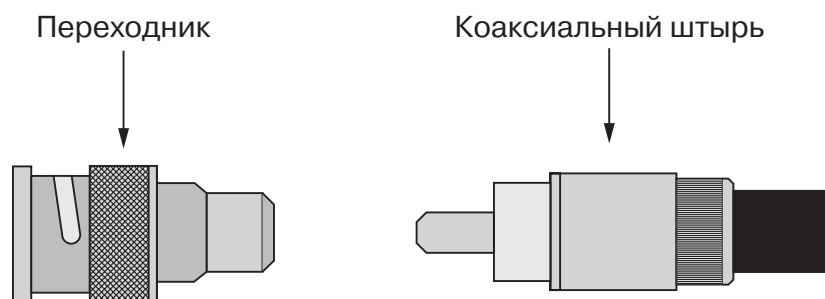


Рис. 1.3

## КЛАВИШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Во многих устройствах для управления применяются клавиши с четырьмя выводами, соединенными попарно для облегчения операции матрицирования. Корпус клавишного выключателя неквадратной формы имеет два варианта размещения выводов (рис. 1.4). Поэтому перед разработкой печатной платы нужно приобрести клавиши определенного типа или предусмотреть различные варианты соединений.

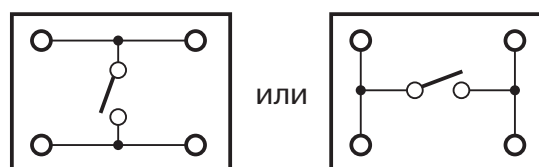


Рис. 1.4

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОНТАЖУ СХЕМ

### Использование разноцветных проводов

Для подключения к схеме некоторых компонентов, в частности поворотных переключателей и многоконтактных соединителей, потребуется большое число проводов. Провода, припаянные к подобному компоненту, обычно сплетаются или соединяются в жгут с использованием стяжных хомутиков, колец и т.п. В этом случае для проводов, присоединяемых к определенным контактам, удобно применять стандартный «цветовой код». Например, к первому выводу можно всегда подводить коричневый провод, ко второму – красный

и т.д. Если компонент имеет более десяти выводов, для второго десятка удобно использовать те же цвета, что и для соответствующих выводов первого. Подобная методика существенно облегчает проверку соединений на стадиях монтажа и наладки устройства, а также при его ремонте.

## Порядок монтажа компонентов

Начинающим радиолюбителям полезно помнить о том, что монтаж печатной платы следует начинать с самых «низких» компонентов, переходя затем к более крупным и заканчивая деталями, которые монтируются вертикально. При такой последовательности монтажа крупные компоненты не мешают нужным образом установить для пайки более мелкие (рис. 1.5а). Например, можно начать с размещения на плате всех перемычек, затем прижать к плате лист пенопласта и перевернуть ее для выполнения пайки (рис. 1.5б). Вслед за этим можно приступить к монтажу небольших резисторов, диодов и т.д.

С целью временного закрепления компонентов перед пайкой можно слегка отогнуть их выводы в разные стороны, не допуская при

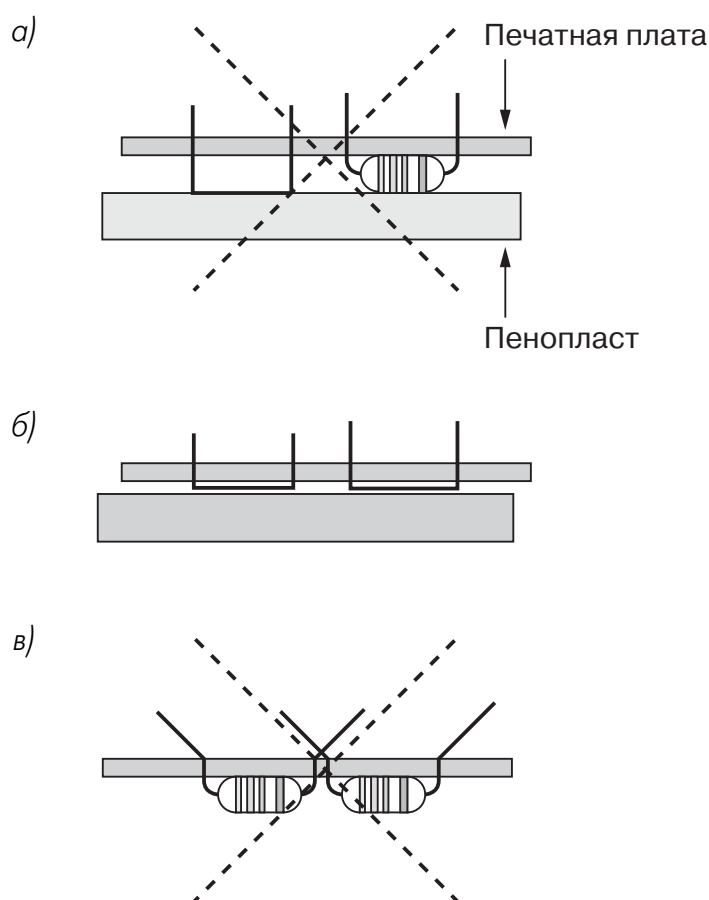


Рис. 1.5

этом закорачивания близко расположенных контактных площадок (рис. 1.5в).

### Размещение компонентов для облегчения проверки схемы

Большинство электронных устройств в процессе их создания и эксплуатации подвергаются наладке, тестированию или ремонту. Такие операции требуют подключения измерительных приборов к различным точкам схемы. Поэтому желательно монтировать компоненты так, чтобы контрольные точки были легко доступны.

Рассмотрим, например, наладку многокаскадного усилителя, когда анализ сигнала на его выходе, обычно расположенном на краю платы и доступном для контактирования, не дает достаточной информации о состоянии каскадов. Для успешного тестирования необходимо последовательно подключать щуп осциллографа ко входам или выходам различных каскадов. В серийных устройствах для этой цели специально предусматривают участки металлизации с удобным доступом, которые обозначаются на плате и в схеме как TP1, TP2 и т.д., где TP означает Test Point («контрольная точка», англ.). Такие точки полезно предусмотреть и в любительской аппаратуре.

При проектировании и монтаже устройства необходимо учитывать, что вертикально расположенные компоненты (например, резисторы) затрудняют доступ сверху к некоторым точкам схемы. На рис. 1.6 показан пример неудачного размещения резистора, когда нужная контрольная точка недоступна, и дан вариант более удобного монтажа того же элемента.

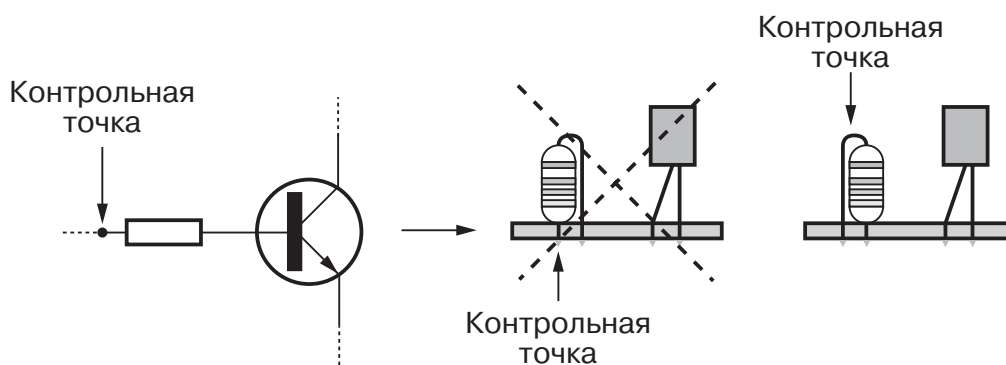


Рис. 1.6

### Ориентация компонентов печатной платы

В процессе наладки и ремонта устройства приходится неоднократно проверять маркировку компонентов, размещенных на печатной

плате. К сожалению, даже в аппаратуре промышленного производства компоненты не всегда располагают самым удобным образом. Необходимо взять за правило размещать элементы схемы таким образом, чтобы было удобно считывать их номиналы и маркировку при одном положении платы, которое реализуется при вскрытии корпуса устройства (рис. 1.7).

В идеальном варианте маркировка всех элементов должна соответствовать ориентации маркировки интегральных схем, но, увы, это не всегда возможно.

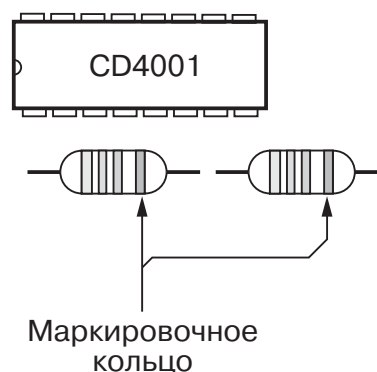


Рис. 1.7

## МОНТАЖНЫЕ ПРОВОДА

### Выпрямление одножильного провода

Жесткий одножильный провод используется в электронных схемах сравнительно редко. Его применяют для создания перемычек на односторонних печатных платах. Одножильный провод будет гораздо легче использовать, если после снятия изоляции выпрямить его. Кроме того, изготовленные из него перемычки будут лучше выглядеть. Для этого провод длиной приблизительно 40 см зачищают, один его конец зажимают в тисках, а другой наматывают на плоскогубцы и натягивают до получения идеально прямой линии. Остается отрезать кусок провода нужной длины и при необходимости согнуть (см. также раздел «Перемычки на печатной плате»).

### Протягивание проводов через отверстие

Нередко провода необходимо протянуть через довольно узкое отверстие в крышке розетки или соединителя. Задача станет намного легче, если предварительно слегка натереть провода мылом или жидкостью для мытья посуды. Это следует сделать до зачистки проводов, чтобы смазка не проникла внутрь кабеля. После завершения операции смазку надо сразу удалить, даже если придется еще раз протягивать провода при повторном вскрытии розетки.

### Изготовление жгута

При прокладывании монтажных проводов, соединяющих различные элементы схемы, отдельные провода удобно скрепить в жгуты. С этой целью используются специальные стяжные хомутики или



кольца. Иногда провода связывают вощеной нитью. Можно просто сплести провода между собой по три. Полученные «косички» удобно, в свою очередь, переплести между собой, чтобы собрать все нужные провода в один жгут.

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

### **Камера для экспонирования**

Можно самостоятельно сделать камеру для экспонирования платы, изготавливаемой методом фотолитографии. При этом рекомендуется разместить в камере одну или две люминесцентные лампы (помимо ламп ультрафиолетового излучения). Люминесцентные лампы удобно использовать для визуальной проверки непрозрачности и качества выполнения фотошаблона перед экспонированием. Их можно смонтировать в глубине камеры, чтобы не создавать лишних теней. Следует поставить специальный выключатель, позволяющий включать лампы независимо. При выполнении различных операций можно также заменять лампы, но это менее удобно.

Заметим, что нельзя рассматривать фотошаблон при свете ультрафиолетовых ламп, поскольку это вредно для глаз.

### **Создание рисунка печатной платы**

Ниже представлены некоторые приемы, с помощью которых удобно создавать рисунок печатной платы:

- при проектировании рисунка печатной платы удобно использовать стандартную макетную плату с отверстиями, расположенными в узлах сетки с фиксированным шагом. Временное размещение компонентов на такой плате позволяет точно проверить занимаемое ими место и зрительно представить окончательный результат. Это снижает риск появления ошибок и улучшает внешний вид будущей схемы;
- если изготавливается небольшое количество схем, можно удалить неиспользуемые выводы компонентов. Хотя подобную операцию выполняют нечасто, она позволяет уменьшить количество отверстий и при необходимости проложить большее число дорожек. Для обрезания выводов удобно применять небольшие кусачки;
- при проектировании кварцевого генератора, служащего тактовым генератором микропроцессора, желательно принять меры для защиты устройства от электромагнитных помех. С этой целью рекомендуется сохранить вокруг генератора значительные

участки металлизации и соединить их с общей точкой схемы. Соединения между компонентами генератора должны быть максимально расширены для снижения наводок и паразитных индуктивностей дорожек. Как правило, производители кварцевых резонаторов указывают способ рационального размещения компонентов на плате в соответствующей документации.

## **Нейтрализация хлорного железа**

Создание печатных плат своими собственными силами – сравнительно простая задача, доступная радиолюбителям. Однако при ее выполнении приходится иметь дело с вредными химическими веществами, поэтому необходимо принять специальные меры экологической безопасности. В частности, ни в коем случае нельзя выбрасывать с обычным мусором хлорное железо, применяемое для травления медной фольги. Его следует нейтрализовать специальными реактивами, которые недорого стоят и пригодны для многократного использования.

Необходимо также внимательно относиться к надписям на упаковке других применяемых химикатов (в частности, проявителей) и в точности следовать инструкциям производителей, где говорится о том, как поступать с отходами.

## **Сверление отверстий в печатной плате**

Отверстия в печатных платах для монтажа большинства компонентов должны иметь диаметр 0,8 мм, для интегральных схем – 0,6 мм. Поскольку стеклотекстолит является сравнительно прочным материалом, сверлить его довольно сложно.

Существует два типа сверл: стальные и из карбида вольфрама. Первые дешевле, но срок их службы ограничен. Вторые стоят примерно в пять раз дороже и позволяют проделать большое количество отверстий, однако при боковых нагрузках легко ломаются. Имеет смысл приобрести два набора стальных сверл: диаметром 0,6 и 0,8 мм. Сначала сверлом 0,6 мм сверлят все отверстия. На следующем этапе нужные отверстия расширяют посредством сверла диаметром 0,8 мм. При этом инструмент меньше изнашивается и служит дольше.

Использование упрощенного варианта сверлильного станка (довольно дешевого) в виде штатива с приводом, обеспечивающим вертикальную подачу сверла, окажет неоценимую помощь в работе и обеспечит высокое качество сверления. В таком варианте сверло не испытывает боковых нагрузок, что особенно важно для сверл из карбида вольфрама.

## **Оборудование для изготовления печатных плат**

Оборудование, с помощью которого можно нанести рисунок на печатную плату, довольно разнообразно. Подобные установки служат для выполнения двух основных операций – экспонирования и травления. Если нужно изготавливать всего несколько схем в месяц, оборудование обойдется достаточно дешево. Для экспонирования потребуется камера с ультрафиолетовыми лампами и простым устройством вроде прессы для прижима фотошаблона к заготовке печатной платы. Умелые любители могут свести расходы к минимуму и сконструировать такое устройство своими силами.

Достаточно эффективные установки для травления также сравнительно дешевы. Удобны, например, камеры вертикального типа с перемешиванием травителя при помощи пузырьков воздуха и с нагревателями для аквариумов. Такие камеры экономно расходуют хлорное железо, их удобно чистить.

Не стоит браться за изготовление двусторонней печатной платы любительскими средствами. Нужно оборудование стоит очень дорого, а осуществить металлизацию отверстий практически невозможно. При необходимости лучше обратиться в организацию, которая специализируется на производстве подобных плат.

## **Изготовление фотошаблона**

Любителям доступны два варианта технологии изготовления печатной платы. При первом слой краски наносится непосредственно на фольгированную поверхность. Для получения нужного рисунка незакрашенные участки фольги удаляются с помощью травления в хлорном железе. При втором методе используется техника фотолитографии: сначала необходимо изготовить фотошаблон, качество которого определяет окончательный результат. Современные компьютерные технологии позволяют существенно упростить этот этап. Существующие на сегодняшний день принтеры (струйные и лазерные) обеспечивают великолепное разрешение при печати на различных носителях.

Любитель, который занимается проектированием плат от случая к случаю, может обойтись и без дорогостоящего специализированного программного обеспечения. Рисунки нужного качества можно выполнить с помощью более простых и доступных программ. Они обеспечивают черчение по сетке с заданным шагом, создание нужных элементов (контактных площадок и др.), их соединение между собой, а также функции вращения, мультиплицирования и зеркального

отображения элементов рисунка. Печать, как правило, выполняется на специальной прозрачной пленке. Опыт показывает, что плотность печати на таком фотошаблоне обычно недостаточно высока. В этом случае, используя созданный чертеж, можно изготовить негатив на фотопленке, который легко экспонируется и проявляется (рис. 1.8).

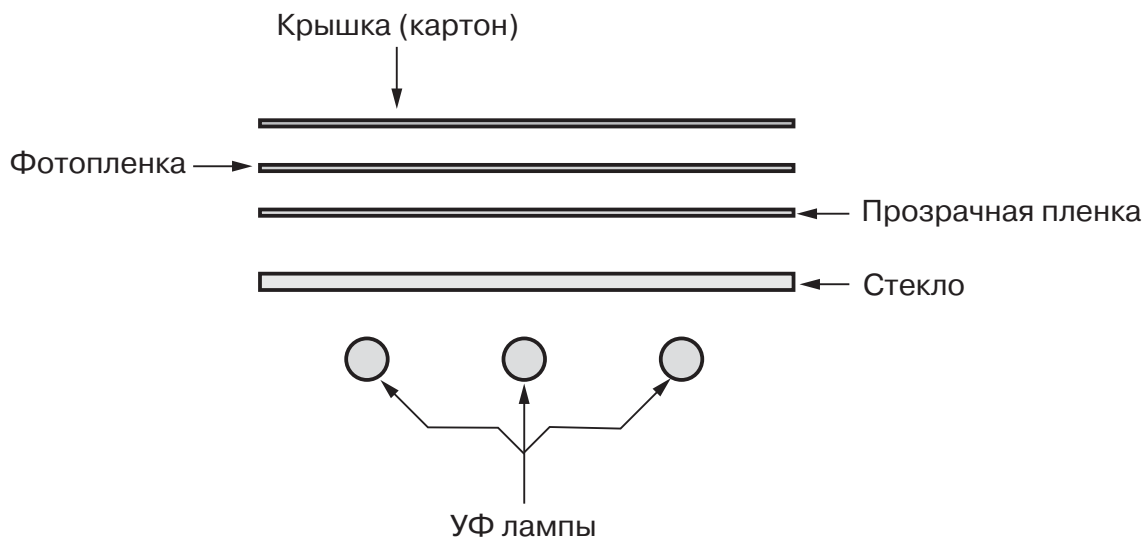


Рис. 1.8

### Распиливание платы с нанесенным рисунком

При наличии хорошей пилки с мелким зубом не составит большого труда распилить перед травлением стеклотекстолитовую плату, на которую нанесен нужный рисунок. Следует прочертить линию по слою металлизации и пилить именно с этой стороны. Так легче избежать повреждения тонкого слоя краски. При распиливании также желательно подложить под заготовку платы кусок ткани, чтобы предохранить сторону, где будут размещаться компоненты, от появления царапин (рис. 1.9).

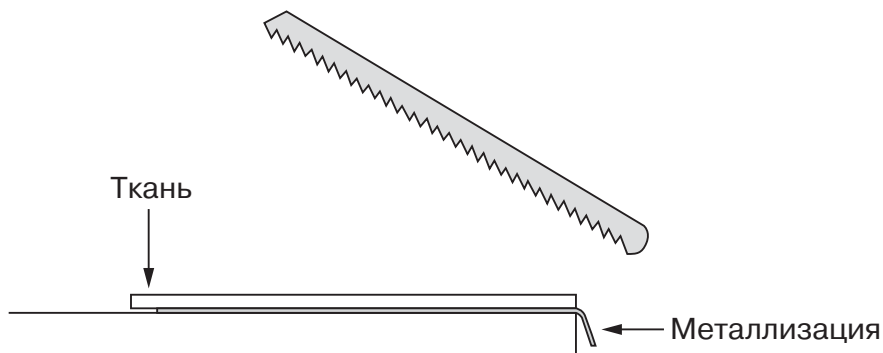


Рис. 1.9



## **КОМПОНЕНТЫ С ПОВЕРХНОСТНЫМ МОНТАЖОМ**

Компоненты с поверхностным монтажом (КПМ) в основном применяются для серийного изготовления электронной аппаратуры. Они обладают несомненными преимуществами: занимают сравнительно малую площадь, недороги (при массовом изготовлении), их можно быстрее смонтировать, поскольку не нужно сверлить печатные платы. Однако для любительских схем такие компоненты малопригодны. Для них сложно создать самодельную печатную плату, часто эти компоненты продаются только большими партиями. Кроме того, для их монтажа нужны специальные инструменты (паяльник, использующий горячий воздух).

Тем не менее есть ситуации, когда КПМ могут понадобиться любителю. Во-первых, иногда их приходится применять из-за дефицита доступной поверхности платы (использование DIP 28, 32 или 40 в устройствах памяти). Во-вторых, такие компоненты нужны для замены неисправных элементов в существующей схеме. Для пайки КПМ можно использовать паяльник с очень тонким жалом, однако для этого требуется некоторая сноровка. Специальное жало можно изготовить, аккуратно поработав напильником и шкуркой. Срок службы такого инструмента ограничен, поэтому нагрев должен выполняться только на время пайки.

Демонтаж КПМ – довольно сложная операция, особенно в случае микросхем с близко расположенными выводами. Чтобы облегчить задачу, можно применить маленькую хитрость: надо просунуть небольшой провод под один ряд выводов и нагреть его, а затем достаточно сильно потянуть, чтобы выводы освободились один за другим. Предварительно стоит потренироваться на негодной карте.

Одна из проблем использования КПМ связана с их маркировкой: надписи на миниатюрном корпусе обычно трудно прочесть. Кроме того, для КПМ и идентичных классических компонентов используются разные обозначения, что порождает значительные неудобства. В части логических микросхем дело обстоит немного проще, поскольку основа обозначения остается постоянной. Например, стандартный компонент CD4001 переименован в 4001BT или X4001. С диодами сложнее, поскольку, например, классический компонент 1N4148 получает маркировку BAS16 и т.д.

При отсутствии документации лучше взять нужные таблицы соответствия у поставщика, тем более что обозначения аналогичных компонентов от разных производителей не совпадают. Не забудьте

уточнить расположение выводов приборов, которое также может оказаться нестандартным.

## ВЫБОР КОРПУСА

Выбор корпуса для разрабатываемого устройства диктуется размерами последнего, назначением, требованиями эстетики, стоимостью и, наконец, наличием нужной модели в каталогах изготовителей или поставщиков. Если устройство выполняется согласно рекомендациям, почерпнутым из специальной литературы, можно довериться выбору автора. В противном случае стоит, оставив в стороне эстетическую сторону вопроса, сделать временный корпус из оргалита по размерам, указанным в каталоге. Это даст более точные представления о законченности схемы, ее внешнем виде и о свободном пространстве в корпусе. В дальнейшем будет легче внести нужные изменения.

## УЧЕТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ ПАЙКЕ

Если требуется припаять провод к большой металлической детали, нужно предварительно залудить место пайки, нагрев деталь. Однако деталь, зажатую в тисках, нагреть будет трудно, поскольку тепло интенсивно отводится к тискам. Гораздо лучше прижать металлическую деталь к деревянной поверхности с помощью небольших щипцов или отвертки (рис. 1.10), а сверху положить тяжелый предмет. Не забудьте предварительно зачистить поверхность, предназначенную для пайки, с помощью наждачной бумаги или ножа.

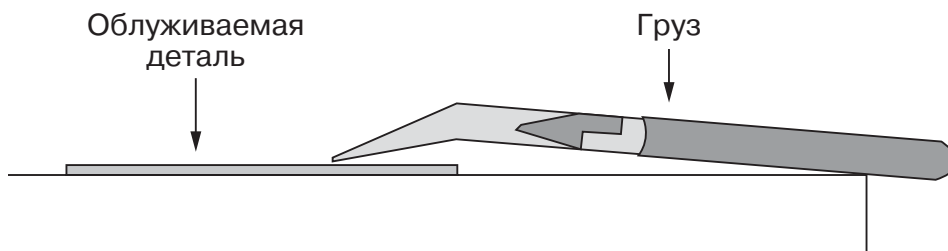


Рис. 1.10

## НАКОНЕЧНИКИ ДЛЯ ШНУРОВ

Существует множество типов и размеров наконечников для шнуров, обеспечивающих выполнение надежных разъемных соединений (такие наконечники широко используются, например, в электропроводке автомобилей). Как правило, наконечники крепятся

к многожильному проводу путем обжима с помощью специальных инструментов, иногда довольно дорогих. Однако можно избежать этой операции, заменив ее пайкой. Провод оголяют на нужную длину и облуживают. Затем наконечник заливают припоем (рис. 1.11).

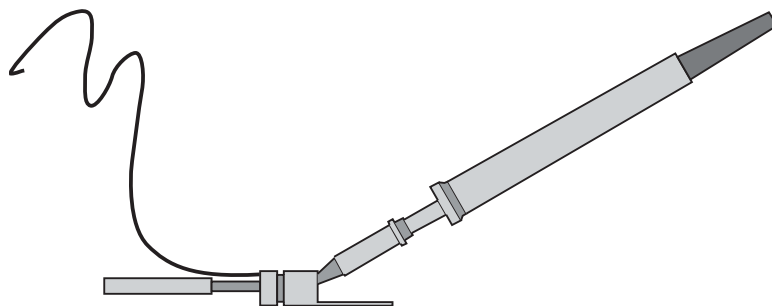


Рис. 1.11

Поддерживая припой в разогретом состоянии, аккуратно вставляют провод так, чтобы его отдельные жилы не отгибались. После этого наконечник оставляют охлаждаться естественным образом (на него не следует дуть), а затем проверяют прочность соединения, с усилием натягивая провод. Если пайка прошла успешно, на наконечник надвигают отрезок изолирующей хлорвиниловой трубки подходящего диаметра (его следует надеть на провод перед пайкой). Лишний припой, который иногда мешает надеть трубку, можно удалить с помощью напильника.

### **СОЕДИНИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ ДЕВЯТИВОЛЬТОВОЙ БАТАРЕЙКИ**

Малогабаритная девятивольтовая батарейка широко используется для питания портативных электронных устройств с незначительным потреблением энергии. Она подключается при помощи специального разъема. Прежде чем выбрасывать отслужившую батарейку, снимите с нее верхнюю пластину. Припаяйте к контактам пластины два провода, аккуратно изолируйте места пайки – и вы получите готовый соединительный элемент, который может пригодиться в будущем.

### **СТОЙКИ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ПЛАТ**

Для крепления печатной платы на некотором расстоянии от корпуса и от других плат используются стойки из различных материалов.

Если под рукой нет стоек подходящего размера, можно воспользоваться длинными винтами диаметром 3 мм (такие винты обычно наиболее удобны) с гайками для крепления плат на нужном расстоянии от корпуса (рис. 1.12). Со стороны металлизации печатной

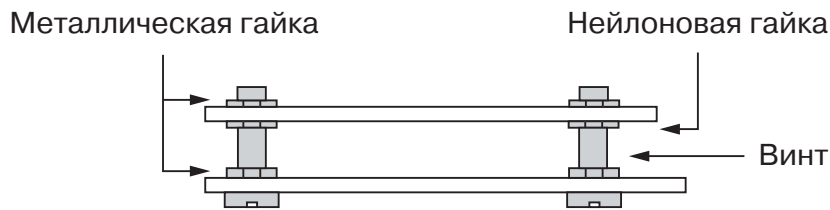


Рис. 1.12

платы лучше использовать гайки из нейлона (или подложить под металлическую гайку изолирующую шайбу), чтобы изолировать винты от дорожек, проходящих вблизи крепежных отверстий.

## СРАЩИВАНИЕ ПРОВОДОВ

Часто нужно удлинить провод или соединить несколько проводов внутри одного корпуса. Сращивание можно выполнить разными способами. Облуженные куски провода, например, допустимо спаивать в торец (рис. 1.13а).

Также можно сначала скрутить провода, а затем спаять их. При этом соединение будет более надежным. Если необходимо соединить несколько проводов, то их можно скрутить по два, затем еще раз по два и т.д. В любом случае место сращивания нужно защитить с помощью изоляционной ленты или отрезка хлорвиниловой трубки, фиксирующейся посредством банджа (рис. 1.13б). При необходимости провода вблизи места соединения прикрепляют к специальной опоре или печатной плате.

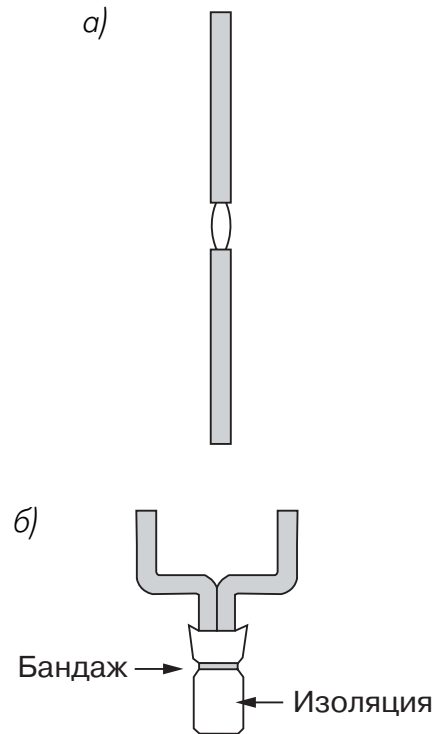


Рис. 1.13

## ОБЛУЖИВАНИЕ ПРОВОДОВ

Провод облуживают каждый раз перед тем, как вставить в отверстие для пайки или для крепления с помощью винтового зажима. После облуживания зачищенный конец провода не распадется на отдельные жилы, соединение будет иметь достаточную механическую прочность и минимальное электрическое сопротивление. Напомним, что для качественного облуживания многожильного провода нужно

снять изоляцию на достаточную длину, тщательно скрутить отдельные жилы, нанести припой, а затем аккуратно обрезать конец облуженного провода под углом.

## ОФОРМЛЕНИЕ ЛИЦЕВОЙ ПАНЕЛИ

При оформлении лицевой панели современных приборов теперь уже не используют выступающие кнопки и поворотные переключатели, которые крепились на алюминиевом листе с надписями, нанесенными черной краской. Предпочтение отдается плоским поверхностям, за которые не выступают компоненты, служащие для управления и индикации (рис. 1.14).

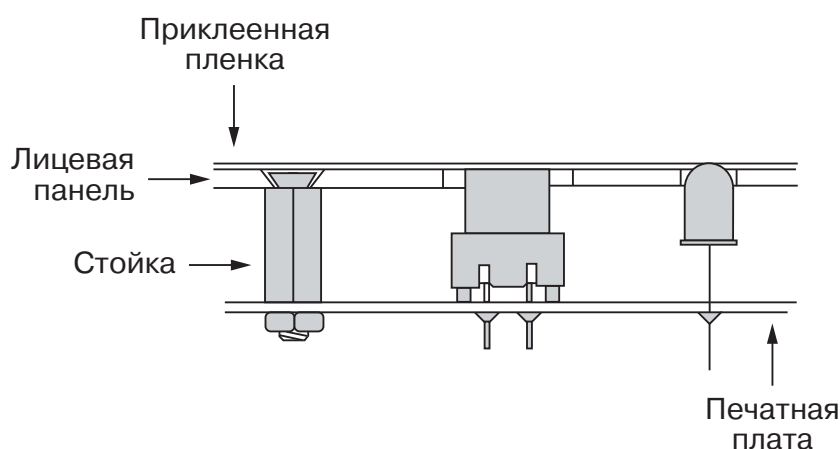


Рис. 1.14

Эти компоненты размещаются группами в соответствии с выполняемыми функциями.

Панель обычно выполняется из листового металла или пластмассы и имеет светлый фон с разноцветными надписями. Изготовление подобных панелей существенно облегчается при использовании современных цветных принтеров. Печать на прозрачных листах, которые используются для проекторов, позволяет быстро и качественно изготовить рисунок панели с необходимыми надписями. Другой способ изготовления рисунка – выполнение цветной ксерокопии с бумажного оригинала на прозрачную пленку. Пленку можно наложить на непрозрачную основу, в которой сделаны отверстия для индикаторов. Пленку с рисунком имеет смысл закрыть сверху самоклеющейся прозрачной пленкой, а все элементы закрепить по краям скотчем.

Печатная плата с индикаторами и сенсорными кнопками должна располагаться непосредственно за лицевой панелью (рис. 1.14).

Для ее крепления используются винты с потайными головками, утопленными в панель под пленкой с рисунком. Монтаж компонентов следует выполнять после временного прикрепления печатной платы к лицевой панели и тщательной разметки необходимых отверстий. Размеры отверстий в местах установки кнопок должны выбираться с запасом. Желательно не поднимать компоненты над платой и располагать ее так, чтобы расстояние до лицевой панели определялось высотой кнопки.

Некоторые элементы, занимающие много места (например, кварцевые генераторы), можно разместить «в лежащем положении» или с противоположной стороны платы. Необходимо определить способ монтажа до выполнения рисунка печатной платы. Рядом с каждой кнопкой следует расположить по крайней мере одну опору, чтобы плата не деформировалась при нажатии.

### **НАКОНЕЧНИКИ ТИПА «БАНАН»**

Для подключения стандартных шнуров к измерительным приборам и источникам питания часто используются наконечники типа «банан» со штырем диаметром 4 мм. Если вы конструируете лицевую панель прибора с выходными гнездами, рассчитанными на вставку таких наконечников, желательно соблюдать между центрами гнезд расстояние 19 мм. В этом случае при отсутствии наконечников типа «банан» для подключения можно будет использовать двужильные сетевые шнуры со стандартной вилкой.

### **КРЕПЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

Как правило, на печатной плате имеется нескольких крепежных отверстий. Впоследствии соответствующие отверстия необходимо разметить на дне корпуса или на другой несущей поверхности. Нередко вместо точной разметки осей отверстий предпочитают брать печатную плату и размечать места сверления по ней или прямо сверлить отверстия в корпусе сквозь отверстия в плате. Хотя такой подход ускоряет решение задачи, точность разметки падает. Случается, что, когда расставлены крепежные стойки, печатную плату поставить на место уже невозможно. Чтобы избежать подобной ситуации, нужно вначале просверлить печатную плату и корпус сверлом диаметром 3 мм, а затем расширить отверстия в плате до 3,2 или 3,5 мм. Это облегчит сборку, а качество практически не пострадает.

## **ИЗОЛЯЦИОННАЯ ТРУБКА**

### **Термоусадочная трубка**

Термоусадочная трубка обеспечивает идеальную изоляцию и повышенную надежность мест соединения, а также их хороший внешний вид. Однако приходится довольно точно подбирать диаметр трубки, в противном случае обжим будет слишком слабым. Приобретение специального пистолета для нагревания горячим воздухом оправдано только при интенсивном использовании данного инструмента. Вместо него можно применить фен или пистолет для снятия краски. Паяльник следует использовать только для нагревания трубки небольшого диаметра. Соблюдая осторожность, можно осуществить прогревание с помощью зажигалки, но надо следить, чтобы на светлой трубке не оставалось черных следов копоти.

### **Хлорвиниловая трубка**

Стоит взять за привычку сохранять отрезки хлорвиниловой изоляции, которые остаются после зачистки проводов и кабелей. В результате у вас появляется запас трубочек разных диаметров и цветов, которые можно использовать для изоляции соединений вместо относительно дорогой термоусадочной трубки. Чтобы такая изоляция не сдвигалась с нужного места, достаточно нескольких капель клея (или зажимного хомутика для трубки большого диаметра).

## **СЕТКА ДЛЯ ГРОМКОГОВОРТЕЛЯ**

Установка громкоговорителя за лицевой панелью и обеспечение его нормального звучания – довольно сложная задача. Выполнить ее можно двумя способами: либо просверлить большое число отверстий, расположив их, например, в форме звезды, либо сделать одно большое отверстие и закрыть его сеткой. Первое решение ухудшает внешний вид громкоговорителя, особенно если хотя бы одно отверстие расположено не на своем месте. Во втором случае сверление не требует высокой точности, поскольку окончательную подгонку отверстия можно выполнить с помощью напильника.

Сложнее приобрести или изготовить сетку, нужную для завершения конструкции и для защиты мембраны громкоговорителя. Есть простое и экономное решение задачи: можно использовать макетную плату из гетинакса, в которой половину отверстий в шахматном порядке расширяют с помощью сверла диаметром 2,5 или 3 мм (рис. 1.15). После удаления заусенцев сетку следует покрасить черной матовой или блестящей краской.



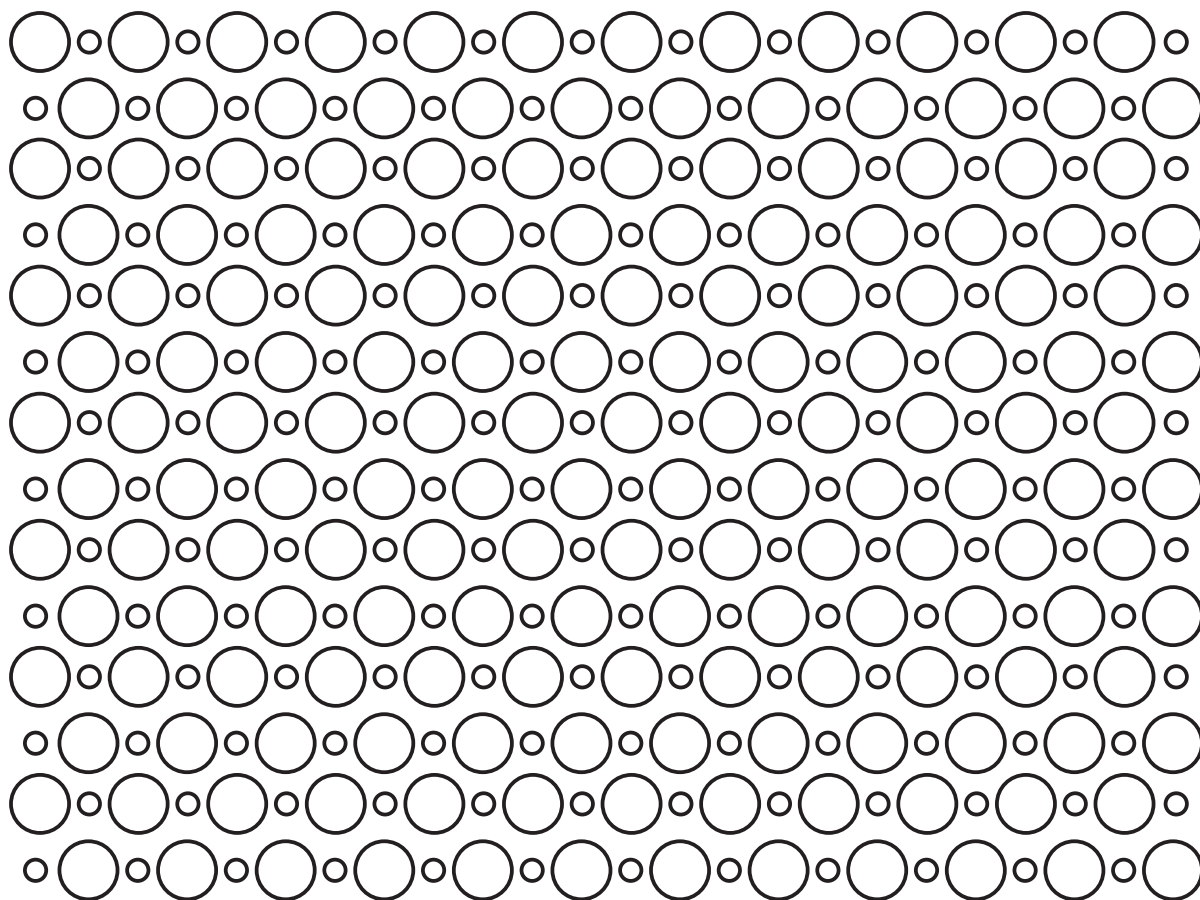


Рис. 1.15

## МОНТАЖ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Независимо от типа выключателя, размещенного на передней или задней панели, и от наличия светового индикатора, всегда желательно соблюдать наиболее распространенное положение: «включено» – вверх, «выключено» – вниз. Этому стандарту соответствуют выключатели ламп в помещениях, клавиши включения компьютера или принтера и т.д. Прежде чем искать причину неисправности (например, неправильное подключение), следует всегда убедиться в том, что выключатель находится в нужном положении.

## МОНТАЖ МОЩНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Мощные транзисторы, симисторы и тиристоры в корпусах ТО3 или ТО220 (и им подобных) могут нагреваться до значительных температур. Поэтому в большинстве случаев для надежной работы этих приборов необходимо обеспечить требуемые условия теплоотвода. Если речь идет об одном компоненте, рассеивающем сравнительно невысокую мощность, достаточно небольшого радиатора. Для

улучшения теплового контакта на основание корпуса прибора наносится специальная смазка.

Сложнее осуществить охлаждение нескольких мощных компонентов, которые необходимо изолировать друг от друга и от радиатора, обеспечив при этом хорошую теплопроводность. Классическое решение проблемы – использование для монтажа набора изоляционных деталей, включающего тонкие слюдяные шайбы, изоляционные втулки и резьбовые крепежные элементы (иногда выполненные из нейлона). Монтаж приборов требует аккуратности, перед включением следует тщательно проверить изоляцию.

Помимо этого остается проблема электрического контакта с основанием корпуса прибора, когда оно соединено с одним из электродов (например, с коллектором транзистора 2N3055). Как правило, в этом случае под основание подкладывают тонкую шайбу с лепестком, к которому припаивают (или присоединяют посредством специального наконечника) монтажный провод. Необходимо изучить техническую документацию, чтобы уточнить, какой электрод соединен с корпусом (у транзисторов это не всегда коллектор).

Существует и другая, менее распространенная технология изоляции для корпусов ТОЗ и ТО220. Компонент прижимают к радиатору через слюду или предварительно надев на него отрезок изоляционной трубки. Механическая сборка при этом заметно упрощается, а изоляция оказывается вполне надежной. Имеются небольшие пластмассовые распорки, предназначенные специально для такого монтажа (они мало распространены в Европе). Вместо них можно использовать небольшой брусок из изолирующего материала, который служит для монтажа двух идентичных компонентов (рис. 1.16).

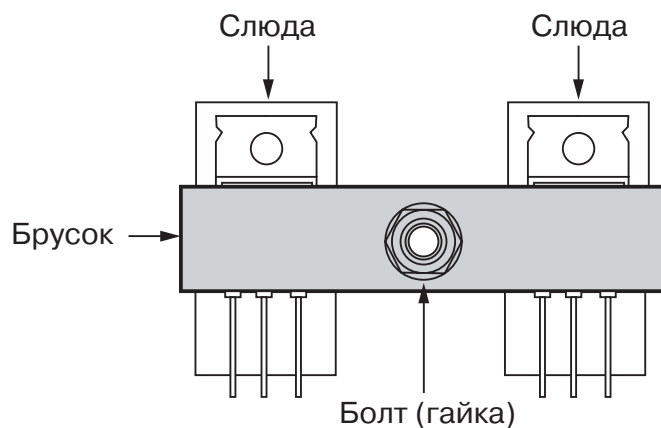


Рис. 1.16

Следует отметить, что соединительный провод можно припаять непосредственно к основанию корпуса ТО220. Предварительно место пайки нужно зачистить и облудить, избегая лишнего нагрева.

## **КОАКСИАЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ ДЛЯ АУДИОАППАРАТУРЫ**

Малогабаритные коаксиальные разъемы для аудиоаппаратуры («джеки»), разделенные по длине на сегменты, хорошо знакомы радиолюбителям. Они широко используются, например, в портативных радиоприемниках и магнитофонах для подключения наушников или микрофона. Выпускаются соединители различных типов и размеров (диаметры штыря 2,5, 3,5 и 6,35 мм, моно или стерео). Они очень удобны, но их можно применять только для маломощных нагрузок. Недопустимо использование таких соединителей для подключения к устройству внешнего источника питания из-за риска короткого замыкания в момент, когда штырь вставляют в гнездо. В случае необходимости при подобном подключении нужно пользоваться моделью инвертированного типа, где штырь располагается на приборе, а гнездо – на конце соединительного шнура.

Следует также помнить, что один из выводов гнезда, смонтированного на шасси, соединен с корпусом прибора. Поэтому, если к корпусу уже присоединен разъем или радиатор охлаждения с другим потенциалом, может произойти короткое замыкание.

## **ПОДБОР ИНСТРУМЕНТОВ**

Как правило, любители могут обойтись без дорогостоящих инструментов, используемых в профессиональных радиомастерских. Иногда разумнее купить две недорогие модели, которые отвечали бы различным требованиям. Так, вместо того чтобы покупать паяльник профессионального класса с регулировкой температуры, лучше приобрести один обычный небольшой паяльник хорошего качества с подставкой и второй – более мощный. Первый инструмент будет предназначаться для мелких работ (например, для пайки печатных плат), а второй – для более серьезных (демонтаж крупных компонентов или лужение). Таким образом, каждый паяльник будет использоваться строго по назначению при рациональном расходовании ресурса.

Тот же принцип относится и к другим инструментам. В частности, на рынке имеется широкий выбор небольших высококачественных кусачек. Но они быстро выходят из строя при перекусывании прочного провода сечением 4 мм<sup>2</sup>. Для выполнения таких действий

можно использовать более мощные недорогие кусачки, непригодные для выполнения тонких операций.

## **СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ**

### **Использование сверл**

Знатоки электроники не всегда являются специалистами по механической обработке, поэтому полезно привести простое правило сверления отверстий в таких материалах, как листовое железо или стеклотекстолит. Сначала следует просверлить отверстия меньшего размера. Например, чтобы просверлить отверстие диаметром 6 мм, следует начать со сверла диаметром 2 или 3 мм. Чем больше конечный диаметр, тем больше потребуется промежуточных сверлений. Это обеспечивает получение отверстий точного размера круглой формы и легкое выполнение операции без повышенного износа сверл. В любом случае отверстие необходимо предварительно наметить с помощью кернера.

### **Сверление отверстий большого диаметра**

Для увеличения диаметра отверстий можно применять специальные фрезы или развертки конической формы. Они бывают различных размеров и могут приводиться во вращение как с помощью дрели, так и вручную.

Любители широко используют специальное приспособление – «балеринку» – для выполнения больших отверстий в панелях из пластмассы или алюминия. «Балеринка» содержит ось со втулкой и поперечную планку с закрепленным на конце резцом. Перемещая планку и фиксируя ее во втулке, можно в широких пределах изменять расстояние резца от оси, определяющее диаметр вырезаемого отверстия. Таким образом получают отверстия любого нужного размера для монтажа электрических соединительных элементов, громкоговорителей и т.д. Обычно затраты на приобретение или изготовление такого инструмента быстро окупаются.

Следует помнить, что пластмассы при механической обработке могут плавиться, поэтому нужно применять дрель или сверлильный станок с малой скоростью вращения.

## **ЗАЩИТА ФОТОДИОДА ОТ ПОМЕХ**

Нормальное функционирование ИК приемника системы дистанционного управления требует защиты зоны приема от постороннего излучения. Солнечный свет, как и свет ламп накаливания, содержит

излучение ИК диапазона. Для защиты фотодиода можно закрепить на передней панели специальный фильтр номер 87С, выпускаемый фирмой Kodak (или аналогичный). В некоторых случаях удастся использовать испорченный диапозитив при условии его предварительной проверки. Помимо основной задачи фильтр выполняет функцию механической защиты приемного отверстия.

## **УКОРАЧИВАНИЕ КОРПУСА ПРИБОРА**

При сборке портативного устройства, размещаемого в каркасе небольшой толщины, нередко возникает проблема монтажа полупроводникового прибора, имеющего значительную высоту корпуса, когда из-за нехватки места его невозможно разместить в горизонтальном положении. Это относится, например, к транзисторам в корпусе ТО220, которые встречаются чаще, чем приборы в небольшом корпусе (ТО92). В то же время в малогабаритных устройствах с питанием от батарейки рассеиваемая мощность обычно невелика. В таком случае вполне допустимо аккуратно отпилить верхнюю часть корпуса с отверстием или удалить ее с помощью кусачек.

## **ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ**

Иногда телефонные соединители типа RJ на 4, 6 или 8 контактов нужно использовать для других целей. Такие соединительные элементы имеют ряд достоинств. Они недорого стоят, занимают мало места и надежно фиксируются. Однако для монтажа розеточной части соединителей требуется специальный инструмент – обжимные клещи. Такие клещи дорого стоят и обычно предназначены только для одной модели розеток, поэтому их понадобится столько же, сколько имеется типов розеток. К счастью, можно выполнить монтаж простым способом с помощью тупой стороны лезвия ножа (рис. 1.17). Провода вставляются один за другим, а затем производится фиксация колпачка с помощью тисков. Возможно, предварительно потребуется провести несколько пробных операций. Для этого следует приобрести дополнительные розетки.

## **ГЕРКОНОВОЕ РЕЛЕ**

Малогабаритные герконовые реле содержат герметизированные магнитоуправляемые контакты. Переключение инициируется магнитным полем, которое возникает при подаче питания на катушку реле. Чувствительность геркона к магнитному полю довольно высока,

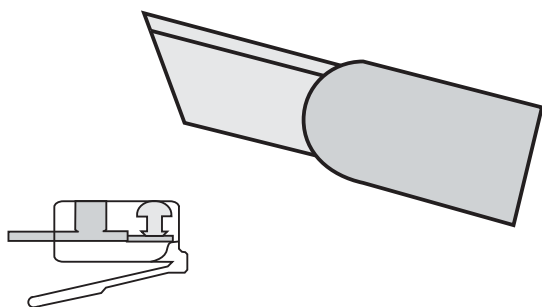


Рис. 1.17

поэтому каждый намагниченный элемент, расположенный вблизи от реле, может нарушить его работу. Возможной причиной сбоя может стать громкоговоритель, содержащий сильный магнит. При этом иногда возникает непростая для анализа ситуация: сбой проявляется только тогда, когда крышка

корпуса поставлена на место, а закрепленный на ней громкоговоритель приближен на опасное расстояние к печатной плате.

## ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДОВ

Для устройств, работающих со значительными токами (например, для инверторов или регуляторов скорости вращения двигателей), очень важно выбрать сечение силовых проводов. При решении этой задачи можно воспользоваться параметрами, представленными в табл. 1.1, где приведено рекомендуемое сечение провода (в мм<sup>2</sup>) в зависимости от его длины и максимального тока.

Таблица 1.1

Ток, А Длина, м	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	35
5	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9
6	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9
7	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9
8	1	1,5	2	3	3	2,5	3	4	4	6	7	8	9
9	2	2	2	3	3	3	4	4	5	7	9	10	
10	2	2	2	3	3	3	4	4	5	7	9	10	
11	2	2	2,5	3	3	4	4	5	6	8	9		
12	2	2	2,5	3	4	4	4	5	6	8	10		
13	2	2,5	2,5	3	4	4	5	5	7	9			
14	2	2,5	3	4	4	5	5	6	7	9			
15	2,5	2,5	3	4	4	5	5	6	8	10			
16	2,5	3	4	4	5	5	6	7	8				
17	2,5	3	4	4	5	5	6	7	9				
18	2,5	3	4	5	5	6	6	7	9				
19	2,5	4	4	5	5	6	7	8	10				
20	3	4	4	5	6	6	7	8	10				

## ВОЗДУШНЫЙ ДРОССЕЛЬ

Дроссели (катушки индуктивности) не пользуются большой популярностью среди любителей. Их применяют довольно редко, и если

они используются в публикуемых схемах, то в списках компонентов приводятся хорошо известные и доступные типы. При разработке импульсных источников питания иногда нужно изготовить нестандартный дроссель. Такая же потребность может возникнуть при изготовлении фильтра низких частот для подавления высокочастотных гармоник, например в схемах с широтно-импульсной модуляцией (см. главу 2, разделы «Импульсная стабилизация напряжения» и «Широтно-импульсная модуляция»).

На приведенных ниже чертежах (рис. 1.18) представлены воздушные (то есть не имеющие ферромагнитного стержня) дроссели, которые несложно изготовить самостоятельно.

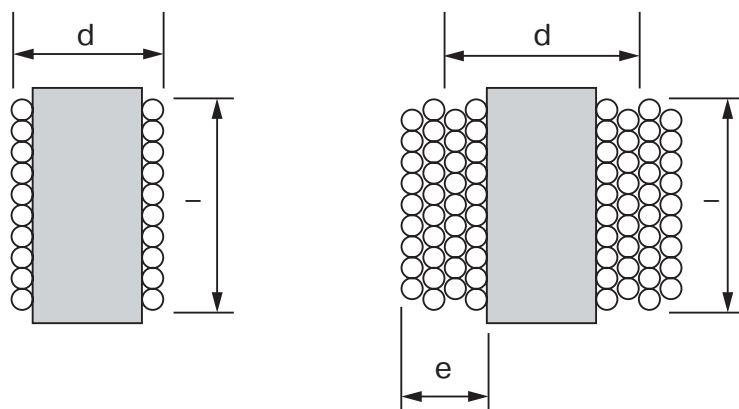


Рис. 1.18

Для расчета индуктивности однослойных и многослойных катушек в зависимости от их размеров и числа витков используются несложные формулы, которые легко найти в учебниках или справочниках. Экспериментальную проверку индуктивности дросселя можно выполнить с помощью небольшой схемы измерения резонансной частоты колебательного контура, состоящего из конденсатора и изготовленного дросселя. Для этого потребуются генератор соответствующего диапазона частот и осциллограф.

Наконец, при выборе сечения провода для обмотки следует учитывать значение тока, который будет проходить через катушку, и использовать данные, приведенные в табл. 1.1.

## МОНТАЖ СОЕДИНИТЕЛЯ ЛЕНТОЧНОГО КАБЕЛЯ

Осуществление большого числа соединений между двумя картами персонального компьютера или между картой и периферийными устройствами (например, дисковыми) существенно упрощается



благодаря применению плоских ленточных кабелей со стандартным расстоянием между жилами, равным 1,27 мм.

Соединительные элементы, расположенные на концах или в средней части кабеля, обычно монтируются с помощью специального дорогостоящего инструмента. Нетрудно выполнить эту операцию, используя тиски с широкими губками. Следует соблюдать осторожность при размещении кабеля в соединителе, поскольку можно вставить контакты между проводниками и вызвать их замыкание. Губки тисков должны быть покрыты мягкими прокладками, чтобы не повредить соединители. Сжатие губок производится до легкого щелчка, свидетельствующего о том, что обе части соединителя зафиксировались в нужном положении. Следует помнить, что в случае неудачи повторить эту операцию невозможно, то есть у вас нет права на ошибку.

## **ПЕРЕМЫЧКИ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ**

Как любители, так и многие профессионалы редко используют двусторонние печатные платы. Радиоаппаратура массового производства (видеомагнитофоны, проигрыватели лазерных дисков или магнитных кассет и т.д.) обычно оснащена односторонними печатными платами, изготовленными из гетинакса, что существенно сокращает затраты на производство. Этот устаревший тип печатной платы часто совмещается со сложными современными компонентами, имеющими четыре ряда выводов с шагом 1,27 мм. В подобных схемах обычно используется большое число перемычек.

Если в плате должны быть перемычки, при ее проектировании следует соблюдать несколько простых правил. Во-первых, перемычки всегда следует располагать параллельно одной из сторон платы, даже если это приведет к удлинению проводящих дорожек. Во-вторых, если две соединяемые точки слишком удалены друг от друга, лучше использовать несколько коротких перемычек, чем одну длинную (рис. 1.19а).

В результате удастся получить плату более эстетичного вида; кроме того, изготовить очень длинную прямую перемычку довольно сложно. Наконец, стоит попытаться сгруппировать вместе несколько перемычек, придавая им одинаковые длины, даже если для этого придется изменить трассы дорожек (рис. 1.19б).

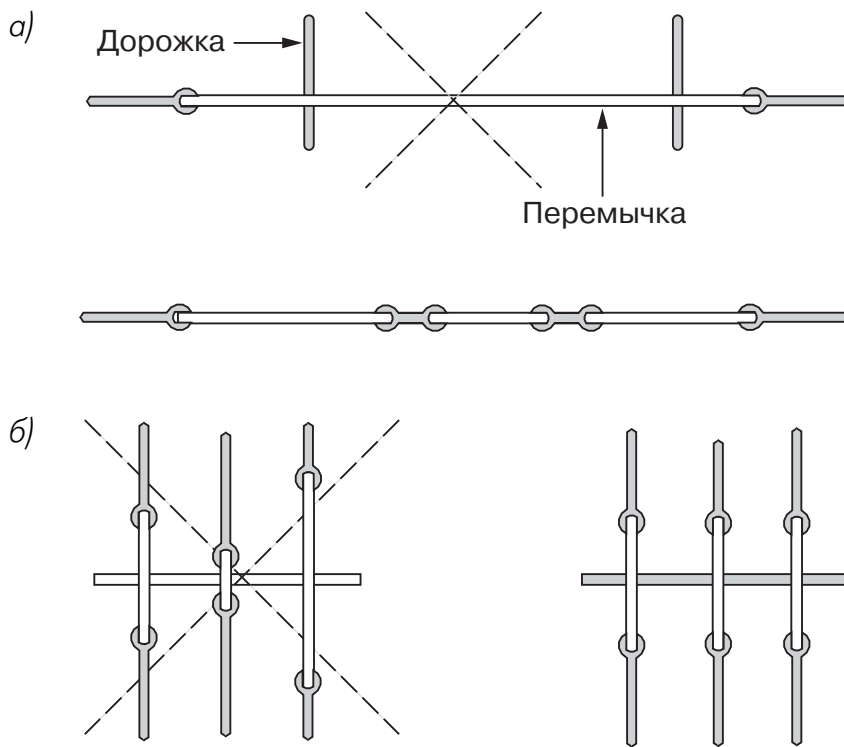


Рис. 1.19

Об изготовлении перемычек говорилось в разделе «Выпрямление одножильного провода». Следует сохранять отрезки проволоки, образующиеся при укорачивании выводов компонентов, – они могут пригодиться для изготовления перемычек.

## БЛОК ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Для кодирования адреса или программирования двоичного слова на логической карте часто используют набор миниатюрных выключателей, собранных в корпусе типа DIP. Такой корпус легко устанавливать, а маркировка выключателей позволяет без труда определять, включены они или выключены.

Основной недостаток блока – его высокая цена. Можно без труда заменить эти выключатели розеточной частью разъема с двумя рядами гнезд, вставив в нужные места съемные перемычки, которые замыкают два контакта, расположенные друг против друга (рис. 1.20). Подобный элемент занимает даже меньше места, чем блок выключателей, а маркировка состояний отчетливо видна (по наличию перемычек). Цена переключателя

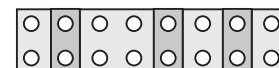


Рис. 1.20

очень невысока, особенно если используются переключки карт, вышедших из строя.

## ОТВЕРТКА ДЛЯ НАСТРОЙКИ

Переменные резисторы и конденсаторы имеют цилиндрическую ось со шлицом для выполнения регулировки с помощью обычной отвертки. В процессе регулировки довольно сложно удерживать кромку отвертки в нужном положении, одновременно наблюдая за изменением сигнала на экране осциллографа; крестообразная отвертка была бы в данном случае значительно удобнее.

Существует специальная «настроечная» отвертка, имеющая на конце пластмассовый колпачок, который одевается на регулировочную ось и не позволяет отвертке выскальзывать из шлица.

Подобный инструмент несложно изготовить, если плотно надеть отрезок хлорвиниловой трубки подходящего диаметра на обычную отвертку (рис. 1.21).

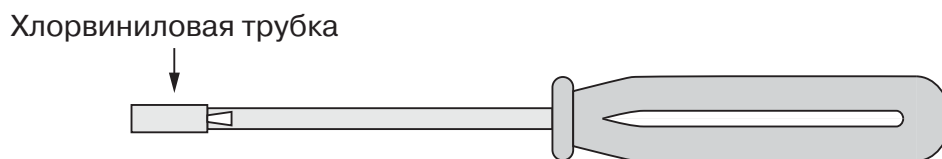


Рис. 1.21

Необходимо следить за тем, чтобы отвертка, используемая для регулировки переменного конденсатора, не была намагничена (это не столь важно при настройке переменного резистора). В противном случае можно сбить регулировку и даже нарушить работу схемы. Поэтому следует выбирать отвертку, которая не находилась в контакте с намагниченными инструментами или в зоне действия высокого магнитного поля.

## УСТАНОВКА ТРАНСФОРМАТОРОВ

### Монтаж тороидальных трансформаторов

Тороидальные трансформаторы обычно используются в устройствах высокой мощности, поскольку занимают значительно меньше места, чем классические модели. Во время их монтажа необходимо точно следовать указаниям производителя и применять для крепления только рекомендуемые кольца (из металла или неопрена). Если два тороидальных трансформатора располагаются в одном

корпусе, нельзя использовать для них общий крепежный болт, проходящий по центру. В соответствии с законами магнетизма трансформаторы обязательно будут взаимодействовать, что приведет к нарушению работы устройства.

## **Крепление трансформаторов**

Когда трансформатор (даже небольшого размера) монтируется на печатной плате, следует в дополнение к припаиванию выводов предусмотреть его механическое крепление. Если мощность трансформатора превышает 10 ВА, его весом уже нельзя пренебречь. При падении устройства плохо закрепленный трансформатор может повредить соседние компоненты. Классические модели трансформаторов с наборным сердечником начиная с определенных размеров снабжены специальными монтажными скобами. Необходимо крепко стянуть набор с помощью болтов и надежно закрепить трансформатор на плате.

При проектировании размещения элементов нужно оставить достаточно места для выводов и крепежных отверстий. Залитые трансформаторы часто имеют крепежные лапки или сквозные отверстия для крепления. Иногда они снабжены пластмассовыми вставками с отверстиями, которые предназначены для крепления с помощью винтов.

## **Особенности залитых трансформаторов**

Залитые трансформаторы соответствуют более высоким стандартам по изоляции, чем обычные модели. Но у них есть свои недостатки: худшие условия теплоотвода и высокая цена. Некоторые из них снабжены встроенной термозащитой. Следует помнить о том, что такая защита необратима, то есть, если она срабатывает, трансформатор просто выходит из строя.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКЕТНОЙ ПЛАТЫ**

Для изготовления прототипа, макета или единичного экземпляра электронного устройства можно обойтись без выполнения рисунка печатной платы. Когда речь идет о небольшом числе компонентов или о временной схеме, удобно использовать плату с отверстиями (без металлизации), в которые просто вставляют компоненты, соединяя их перемычками.

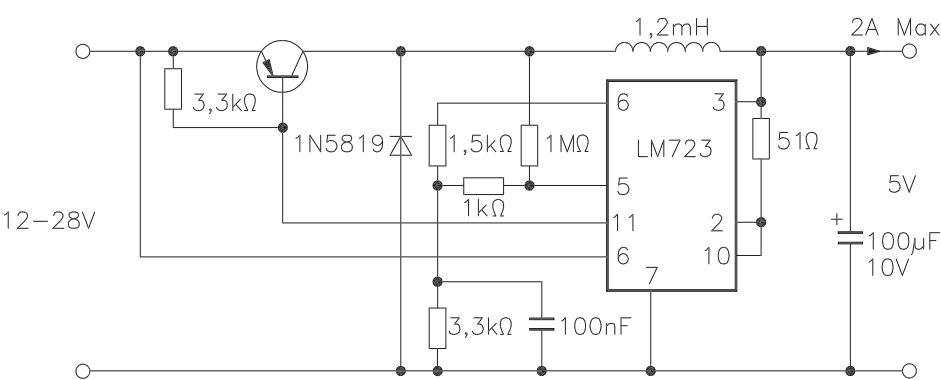
Для более сложных вариантов подойдет макетная плата с квадратными контактными площадками, размещенными в узлах сетки со стандартным шагом (рис. 1.22).



1	Конструирование и сборка электронных устройств	9
---	--	---

2

РАЗРАБОТКА  
ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ



3	Тестирование. Измерения. Устранение неисправностей	135
4	Микроконтроллеры. Информатика	155
5	Справочная информация	185

В данной главе рассматриваются общие вопросы разработки электронных схем, описываются многие стандартные и специализированные компоненты. Каждый читатель в соответствии со своим уровнем подготовки сможет почерпнуть в данном разделе новые знания о деталях и особенностях существующих схем.

Материал, изложенный ниже, поможет разработать и изготовить различные электронные устройства собственными силами. Речь пойдет о проектировании схем, в которых используются только простые компоненты, доступные каждому любителю. Изложение рассчитано на читателя с техническим складом ума, которому уже приходилось собирать электронные устройства, пользуясь готовыми наборами деталей или схемами средней сложности из специальных журналов. Как правило, для этого необходимо изучить принципиальную схему устройства и иметь некоторые навыки по его настройке. После приобретения определенного опыта можно без большого труда самостоятельно конструировать разные типы схем. При этом любитель (в отличие от профессионала) может выбирать разновидность схемы на свой вкус и по своим возможностям.

## **ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРОВ**

Как известно, аккумуляторы делятся на два больших семейства: свинцовые и никель-кадмиевые. Первые применяются во всех транспортных средствах со стартерами (и в некоторых других областях). Вторые, менее тяжелые и громоздкие, используются для питания радиотелефонов, переносных компьютеров, видеокамер и другой аппаратуры. Сегодня различные модели обоих типов представлены в большом ассортименте, и каждый может выбрать то, что ему требуется.

Условия перезарядки для обоих семейств различны, и эти правила необходимо строго соблюдать. Ниже представлены основные рекомендации по зарядке аккумуляторов. Свинцовые аккумуляторы с пробками или без пробок (запаенные) заряжаются при ограниченном токе. Его значение выбирают равным  $C/10$ , где  $C$  – емкость в ампер-часах. Требуемое напряжение зарядного устройства составляет 2,4 В на каждый элемент. Таким образом, аккумулятор с номинальным напряжением 12 В емкостью 5 А ч, состоящий из 6 элементов по 2 В, будет заряжаться при напряжении 14,4 В (как у автомобильного генератора) и токе 0,5 А. Избыточная длительность перезарядки не приносит большого вреда. Если аккумулятор



находится в нормальном рабочем состоянии, то при достаточном уровне зарядки потребление тока сокращается само по себе.

В процессе зарядки никель-кадмиевых аккумуляторов рекомендуется использовать ток, составляющий десятую часть номинальной емкости (например, 60 мА для батареи емкостью 600 мА ч), в течение 16 часов. В любом случае ток следует ограничить с помощью резистора, включенного последовательно с источником напряжения (желательно стабилизированного). Если источник позволяет задать ограничение по току, нужно отрегулировать его на величину, не представляющую угрозы для батареи.

Наконец, не следует забывать о том, что напряжение аккумулятора в процессе зарядки увеличивается и что в конце операции оно может превысить заданное напряжение источника питания. Чтобы ток не протекал через источник в обратном направлении, рекомендуется подключить защитный диод (см. также разделы «Выходной конденсатор» и «Генератор тока»).

Пользователям переносных компьютеров и сотовых телефонов хорошо знаком «эффект забывания». Если аккумулятор начинают перезаряжать, когда он еще не полностью разрядился, его емкость после отключения зарядного устройства будет равна той, что он имел до перезарядки. Иначе говоря, либо аккумулятор надо постоянно оставлять на зарядке, либо надо дожидаться его полной разрядки, а затем зарядить. В противном случае срок службы батарей существенно сокращается. По этой причине «разумные» зарядные устройства полностью разряжают аккумулятор перед его зарядкой. Разработаны новые типы аккумуляторов, например никель-марганцевые или литий-ионные, свободные от такого недостатка. Они значительно дороже, но имеют более широкие возможности применения.

## СОГЛАСОВАНИЕ КМОП И ТТЛ СХЕМ

Еще совсем недавно все логические интегральные схемы принадлежали к семейству транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Их маркировка начиналась с цифр 74, за которыми следовали буквы LS или ALS. Затем появились КМОП схемы типа CDXX и, наконец, комбинированные микросхемы, сочетающие преимущества обоих семейств (например, 74НС и 74НСТ).

Элементы ТТЛ типа по быстродействию превосходят КМОП микросхемы, но потребляют значительно больше энергии; напряжение питания для них равно 5 В. Схемы на КМОП транзисторах отличаются исключительно малым потреблением тока, особенно

при низкой частоте переключения, и способны работать при напряжении питания от 3 до 15 В. Недостатком таких приборов является их высокая чувствительность к статическому электричеству. Чтобы при соприкосновении с изделиями из синтетических материалов приборы не выходили из строя, необходимо принимать специальные меры защиты.

В настоящее время оба типа микросхем широко распространены, и нередко возникает необходимость сочетания в одном устройстве двух интегральных схем (ИС) различных типов. Это не вызывает

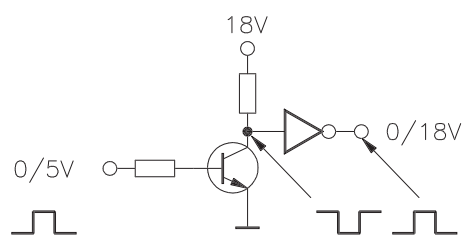


Рис. 2.1

трудностей, если их напряжения питания совпадают. В противном случае между выходом одной микросхемы и входом другой нужно добавить согласующий каскад на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером (рис. 2.1). Следует помнить, что такой каскад инвертирует логические

сигналы, и для восстановления полярности выходных импульсов после него потребуется включить дополнительный инвертор.

Напомним также, что неиспользуемый логический вход (ТТЛ или КМОП элементов) никогда не должен оставаться свободным. Его следует подключить через резистор к напряжению  $V_{cc}$ ,  $V_{ss}$  (в зависимости от типа вентиля) или к точке с подходящим потенциалом, выбрав наиболее простой вариант соединения для данного рисунка печатной платы.

## ИСТОЧНИК АВАРИЙНОГО ПИТАНИЯ

Иногда необходимо поддерживать питание устройства в течение некоторого времени, даже если напряжение сети отключается. Это важно, например, для цифровых часов, которые должны вести непрерывный счет времени.

В случае кратковременного прерывания питания можно подключить к источнику напряжения конденсатор большой емкости, соблюдая при этом необходимые меры предосторожности (см. раздел «Выходной конденсатор»). Гораздо надежнее другой вариант, не требующий больших затрат: использование батарейки и диода, предотвращающего протекание тока в обратном направлении (рис. 2.2). Такое решение не потребует большого дополнительного места. Установка аккумулятора (вместо батарейки) оправдана лишь в редких случаях, например для питания микроконтроллера.

## ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

### Присоединение неиспользуемых входов

Иногда один из операционных усилителей (ОУ) микросхемы, в корпусе которой размещаются два или четыре ОУ, не применяется. Подчас это делается преднамеренно, как, например, при использовании микросхемы LM324 (счетверенный ОУ), которая обычно дешевле, чем сдвоенный аналог LM358. В этом случае возникают проблемы паразитных колебаний и избыточного потребления. Для их разрешения неиспользуемые входы следует соединить по схеме повторителя напряжения, то есть вход «+» с общей точкой, а вход «–» с выходом (рис. 2.3).

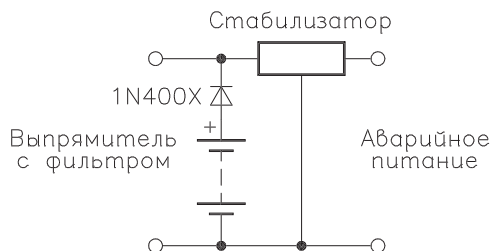


Рис. 2.2

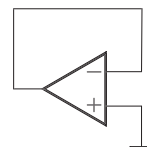


Рис. 2.3

### Уровни выходного сигнала

Операционный усилитель может с одинаковым успехом использоваться как в аналоговых приложениях (в усилителях и генераторах гармонических сигналов), так и в цифровых. В технической документации, прилагаемой к этому компоненту, среди прочих характеристик указывают максимальный уровень выходного сигнала по отношению к напряжению питания. Известная микросхема LM324, например, имеет типичный уровень сигнала –1,5 В. Таким образом, при питании 5 В напряжение на ее выходе никогда не превысит 3,5 В. Это может мешать запуску логической схемы, порог переключения которой не адаптирован к такому уровню, или обеспечению питания нагрузки, требующей более высокого напряжения (хотя LM324 может обеспечить достаточный ток).

В этом случае включение реле DIP 5 В становится ненадежным. В зависимости от того, к какому источнику подключен светодиод (к Vcc или Vss), он либо никогда полностью не погаснет, либо будет гореть с меньшей интенсивностью. В подобных случаях на выходе операционного усилителя рекомендуется поставить буферный каскад на транзисторе.

## Объединение выходов операционных усилителей

Иногда при использовании ОУ в качестве компараторов напряжения возникает необходимость объединения их выходов. Разумеется, такую операцию нельзя проводить с моделями, для которых подобный вид соединения не предусмотрен (например, LM324). Микросхема LM389 имеет на выходе каскад на транзисторе  $n-p-n$  типа с открытым коллектором (см. раздел «Каскады с открытым коллектором») и допускает такое соединение. Типичное применение такой схемы – отслеживание аналоговой величины (например, напряжения батареи) и выдача сигнала в случае ее выхода за пределы заданного диапазона (рис. 2.4). Оба усилителя включены по схеме компаратора, один для верхнего порога, другой – для нижнего.

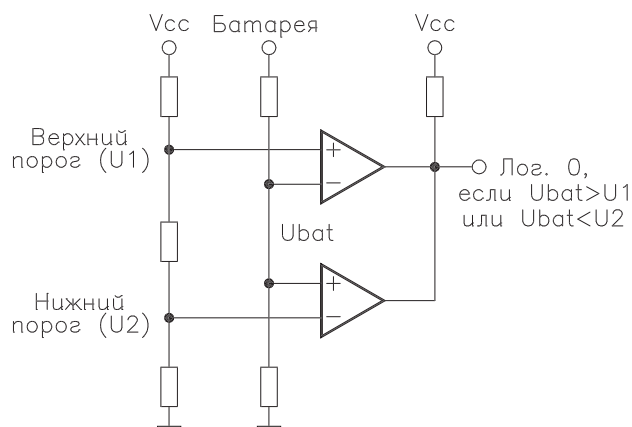


Рис. 2.4

Когда контролируемое напряжение находится в допустимых пределах, на выходе каждого компаратора имеется состояние логической единицы (выходной транзистор выключен). Когда же напряжение выходит за заданные рамки, логическое состояние на выходе изменяется на противоположное.

Объединение выходов применяется также в устройствах, в которых аналого-цифровое преобразование выполняется путем сравнения напряжений, где один и тот же бит (выход всех компараторов) служит для считывания результатов многих преобразований. Во всех случаях не следует забывать о подключении нагрузочного резистора, общего для всех компараторов, к положительному выводу источника питания.

## СВЕТОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

### Буквенная индикация

Семисегментный индикатор позволяет отображать не только цифры, но и некоторые другие знаки и символы. Если творчески отнестись

к поставленной задаче, можно обойтись без 16-сегментной модели или точечной матрицы, которые намного дороже и сложнее в применении. При этом вид отображаемой информации будет в большей степени зависеть от возможностей индикатора, чем от реальной необходимости. На рис. 2.5 представлены некоторые примеры того, что может отображать индикатор. Управление различными сегментами осуществляется при помощи специализированной логической схемы, как и в большинстве случаев применения символьной индикации.



Рис. 2.5

### Алфавитно-цифровые индикаторы на жидких кристаллах

Кроме классических семисегментных индикаторов имеется семейство так называемых «разумных» индикаторов. Они могут отображать не только цифры, но также буквы и некоторые другие символы на одной или двух строках из 8 или 16 знаков с фоновой подсветкой или без нее. Такие модули снабжены довольно сложной электроникой, они получают информацию от микроконтроллера через стандартный параллельный интерфейс в сочетании с тремя дополнительными управляющими вводами (рис. 2.6).

Два ввода постоянно используются при работе, а третий (R/W), служащий при необходимости для считывания содержимого внутренней памяти, может быть заземлен через резистор.

Наиболее распространенные управляющие программы описаны в главе 5. Пока же достаточно отметить, что индикатором можно

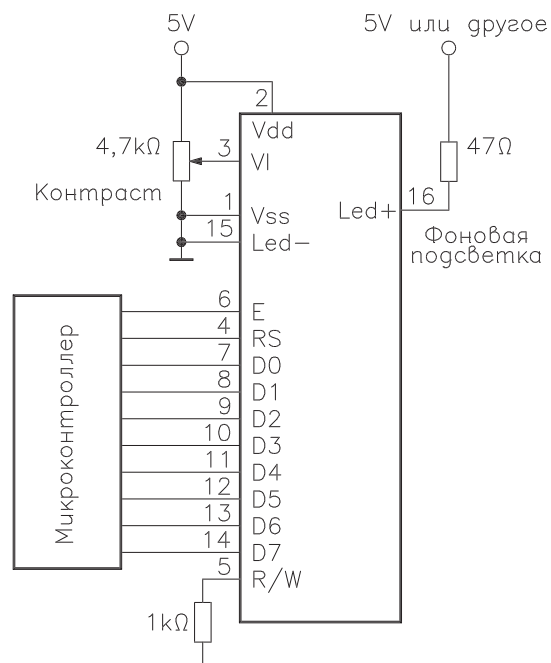


Рис. 2.6

управлять с помощью четырех битов вместо восьми. В этом случае, как ни странно, многие модели со строкой из 16 знаков начинают функционировать как двустрочные индикаторы, содержащие по восемь знаков на строку. Иначе говоря, после отправления восьмого знака необходимо выдать команду перехода на другую строку, чтобы получить возможность написать девятый знак.

Индикаторные модули позволяют регулировать контрастность изображения с помощью внешнего переменного резистора. Такое устройство необходимо, поскольку подключение соответствующего контакта к фиксированному напряжению ( $V_{ss}$  или  $V_{cc}$ ) не позволяет получить оптимальную контрастность. При подборе яркости фоновой подсветки, которую дают размещенные за индикатором светодиоды, лучше определить величину ограничивающего резистора экспериментальным путем, не полагаясь на инструкции производителя.

Подсветка потребляет много энергии, поэтому желательно выбрать максимально допустимую величину резистора, обеспечивающую достаточное освещение при любых условиях.

### **Мультиплексирование многоразрядного индикатора**

Как правило, семисегментным индикатором управляют посредством специализированной микросхемы декодирования (например, CD4511), включающей в себя четырехбитный дешифратор, защелку и несколько буферных каскадов для запуска каждого светодиода. Если для индикации необходимо использовать ряд цифр, задача существенно усложняется, ведь при этом нужны схемы декодирования для всех цифр, а каждой из этих схем должна также управлять довольно сложная логическая схема (рис. 2.7а).

В таком случае рисунок печатной платы принимает вид головоломки, поскольку индикатор может иметь самое различное размещение компонентов. Кроме того, резко увеличивается общий расход тока, поскольку токи, потребляемые каждым освещенным сегментом, суммируются.

Другой подход состоит в мультиплексировании индикации, когда нужные цифры отображаются одна за другой с частотой, при которой создается впечатление, что все они светятся постоянно. Если частота повторения слишком высока, яркость свечения снижается, при слишком низкой частоте появляется заметное мелькание. Подобная техника существенным образом упрощает электрические

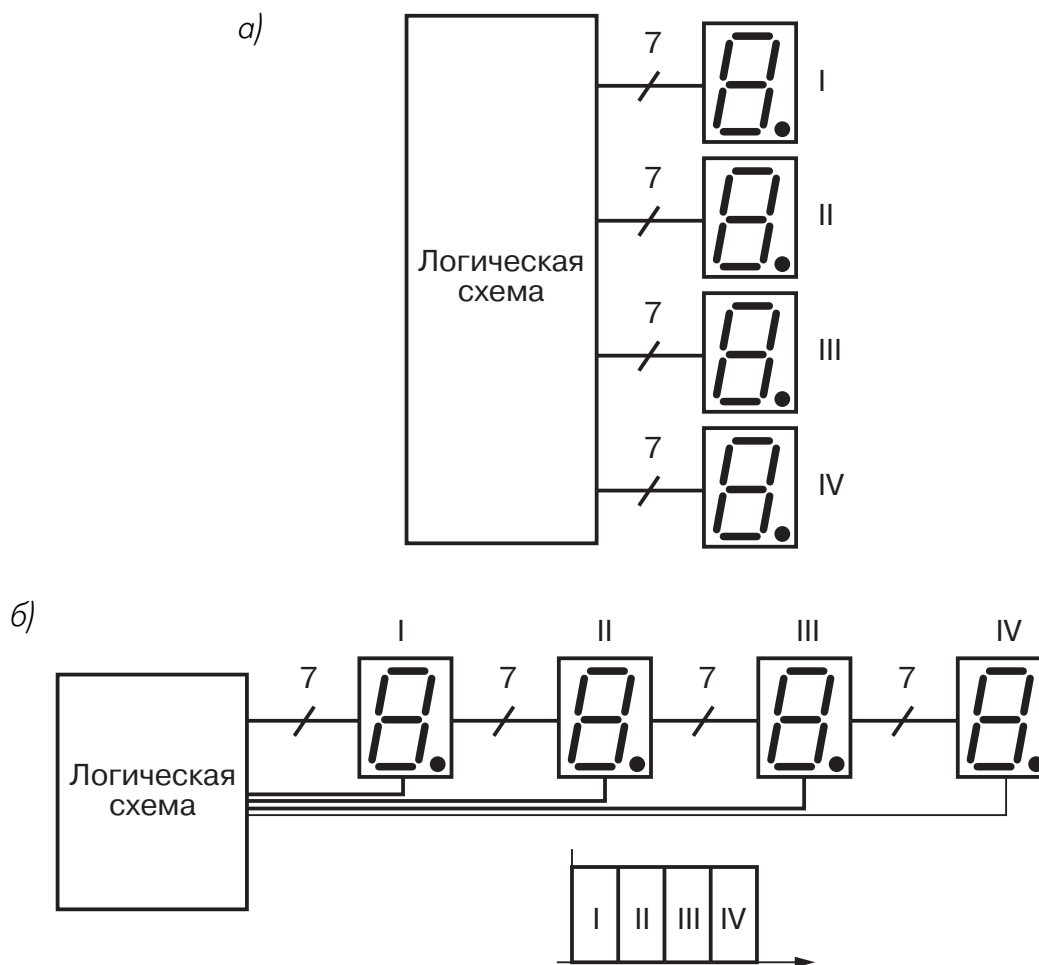


Рис. 2.7

соединения и сокращает общее потребление энергии, поскольку в каждый момент времени горит только один индикатор.

На схеме, показанной на рис. 2.7б, осуществляется поочередное подключение общего электрода каждого из индикаторов (анода или катода). Когда некоторые сегменты активированы, загорается только тот индикатор, общий электрод которого также активирован, а остальные индикаторы погашены. Сначала управляющий сигнал поступает на общий электрод светодиодов первого индикатора, активируя его на определенный промежуток времени. По истечении этого интервала сигнал получает следующий индикатор и т.д. При этом необходимо точно соблюдать последовательность подачи управляющих сигналов на общий электрод и на соответствующие сегменты, что успешно выполняется некоторыми специализированными интегральными схемами (например, ICL7107). Вместо этого можно использовать микроконтроллер с соответствующим программным обеспечением.



## Температурный дрейф подстроечных резисторов

У всех резисторов, в особенности у подстроечных, номиналы могут изменяться в зависимости от температуры. Необходимо учитывать

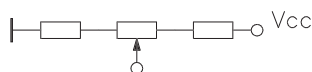


Рис. 2.8

это явление как при разработке, так и при изготовлении схемы. По обе стороны от подстроечного резистора следует поместить постоянные резисторы (рис. 2.8), а также расположить подстроечный резистор как можно дальше от всех источников тепла.

Желательно удалить на максимальное расстояние охлаждающие радиаторы, стабилизаторы, мощные резисторы и трансформаторы. Дополнительные резисторы позволяют свести диапазон регулировки сопротивления к минимуму. Кстати, к этой мере рекомендуется прибегать всегда, даже когда нет опасности перегрева. Как правило, после тестирования схемы необходимо уточнить рассчитанные параметры.

## ТРИГГЕРЫ И СЧЕТЧИКИ

Триггеры (логические элементы с двумя устойчивыми состояниями, подобные выключателю) могут быть выполнены как в ТТЛ (7413, 7414 и т.д.), так и в КМОП (CD4013) базисе. В одном корпусе содержится как минимум два триггера. При их монтаже необходимо соединить между собой некоторые выводы, что усложняет рисунок

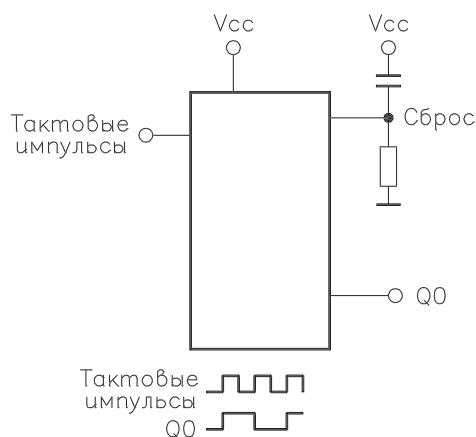


Рис. 2.9

печатной платы. Вместо этих компонентов можно взять любой двоичный счетчик (рис. 2.9) и использовать в качестве выходного сигнала состояние бита с наименьшим весом ( $Q_0$  или  $Q_1$ , в зависимости от изготовителя). Начальное состояние триггера можно выставить, подавая сигнал сброса на соответствующий вход счетчика.

Для решения рассмотренной задачи могут использоваться различные типы счетчиков, например

CD4020, CD4040 или CD4060. В зависимости от модели можно выбрать запуск по переднему или заднему фронту. Для уточнения этого вопроса следует обратиться к технической документации.

## БУФЕРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Микросхема CD4050 содержит шесть буферных усилителей, функция которых состоит в повышении мощности слабых сигналов до той величины, что необходима для управления компонентами с высоким потреблением тока (например, светодиодами). Ряд усилителей можно без всяких проблем соединить параллельно – для того чтобы увеличить выходной ток или не оставлять свободными входы одного или нескольких усилителей. Такая схема часто используется для управления мощными МОП транзисторами или источниками звуковых сигналов (рис. 2.10).

Аналогичным образом можно включать инверторы (микросхема CD4049). У этих микросхем есть одна особенность: их положительный вывод питания ( $V_{cc}$ ) обозначен номером 1 (у большинства микросхем это номер 16).

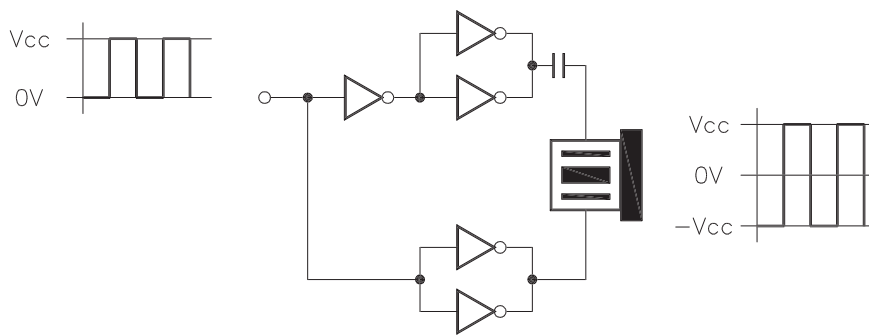


Рис. 2.10

## ПОДАЧА ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Существует много различных зуммеров, или звуковых преобразователей. Эти устройства можно разделить на два семейства: простые зуммеры и зуммеры со встроенным генератором. Последние использовать проще, поскольку, чтобы они зазвучали, им достаточно обеспечить питание. Зуммеры со встроенным генератором потребляют мало энергии при очень широком диапазоне напряжений питания, но их цена довольно высока. Для работы простого зуммера нужен внешний генератор, но часто вместо него можно использовать источник сигнала, уже имеющийся в схеме. Таким источником может быть, например, неиспользуемый (или используемый) выход счетчика или тактового генератора.

Когда для управления применяется микроконтроллер, нетрудно создать генератор, введя в программу логический цикл. В этом

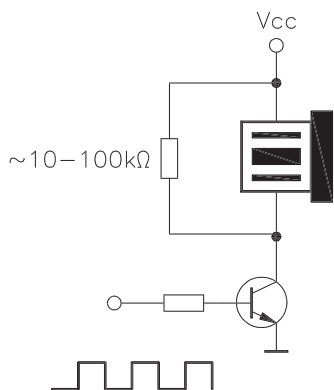


Рис. 2.11

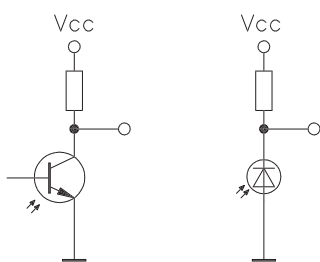


Рис. 2.12

случае легко управлять частотой сигнала и появляется возможность регулировать тональность звучания.

С точки зрения схемотехники зуммер можно считать емкостной нагрузкой, поэтому во многих случаях параллельно ему следует подключить резистор (рис. 2.11).

## ДАТЧИК ОСВЕЩЕННОСТИ

Классические полупроводниковые датчики освещенности, например фотодиоды и фототранзисторы, представляют собой диоды и транзисторы, у которых одна сторона корпуса пропускает свет. Чтобы в этом убедиться, попробуйте аккуратно спилить верхнюю часть металлического корпуса транзистора, например типа 2N2222 или 2N1711. Затем подключите к нему напряжение, не присоединяя базу, и вы сможете констатировать, что

протекающий по цепи коллектор–эмиттер ток реагирует на источник света, направленный на прибор (рис. 2.12). Аналогичный эксперимент можно провести и со светодиодом.

## ДАТЧИК УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

Для определения уровня жидкости часто используются свойства проводимости этой жидкости. Во избежание появления коррозии измерение ограничивают во времени, включая схему только на промежуток считывания или используя импульсный сигнал. Собственно датчик уровня может иметь металлические контактные пластины различной формы, закрепленные на стенке сосуда или просто погружаемые в жидкость. Базовая точка измерений всегда должна находиться на дне сосуда в постоянном контакте с жидкостью независимо от ее уровня. Датчик в виде отрезка многожильного ленточного кабеля, провода которого обрезаны до различной длины, а затем оголены и облужены, представляет собой оригинальное и не лишнее изящества решение (рис. 2.13).

Электрическое подключение к схеме существенно упрощается за счет применения одного из многочисленных соединительных элементов, разработанных для кабелей такого типа. Одна жила ленточного кабеля (самая длинная) резервируется для фиксации базового

уровня и при необходимости снабжается кабельным наконечником. Для механической сборки датчика можно применять специальные хомуты или отрезки клейкой ленты. По мере увеличения уровня жидкости все большее количество проводов датчика соединяется с заземленной базовой точкой через сопротивление жидкости, что легко зафиксировать по изменению потенциалов на выходах.

Следует учитывать, что жидкость (в частности, вода) может иметь высокое удельное сопротивление, поэтому иногда приходится обрабатывать выходные сигналы с помощью операционных усилителей.

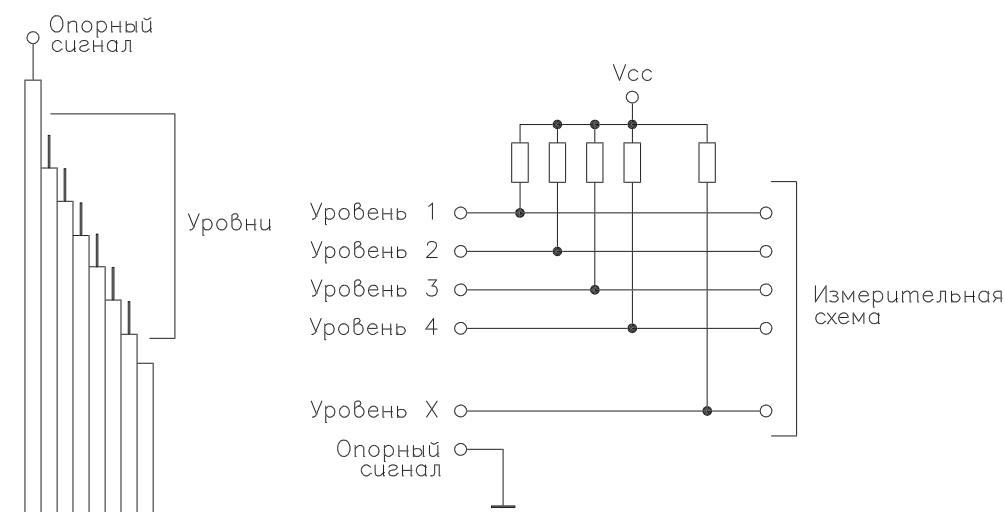


Рис. 2.13

## ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ

Существует большое количество датчиков температуры: к ним относится и широко распространенный прибор типа СТН, обладающий скромными возможностями, и калиброванные приборы, например SAX1000, и высококачественная микросхема типа DS1620. Последняя принадлежит к новому поколению специализированных схем, выполняющих широкий диапазон функций. Она размещена в простом корпусе типа DIP8. Для работы с микросхемой требуется микроконтроллер. При этом на базе DS1620 можно создать термостат с двумя заданными порогами регулировки температуры (верхним и нижним). Микросхема может работать в режиме термометра в интервале температур от  $-55$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ . Результат измерения представляется в виде девятибитного сигнала с точностью  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Для связи с микроконтроллером требуется три линии. Одна из них должна быть двунаправленной. Последнее требование выполняется

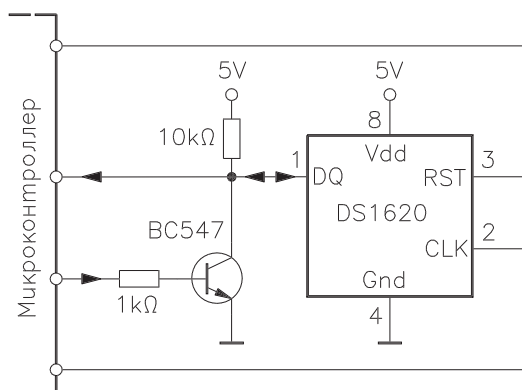


Рис. 2.14

редко. Чтобы его обойти, можно использовать простой каскад на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером (рис. 2.14).

Это позволяет заменить одну двуправленную линию двумя обычными линиями, соединенными со входом и выходом каскада. Следует напомнить, что такая схема инвертирует сигналы, поступающие от микроконтроллера. Поэтому не-

обходимо либо добавить инвертор, либо соответствующим образом изменить программу. Достаточно простой вариант программы обычно приводится в технической документации, которую рекомендуется приобрести вместе с микросхемой.

## НАГРЕВ ЖИДКОСТИ

Как правило, разработчик электронной схемы принимает меры для отвода тепла, выделяемого компонентами. Однако в некоторых случаях это тепло можно использовать для нагревания жидкости, например раствора хлорного железа или других реактивов.

Простой способ нагревания состоит в применении мощных резисторов в специальном корпусе, который крепится с помощью винтов (серия WH). В большинстве случаев достаточно мощности около 50 Вт. Последовательное или параллельное соединение резисторов позволит наилучшим образом использовать характеристики мощного трансформатора для питания нагревателя.

Механический монтаж состоит в закреплении резисторов на металлическом листе (при помощи винтов с потайными головками). На лист устанавливают нагреваемую емкость (рис. 2.15). Сюда же можно прикрепить диодный мост и другие детали устройства, которые существенно нагреваются при работе. Для завершения разработки иногда нужно изготовить терморегулятор (или подогнать готовую модель) и использовать мощное реле, включенное в цепь питания резисторов.

## КАСКАДЫ С ОТКРЫТЫМ КОЛЛЕКТОРОМ

В литературе по электронике и технической документации часто встречается термин «открытый коллектор». Он связан с транзисторными каскадами и интегральными схемами. Примерами могут

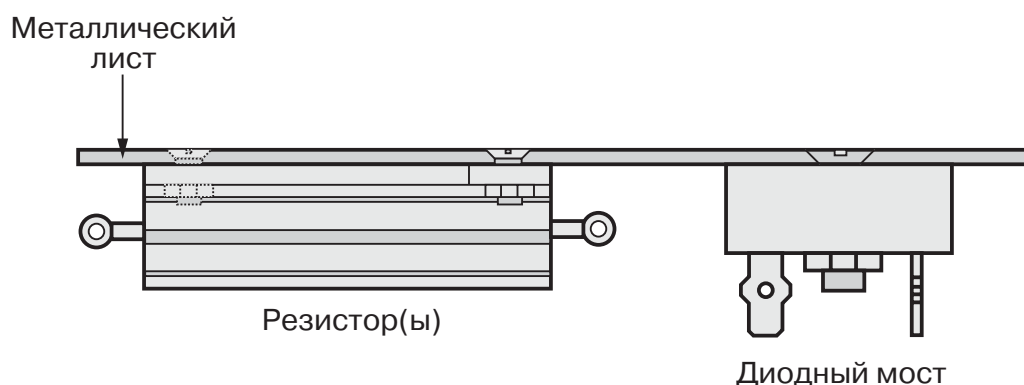


Рис. 2.15

служить логические ИС семейства ТТЛ или другие схемы, предназначенные для обеспечения питания, стабилизации или усиления. В такой конфигурации транзистор  $n-p-n$  или  $p-n-p$  типа включен по схеме с общим эмиттером, а его коллектор остается свободным для использования разработчиком устройства (рис. 2.16а).

Выше уже описывалось одно из преимуществ этой концепции – возможность параллельного соединения нескольких идентичных схем (см. раздел «Объединение выходов операционных усилителей»). Выходы элементов с открытым коллектором соединяются, на этом основано построение логических устройств с тремя состояниями.

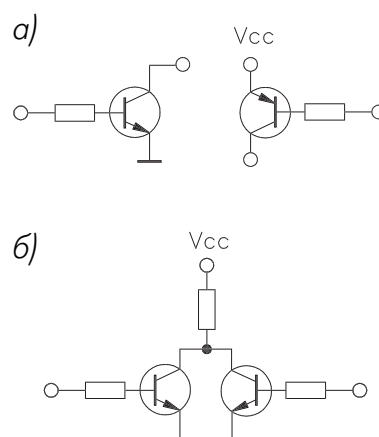


Рис. 2.16

Другой классический пример применения таких элементов – это согласование по уровню двух схем, работающих при разных напряжениях питания. В любом случае на выходе каскада с открытым коллектором должен быть включен резистор, соединенный с источником напряжения  $V_{cc}$  или  $V_{ss}$  (для транзисторов типа  $n-p-n$  или  $p-n-p$ ). Он фактически выполняет функцию нагрузочного резистора в цепи коллектора. При параллельном включении двух или более каскадов достаточно будет одного общего резистора (рис. 2.16б). Его номинал определяется в зависимости от токов, которые должны протекать по коллекторным цепям транзисторов. Напомним, что транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером, функционирует как инвертор.

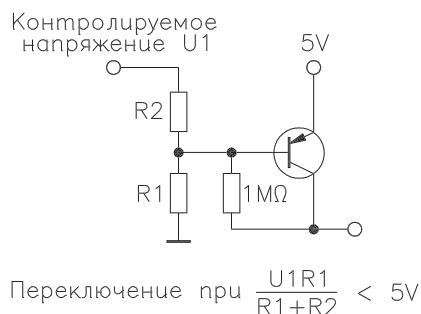


Рис. 2.17

## КОМПАРАТОРЫ

Для сравнения двух напряжений не обязательно обращаться к операционному усилителю. С подобной задачей вполне может справиться простая и дешевая схема компаратора на транзисторе, которая представлена на рис. 2.17.

Транзистор р–п–р типа сравнивает опорное напряжение на эмиттере с частью контролируемого напряжения, поданной на базу через резистивный делитель. Когда напряжение на базе падает ниже опорного, транзистор открывается, и выход компаратора (коллектор транзистора) переходит в состояние с высоким потенциалом. Такая схема может использоваться, например, для контроля напряжения батареи.

## ДВОИЧНЫЕ СЧЕТЧИКИ

### Блокировка счетчика микросхемы CD4060

Микросхема CD4060 вызывает большой интерес у разработчиков цифровых устройств. На ее основе построены многие простые и довольно сложные устройства. Микросхема содержит генератор импульсов, для задания параметров которого потребуется два внешних

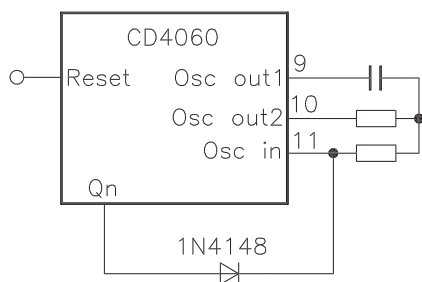


Рис. 2.18

резистора и один конденсатор (или кварцевый резонатор), а также 14-каскадный двоичный счетчик (рис. 2.18). Число выводов корпуса (типа DIP16) не позволяет целиком использовать все 14 выходов счетчика.

Когда генератор не связан со счетчиком, он может играть роль тактового генератора. При соединении этих двух элементов схема выполняет функцию таймера.

Небольшая хитрость позволяет блокировать работу генератора при переходе одного из выходов в состояние логической единицы, что дает возможность, например, включить сигнал тревоги по истечении заданного промежутка времени. Для этого достаточно соединить



вход Osc in, который обычно через резистор подключен к выводу Osc out1, с одним из выходов, обозначенным как Qn. Во избежание осложнений такое соединение производится через диод.

Для остановки генератора можно использовать любой другой сигнал, переходящий в состояние логической единицы. Когда счетчик и генератор заблокированы, из этого состояния их может вывести только управляющий импульс на входе Reset.

### **Маркировка выводов**

Обозначение номеров выводов двоичного счетчика часто является источником ошибок. Разработчики логических устройств, как правило, предпочитают начинать нумерацию разрядов с нуля. Однако конструкторы микросхем обозначают номера выводов начиная с единицы.

Таким образом, 12-битный счетчик (например, CD4040) имеет номера выводов от Q1 до Q12, в то время как программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ) эквивалентной разрядности имеет адресные строки, обозначенные A0 – A11. Чтобы не запутаться, надо с самого начала найти на схеме или в технической документации наименьший номер и вести отсчет от него на протяжении всех последующих действий.

### **Каскадирование счетчиков**

Для обращения к ППЗУ большой емкости необходимо значительное число адресных линий. Например, для адресации к модели 27256 емкостью  $8 \times 32$  Кб нужно 15 адресных линий с A0 по A14. Как правило, намного удобнее использовать двоичный счетчик, который сканирует всю память, поскольку в классическом варианте для управления счетчиком требуется только два бита (один для тактового входа, другой для обнуления), а не 15. К сожалению, нет счетчиков с таким количеством выходов, несмотря на то что некоторые версии имеют 14 каскадов (например, микросхема CD4020). Но из 14 каскадов реально используется только 12, так как выходы Q1 и Q2 не подключены к внешним выводам.

Для счетчика CD4060 ситуация еще хуже, поскольку здесь можно использовать только 10 выходов. В результате необходимо применять каскадное соединение микросхем. Модель CD4040 отлично

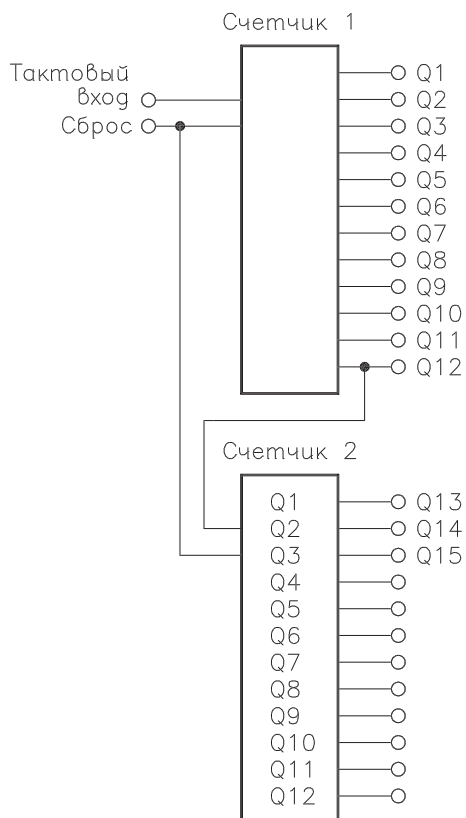


Рис. 2.19

подходит для решения этой задачи. Последний выход первого счетчика (Q12, если начинать отсчет от Q1), соединен с тактовым входом второго счетчика (рис. 2.19).

Входы обнуления (Reset) соединяются и управляются общим сигналом сброса. Составленный таким образом счетчик будет иметь 24 выхода, но использоваться будут только 15 первых.

Аналогичный подход возможен также при работе с ППЗУ большего объема. При необходимости ничто не мешает вслед за вторым счетчиком поставить и третий. Такой вариант схемы можно применять для последовательного поиска данных (например, при синтезировании звуковых сигналов или при создании сообщения на алфавитно-цифровом индикаторе).

В этом случае управление устройством лучше доверить микроконтроллеру, хотя при желании можно разработать управляющую схему на дискретных логических элементах.

## Обнуление счетчиков

Установка сложной логической схемы в исходное состояние часто требует обнуления одного или нескольких счетчиков, которые могут быть построены на триггерах различных типов. Выполнение этой операции должно быть тщательно продумано, так как от нее в значительной степени зависит функционирование всей системы. Лучше создать устройство обнуления, общее для всех узлов, а не отдельные независимые модули. Это возможно, только если уровни сигнала обнуления согласованы. Как правило, обнуление всех счетчиков осуществляется сигналом логической единицы и происходит автоматически при подаче напряжения питания (рис. 2.20).

Микроконтроллеры обычно имеют инвертированный сигнал обнуления, поэтому их не удастся включить в общую схему. В этом случае лучше дать микроконтроллеру возможность автоматически устанавливать в исходное состояние все остальные компоненты устройства.

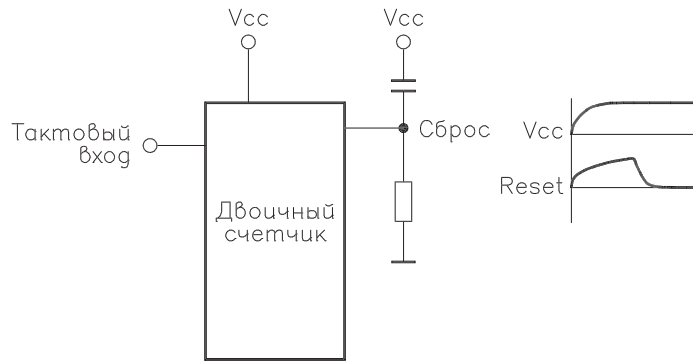


Рис. 2.20

### Сочетание счетчика с линейным индикатором

Лицевые панели современных приборов часто содержат светящиеся шкалы, отображающие какую-либо аналоговую величину или настройку приемника. Такой тип индикации, которая называется «линейной», формируется с помощью нескольких светодиодов, расположенных в ряд. Выпускаются готовые шкалы, состоящие из восьми или десяти светодиодов, собранных в корпусе DIP16 или DIP20. Можно также построить линейный индикатор собственными силами, используя круглые или прямоугольные светодиоды разных цветов или одного цвета. Однако управлять таким индикатором не очень просто. Для этого необходимо располагать двоичными сигналами, число которых равно числу светодиодов.

Если прибор содержит несколько однотипных модулей, разработка его схемы заметно усложняется. Более простое решение – использовать один или несколько двоичных счетчиков (рис. 2.21).

Счетчик заставляют считать вперед, воздействуя на его тактовый вход до тех пор, пока на выходах не появится требуемый результат. При подаче сигнала сброса все выходы счетчика переходят в нулевое состояние. После первого тактового импульса выход младшего разряда переходит в состояние логической

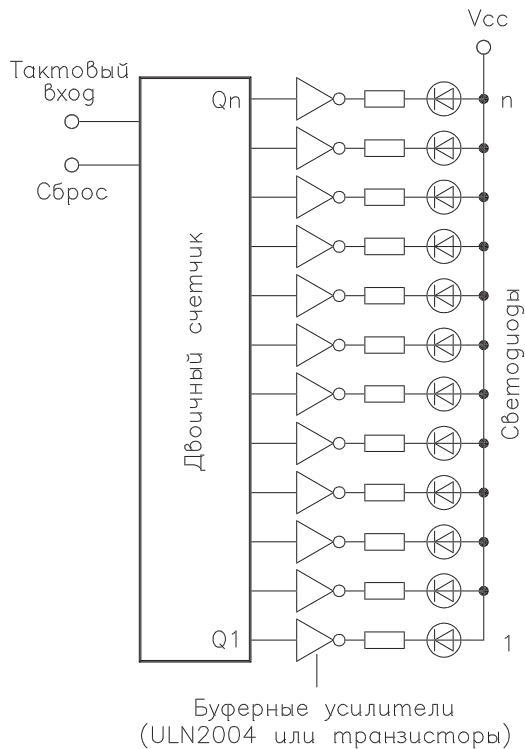


Рис. 2.21

единицы. Следующий период устанавливает это состояние на втором выходе, а первый разряд обнуляется. Третий период переводит в состояние логической единицы оба первых выхода и т.д. Если каждый из выходов соединить со светодиодами, такой двоичный счет будет отображаться индикатором.

По этому принципу можно построить линейный индикатор точечного типа (в каждый момент горит один светодиод) или типа светящейся шкалы. Управлять счетчиком для получения требуемой индикации должен микроконтроллер. Сложность этой задачи заключается в том, что счетчик невозможно сразу вернуть назад. Например, если горит третий светодиод, а необходимо зажечь второй, сначала надо погасить оба (через вход Reset), а затем отправить нужное число тактовых импульсов. Чтобы промежуточные этапы счета не были видны на индикаторе, следует увеличить скорость операций, особенно при зажигании последних светодиодов. Действительно, зажигание последнего диода из ряда, содержащего 10 штук, требует отправления 512 импульсов, а зажигание одновременно всех десяти – 1023 импульсов. Такая процедура не требует сложных вычислений для определения числа импульсов, соответствующего заданному состоянию индикатора.

В рассмотренном устройстве можно использовать любой двоичный счетчик (если только он имеет все необходимые выходы). Для создания очень большой шкалы придется каскадно соединить несколько таких счетчиков (см. выше). Не рекомендуется подключать светодиоды непосредственно к выходам счетчика, лучше использовать ряд буферных каскадов на основе микросхем типа ULN2004 или дискретных транзисторов, собранных в корпусе DIP.

## **АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ**

В настоящее время непрерывно растет число устройств, осуществляющих аналого-цифровое преобразование. По-видимому, стрелочный мультиметр скоро станет раритетом, так же как и ртутный термометр или стрелочный спидометр автомобиля. Для решения некоторых задач, например для цифровой обработки изображения, созданы преобразователи с числом каналов, разрешающей способностью (число бит) и скоростью, которые несколько лет тому назад трудно было себе представить. Такие схемы требуют сложного и дорогостоящего программирования даже для довольно простых приложений.

Схема аналого-цифрового преобразователя, представленная на рис. 2.22, уже в значительной мере устарела. Подобной схемой были

оснащены игровые приставки для домашних компьютеров примерно лет пятнадцать назад. Ее разрешающая способность весьма скромна (приблизительно 8 бит), однако точность заслуживает уважения. Время преобразования зависит от номиналов выбранных компонентов, а также от частоты тактового генератора.

Принцип работы схемы основан на сравнении известного напряжения с тем, которое нужно измерить.

Для этого используется интегрирующая RC цепочка, на которую подается серия импульсов с фиксированной частотой, но переменной шириной. На конденсаторе формируется пилообразное напряжение, которое подводится к одному из входов компаратора напряжений, построенного на основе операционного усилителя. Импульсы генерируются микроконтроллером, он же управляет регистром, содержащим результат измерения.

В начале цикла преобразования регистр результата обнуляется. Одновременно с этим на интегрирующую цепочку подается положительный импульс, и конденсатор начинает заряжаться. Считывание состояния выхода компаратора в конце первого такта позволяет узнать, превышает ли напряжение на конденсаторе измеряемую величину. Если нет, то содержимое регистра увеличивается на единицу, а импульс поддерживается в состоянии логической единицы в течение нового тактового промежутка. После его окончания процесс считывания повторяется. Так продолжается до тех пор, пока напряжение на конденсаторе не превысит измеряемую величину, после чего входной импульс прекращается, а конденсатор разряжается. В этот момент число, содержащееся в регистре, соответствует измеряемой величине.

Выбор параметров для компонентов схемы выполняется с учетом периода следования импульсов. В частности, произведение RC должно быть не меньше этого периода. Среди возможных областей применения рассмотренной схемы можно отметить считывание положения потенциометра, а также измерение аналоговой величины, значение которой должно отображаться на линейном индикаторе (со сравнительно невысокой точностью).

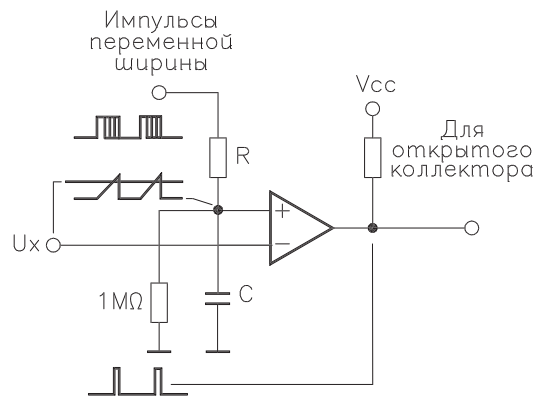


Рис. 2.22

## ЦИФРО-АНАЛОГОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

В этой области за последние годы достигнут такой же большой прогресс, как и в сфере аналого-цифрового преобразования (см. предыдущий раздел). Для преобразования цифровой величины в ана-

логовый сигнал можно использовать простую схему (рис. 2.23), которая содержит только стандартные компоненты.

В данную схему входят несколько резисторов и операционный усилитель. Она используется автономно или подключается к параллельному порту компьютера (например, к порту принтера). Точность преобразования невысока, но в данном случае требуется не генерация постоянного напряжения с высокой точностью, а скорее, приближительная реконструкция сложного аналогового сигнала, например речи или музыки. Схему можно использовать также в качестве генератора НЧ сигналов.

Принцип работы несложен. Ко входам, на которые поступает двоичное восьмибитное слово, подключены резисторы. Их номиналы рассчитаны так, чтобы вес каждого бита соответствовал величине

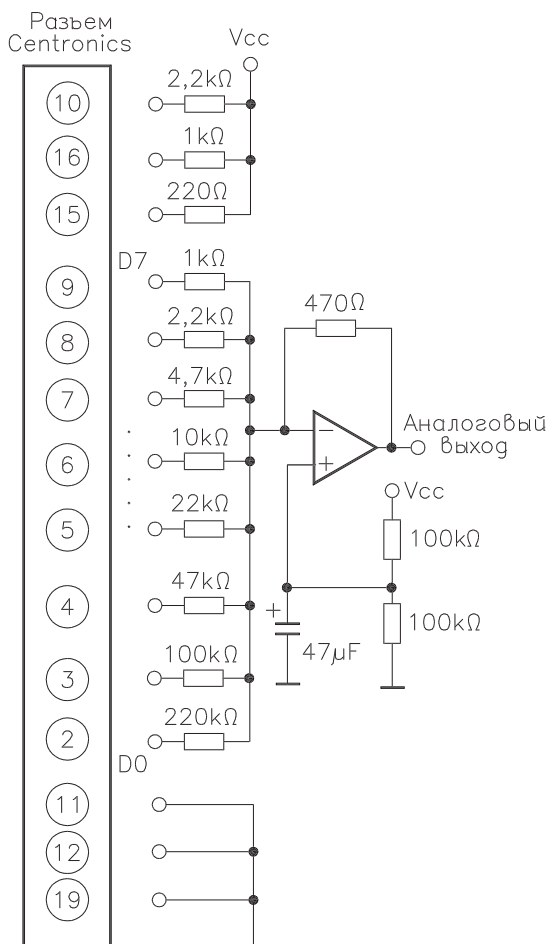


Рис. 2.23

тока в данной цепи. Например, вход бита наименьшего веса соединен с резистором 220 кОм. К следующему входу подключен резистор, сопротивление которого приблизительно в два раза меньше (около 100 кОм) и так далее до бита наибольшего веса (с сопротивлением 1 кОм). Полученные таким образом токи складываются операционным усилителем, который преобразует их в напряжение. Синтезированный сигнал обычно подается на НЧ усилитель или на каскад, обеспечивающий низкое выходное сопротивление при использовании схемы в качестве генератора.

Чтобы компенсировать постоянную составляющую сигнала на выходе операционного усилителя, на его неинвертирующий вход



подается постоянное напряжение с делителя, равное половине напряжения питания. С целью полного подавления постоянной составляющей перед последующим каскадом обычно включают разделительный конденсатор. Для фильтрации частоты считывания, с которой двоичные слова подаются на преобразователь, требуется применение простого НЧ фильтра.

Если вход схемы подключить к параллельному порту компьютера, а к выходу присоединить усилитель с динамиком или наушниками, подача команды `COPY ###.WAV:LPT1` обеспечит прослушивание звукового файла с именем `###`, записанного на жестком диске компьютера в цифровом виде. Простая программа, написанная, например, на языке Basic, позволит получить сигнал нужной формы с любой частотой, которую ограничивают лишь возможности компьютера.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

### Бестрансформаторный источник питания

В некоторых случаях низкое потребление энергии современными компонентами позволяет осуществить питание устройств от сети без использования трансформатора. Понижать напряжение с помощью резистивного делителя нерационально, поскольку при этом неизбежно выделяется большое количество тепла. Гораздо лучше использовать схему, в которой основная часть сетевого напряжения будет приложена к конденсатору, который практически не потребляет активной мощности (рис. 2.24).

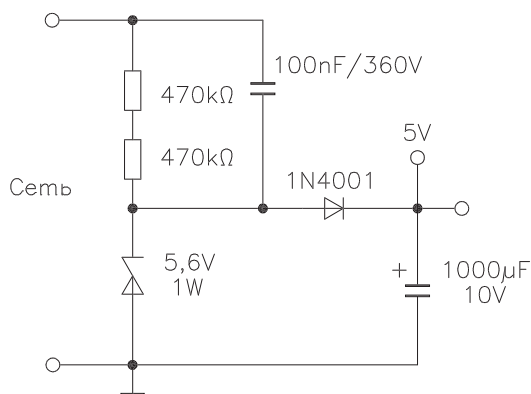


Рис. 2.24

Потребляемый от сети ток будет определяться емкостью конденсатора, точнее, его сопротивлением переменному току, которое для частоты  $F$  рассчитывается по формуле  $Z = 1/\omega C$ , где  $\omega = 2\pi F$  ( $Z$  выражено в омах,  $C$  – в фарадах,  $F$  – в герцах).

Резисторы, подключенные параллельно конденсатору, обеспечивают его разряд после отключения устройства от сети.

На выводах стабилитрона формируется прямоугольное напряжение амплитудой 5,6 В. Стоящие далее диод и конденсатор служат для выпрямления и фильтрации этого напряжения. Максимальный



ток, который можно получить на выходе такой схемы, составляет около 4 мА при емкости конденсатора 100 нФ. Для увеличения тока используется параллельное включение нескольких конденсаторов (высокие номиналы встречаются редко, такие конденсаторы имеют большие размеры).

Остается добавить два важных замечания. Рабочее напряжение конденсаторов никогда не должно быть ниже 400 В (лучше брать компоненты с допустимым напряжением 630 В). Поскольку такая схема и все подключенные к ней элементы связаны с сетью, необходимо принять элементарные меры безопасности. В частности, не следует использовать металлический корпус или компоненты с выходящими наружу металлическими деталями (оси потенциометров и т.д.). Кроме того, при наладке нельзя прикасаться к включенной схеме.

## Неполярные конденсаторы

Довольно трудно найти неполярные конденсаторы (с изоляцией из слюды, бумаги или пленки) большой емкости с низким рабочим напряжением ( $< 25$  В). Однако иногда нужны именно такие компоненты, в частности при построении импульсных генераторов на логических вентилях с очень большим периодом (например, при разработке таймера для часов). Получение большой постоянной времени RC-цепи за счет увеличения сопротивления имеет определенный предел для каждого типа схем.

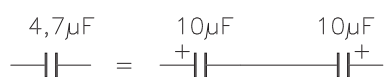


Рис. 2.25

Для формирования конденсатора большой емкости можно соединить два полярных (электролитических) конденсатора, чтобы получить один неполярный (рис. 2.25). При этом надо выбрать два

компонента одинакового номинала и включить их последовательно, соединив между собой отрицательные электроды. Результирующая емкость будет равна половине емкости каждого конденсатора.

## Определение емкости конденсатора

Маркировка конденсаторов при помощи цветового кода применяется очень редко. Значение емкости обычно пишется на корпусе прибора. Однако размер надписи на миниатюрных компонентах поверхностного монтажа столь мал, что ее невозможно прочесть. Иногда же маркировка неразборчива (из-за некачественной печати) или даже ошибочна и на классических компонентах.

Чтобы с достаточной точностью определить емкость конденсатора, можно собрать простую схему генератора импульсов, показанную на рис. 2.26.

Вначале измеряют частоту генератора с эталонным конденсатором или, по крайней мере, с конденсатором известной емкости, а затем его заменяют компонентом, емкость которого требуется определить. Повторно измеряют частоту и определяют требуемый параметр с помощью простого соотношения (см. главу 5, раздел «Классические импульсные устройства»). Такую схему можно без труда смонтировать на макетной плате, снабженной разъемом для подключения осциллографа.

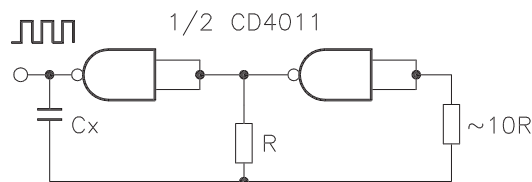


Рис. 2.26

## ТРАНЗИСТОРЫ ДАРЛИНГТОНА

Интегральные транзисторы Дарлингтона обладают весьма привлекательными характеристиками: очень высоким усилением по току (порядка 1000), значительной допустимой рассеиваемой мощностью и малыми размерами. Некоторые из них содержат также защитный диод, включенный между эмиттером и коллектором (рис. 2.27). Это удобно для непосредственного управления индуктивной нагрузкой, например реле. Однако при проведении проверки транзистора с помощью тестера необходимо помнить о существовании диода.

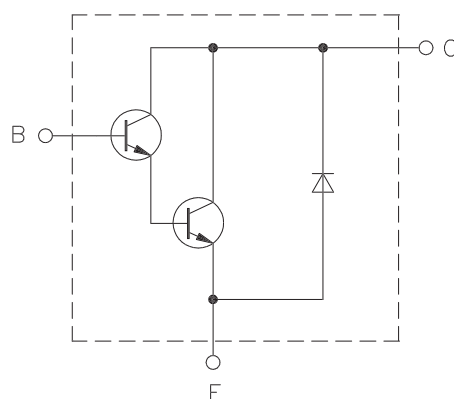


Рис. 2.27

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ДРЕЙФ ПАРАМЕТРОВ ДИОДОВ

Диоды, как и все полупроводниковые приборы, подвержены температурному дрейфу характеристик, который может быть весьма значительным (именно эта особенность позволяет использовать диод в качестве датчика температуры). Об этом необходимо помнить как при проектировании устройства, так и при размещении его компонентов в корпусе. В частности, наиболее чувствительные элементы следует располагать как можно дальше от источников тепла: радиаторов, трансформаторов и т.д. Диодный детектор пиков,

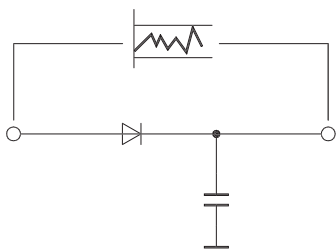


Рис. 2.28

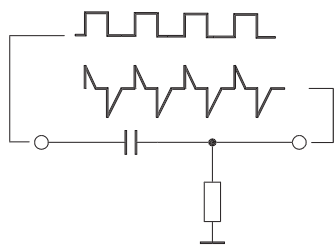


Рис. 2.29

приведенный на рис. 2.28, является примером схемы, очень чувствительной к температуре.

## ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ ЦЕПОЧКА

Дифференцирующая цепочка широко применяется в самых разнообразных схемах. Она используется, в частности, для генерации коротких импульсов, синхронизованных с фронтом прямоугольного сигнала, которые служат, например, для запуска симистора. Положительные и отрицательные перепады напряжения, поданные на дифференцирующую цепочку, генерируют импульсы различной полярности, которые при необходимости легко разделить (рис. 2.29). Параметры резистора и конденсатора выбирают с учетом нужной длительности выходных импульсов  $T_{\text{и}}$  в соответствии с приблизительным соотношением  $T_{\text{и}} \approx RC$ .

## УДВОИТЕЛЬ НАПЯЖЕНИЯ

Удвоитель напряжения (а в более общем случае умножитель напряжения) представляет собой определенное соединение диодов и конденсаторов. Этот принцип построения давно используется для

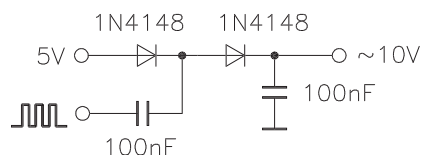


Рис. 2.30

получения очень высоких напряжений, например в телевизорах или в устройствах для ионизации газа. Небольшая схема, представленная на рис. 2.30, применяется для получения постоянного напряжения, приблизительно вдвое превышающего напряжение на входе.

Для работы схемы нужен сигнал прямоугольной формы низкой частоты. В данной схеме используются только положительные импульсы, что отличает ее от классических удвоителей, работающих от сети или от синусоидального напряжения, снимаемого со вторичной обмотки трансформатора.

## ДИСКРЕТИЗАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Дискретизация – операция, направленная на определение мгновенных значений сигнала сложной формы в заданные моменты времени (рис. 2.31).

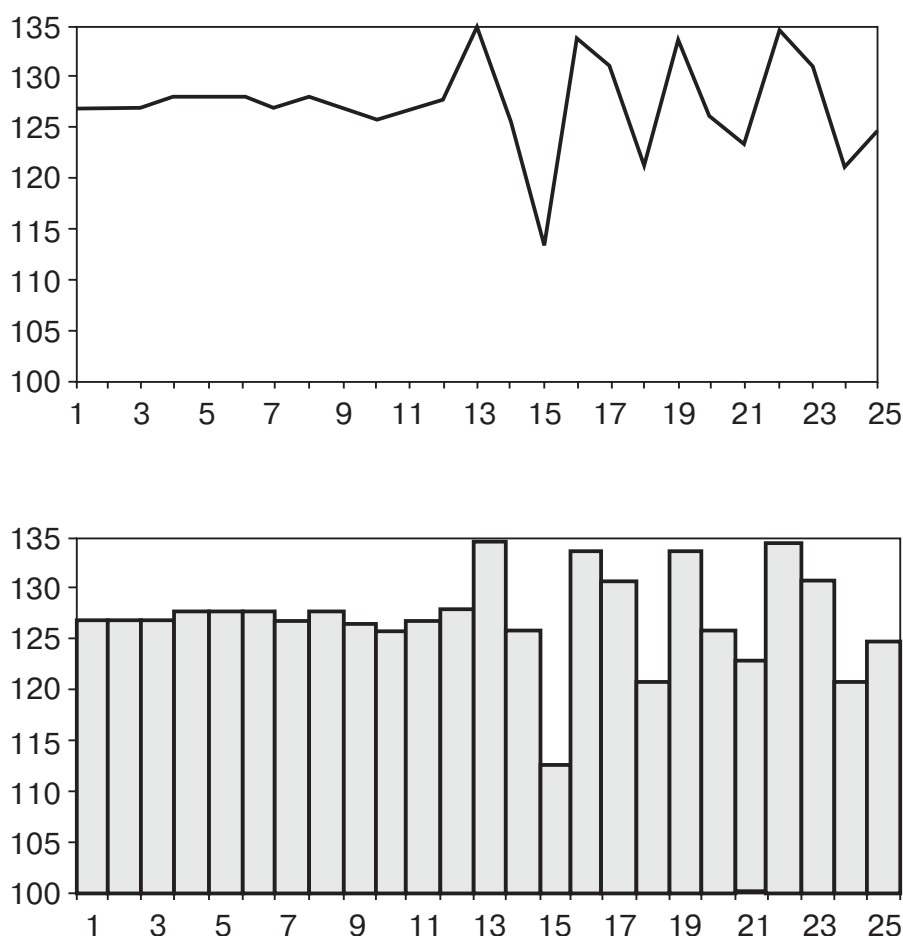


Рис. 2.31

Для выполнения дискретизации требуется стабильный тактовый генератор, который задает временные интервалы для вырезания части сигнала. Пиковый детектор фиксирует максимальное значение сигнала за данный период. Такое устройство можно построить на базе конденсатора, разряженного в исходном состоянии, который за интервал дискретизации заряжается до нужного уровня.

Устройство дискретизации сигнала входит в состав аналого-цифрового преобразователя, который преобразует мгновенные значения напряжения в соответствующую последовательность двоичных чисел (см. раздел «Аналого-цифровое преобразование»). Совершенно очевидно, что точность такой схемы зависит от частоты дискретизации. Чем она выше, тем меньше вероятность пропустить кратковременное изменение сигнала на входе. Согласно известной теореме, частота дискретизации должна равняться по крайней мере удвоенной максимальной частоте спектра сигнала, подвергаемого этой операции.

Предположим, требуется произвести аналого-цифровое преобразование речевого сигнала, ограничив его полосу пропускания до 3000 Гц (качество звучания, обеспечиваемое телефоном). В этом случае придется работать на частоте дискретизации минимум 6000 Гц, что при получении восьмибитовых двоичных чисел требует быстродействия 6000 байт/с. Учитывая этот принцип, несложно оценить место, занимаемое на компакт-диске 40-минутным музыкальным произведением стереофонического звучания, преобразованным в цифровую форму с частотой дискретизации 44 кГц.

## ПРОГРАММИРУЕМОЕ ПОСТОЯННОЕ ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

### Области применения

Программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ) было первым программируемым компонентом памяти, легким в использовании и относительно недорогим. На сегодняшний день благодаря стремительному развитию микроэлектроники эти компоненты обладают таким объемом, о котором еще недавно не приходилось и мечтать. Несмотря на появление микроконтроллеров, обладающих собственными устройствами памяти, ППЗУ не теряют своей популярности. Они были созданы для хранения двоичной информации

в виде программ или данных. Но этим использование данных устройств не ограничивается. С помощью ППЗУ возможно реализовать довольно сложные логические функции, что обходится гораздо дешевле, чем разработка соответствующего устройства на традиционных логических микросхемах.

ППЗУ можно рассматривать как некоторый «черный ящик» с  $X$  входами и восемью выходами. Число входов зависит от емкости устройства памяти и соответствует числу адресных линий (рис. 2.32).

Так, микросхема 2716 емкостью 2 Кб имеет 11 входов, а микросхема 27512 (64 Кб) – 16. Типичное использование таких компонентов в области информатики сводится к дешифрации адреса.

Предположим, требуется, чтобы один бит перешел в нулевое состояние по адресу или

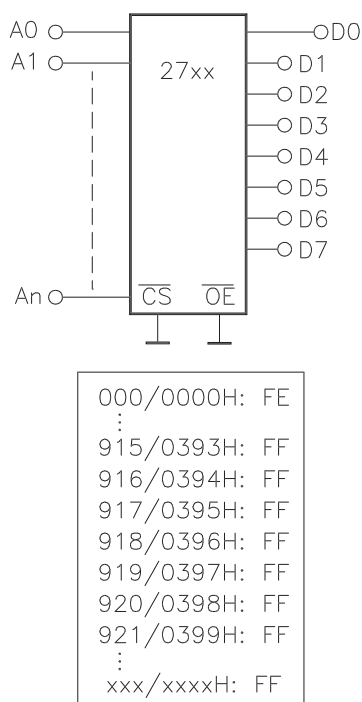


Рис. 2.32

группе адресов в области памяти размером 16 бит. Осуществление такой функции при помощи логических вентилей требует значительного числа компонентов.

Имея ППЗУ, достаточно запрограммировать адрес  $X$  (адрес дешифрации) соответствующими данными. Если речь идет о нулевом бите шины данных, то по выбранному адресу нужно записать число 254 (или FE в шестнадцатеричной системе счисления, см. главу 4, раздел «Системы счисления»). По остальным адресам данные останутся неизменными (в них, как правило, исходно записано число FFH). Если записать FEH в нескольких ячейках памяти, можно задать не один адрес, а группу адресов. Ввиду того что в ячейке остается еще семь свободных бит, в сумме можно задать до восьми различных результатов дешифрации. Для исправления ошибки или внесения изменений достаточно стереть информацию и запрограммировать устройство заново.

Среди других областей применения ППЗУ следует отметить управление семисегментным индикатором: двоичное слово на адресных линиях соответствует конфигурации цифры или символа индикатора. Имеется возможность одновременно управлять несколькими индикаторами с мультиплексированием или без него. Наконец, ППЗУ может составлять основу устройства автоматического управления несколькими объектами. В этом случае используется счетчик, который проходит по всем адресам за заданное время (несколько секунд или часов). Если каждому из восьми битов данных на выходе поставить в соответствие реле или симистор, то можно управлять семью объектами независимо друг от друга. Для расширения возможностей устройства применяется параллельное включение двух ППЗУ.

При любом из перечисленных вариантов использования необходимо следить за корректным подключением двух управляющих линий: CS и OE. Как правило, они подключены к напряжению  $V_{ss}$ . Поддача на линию OE уровня логической единицы позволяет одновременно отключить все выходы (перевести их в высокоомное состояние). Для некоторых моделей, в частности для ППЗУ, изготовленных по КМОП технологии, рекомендуется присоединять шину данных к напряжению  $V_{ss}$  через резистор сопротивлением порядка 100 кОм.

## **Разбиение ППЗУ на несколько областей**

Порой в одном ППЗУ полезно иметь несколько программ или версий программы, которые можно выбирать с помощью переключателей.

Это бывает нужно и в том случае, когда устройство памяти содержит некоторые рабочие данные (коды ASCII для индикатора, знакогенератора и т.д.). Для этого достаточно выбрать ППЗУ необходимого объема и разбить его на области, расположенные по определенным адресам. Если для каждого блока данных необходимо 2 Кб памяти, можно создать 4 области одинакового размера в ЗУ емкостью 8 Кб (микросхема 2764) или 16 областей с помощью микросхемы 27256 объемом 32 Кб.

Выбор нужной области производится при помощи переключателя типа DIP, вставных перемычек или реле, управляющих входами A11 и A12 (рис. 2.33). На управляющих входах необходимо наличие высокоомного резистора, подключенного к источнику напряжения Vss. Программа или данные будут размещаться по нужным адресам, например 0000H для первой области, 0800H – для второй (при протяженности 2 Кб) и т.д.

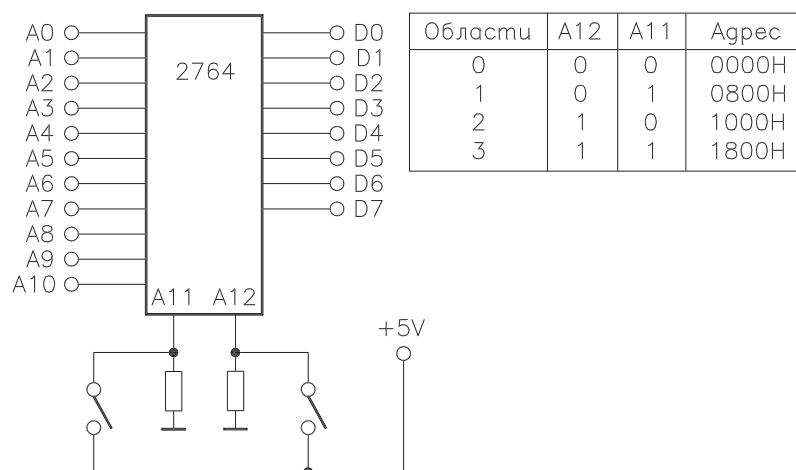


Рис. 2.33

## Устаревшие типы ППЗУ

Некоторые типы ППЗУ, теперь уже устаревшие, например 2726 (объемом 2 Кб), стали раритетами или стоят дороже, чем другие, значительно более совершенные модели. Тем не менее иногда возникает необходимость их замены, например если перепрограммирование невозможно (старая модель). К счастью, размещение выводов таких ЗУ стандартизировано, что упрощает их замену современными микросхемами.

Прежде всего необходимо определить технологию изготовления исходного запоминающего устройства: если в его маркировке



есть буква С (27С32), то речь идет о микросхеме КМОП типа. В таком случае проблем не возникает, поскольку большинство современных моделей принадлежит именно к этому семейству. Если буква С в маркировке отсутствует и выявить тип схемы с помощью проверки не удастся, необходимо найти компонент аналогичной модели. В некоторых случаях потребуется осуществить переход от корпуса с 28 выводами к другому корпусу, имеющему 24 вывода, так как устройства объемом от 8 Кб (начиная с модели 2764) имеют корпус DIP28. Достаточно вставить промежуточный разъем с 28 выводами между исходным разъемом и ЗУ. В качестве примера на рис. 2.34 показано включение микросхемы 2764 вместо 2732.

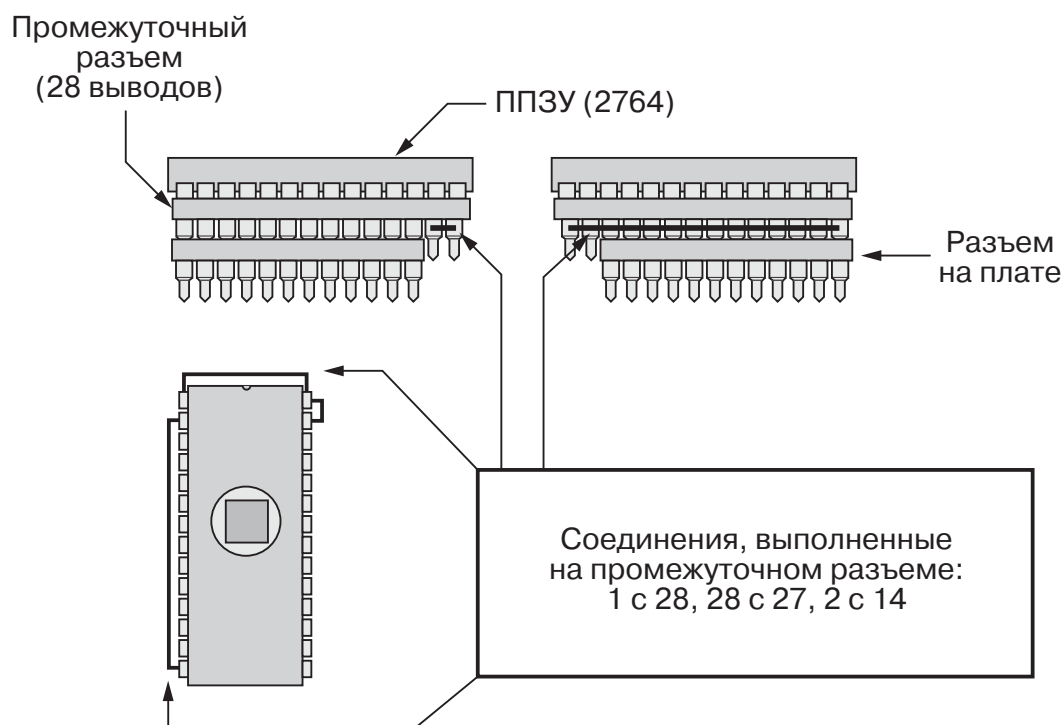


Рис. 2.34

Некоторые выводы придется обрезать или соединить между собой. При этом нужно проследить, чтобы все дополнительные и неиспользуемые адресные линии были подключены к напряжению  $V_{ss}$ .

При записи информации необходимо помнить о том, что часть ячеек памяти (последние по номеру адреса) станет недоступной, и следить за тем, чтобы вначале заполнялись первые адреса.

### Незаполненное ППЗУ

Если в ППЗУ еще не занесена информация или она была стерта, ячейки памяти заполнены числами FFH. Многие программисты при

записи информации используют операцию «Пропуск FF». Это означает, что каждый раз, когда требуется внести слово FFH, оно просто игнорируется, поскольку такая запись в ячейке уже есть. За счет этого удастся существенно упростить процедуру программирования ЗУ. При таком подходе программирование состоит в замене некоторых единиц двоичного кода нулями. Поэтому можно перепрограммировать некоторые байты, не стирая полностью всю память. Например, можно заменить 99H на 89H, 19H или 81H и т.д.

Другая ситуация возникает, когда ППЗУ входит в состав микроконтроллера. Эти устройства в незаполненном состоянии обычно содержат код 00H вместо FFH. В некоторых случаях имеет смысл предварительно заполнить незанятые ячейки ППЗУ кодом 00H, чтобы выиграть время при перепрограммировании микроконтроллера. Предварительная проверка состояния ячеек позволит найти наиболее рациональный способ выполнения данной процедуры.

## ЛОГИЧЕСКИЙ ВЕНТИЛЬ ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

Логическая функция Исключающее ИЛИ (EXOR) используется в схемотехнике довольно редко. Она совпадает с функцией ИЛИ во всех случаях, кроме одного, когда все входы вентиля находятся в состоянии логической единицы. Можно также сказать, что выход вентиля EXOR переходит в состояние логической единицы в том случае, если только на одном из его входов возникает соответствующий сигнал логической единицы.



Рис. 2.35

Условное обозначение вентиля показано на рис. 2.35.

Данный специфический тип вентиля используется в системах фазовой автоподстройки частоты (см. раздел «Фазовая автоподстройка частоты»), где он применяется для определения совпадения во времени двух сигналов, один из которых является эталонным, а другой должен совпадать с ним по частоте. Микросхема CD4070 семейства КМОП содержит четыре вентиля рассмотренного типа, а модель CD4046 – один вентиль и некоторые дополнительные элементы.

## ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ, УПРАВЛЯЕМЫЕ ФРОНТОМ ИМПУЛЬСА

Многие логические схемы в том числе и КМОП типа реагируют не на состояние входа, а на его изменение. Например, счетчик может срабатывать в тот момент, когда на его тактовом входе возникает перепад напряжения от высокого уровня к низкому. В этом случае

говорят о логическом элементе, управляемом фронтом сигнала. Одни схемы реагируют на положительный фронт, то есть на переход от логического нуля к единице (для устройств «положительной логики»), а другие – на отрицательный. Эти характеристики всегда приводятся в технической документации микросхемы. Вход, рассчитанный на управление отрицательным фронтом, имеет в документации название с чертой сверху, обозначающей отрицание, например  $\overline{\text{Clock}}$ .

В некоторых случаях, в частности для микросхемы CD4042 (счетверенная защелка), пользователь может сам выбрать тип запуска, подключая определенный вход к напряжениям  $V_{ss}$  или  $V_{cc}$ . Во избежание возможных ошибок перед разработкой любой схемы необходимо выяснить тип запуска логических элементов. Например, это относится к счетчикам, где неправильное управление может привести к десинхронизации или потере данных. Часто, чтобы получить требуемый результат, приходится включать дополнительную RC-цепочку и использовать снимаемые с ее выхода короткие импульсы нужной полярности. Типичный вариант такого подключения к тактовому входу микросхемы CD4013 (двойной триггер) приведен на рис. 2.36.

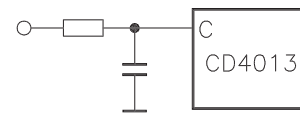


Рис. 2.36

## ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

К выбору предохранителя следует отнестись со всей серьезностью, особенно если он находится в цепи питания, соединенной с сетью. Когда первые испытания схемы проведены, необходимо определить ток, потребляемый устройством, и умножить его на коэффициент, который в значительной степени определяется типом используемого трансформатора. При выборе значения коэффициента следует помнить, что всплеск тока при включении может в 10 раз превышать ток, потребляемый в стационарном рабочем режиме. Сказанное относится к трансформаторам, имеющим значительную мощность. Если нет уверенности, стоит пожертвовать несколькими предохранителями и провести серию экспериментов по включению устройства, постепенно понижая номинальное значение тока предохранителя до выхода его из строя.

Для защиты низковольтных цепей (например, питающих реле) можно обратиться к предохранителям автомобильного типа, небольшим, недорогим и несложным в монтаже. Подобный предохранитель нетрудно смонтировать на основание в виде вилочной части

стандартного двухконтактного разъема, розеточную часть которого можно припаять непосредственно к печатной плате (рис. 2.37).

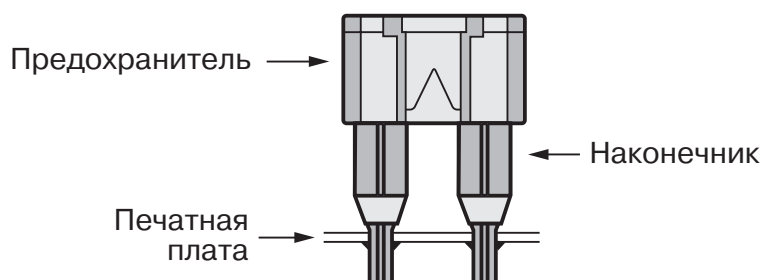


Рис. 2.37

## ГЕНЕРАТОР ТОКА

Генератор тока – это устройство, обеспечивающее нужный ток (по возможности точно задаваемый и стабилизированный) в нагрузке с переменным сопротивлением. Среди областей его применения можно отметить перезаряд батареи, введение тока с медицинскими целями или электролиз химического раствора. В промышленности генераторы тока находят широкое применение для передачи информации, получаемой при измерении различных физических величин.

Аналоговые сигналы характеризуются высокой устойчивостью к помехам любого происхождения. Режим передачи данных с помощью аналоговых сигналов регулируется специальным стандартом. Для многих датчиков рабочим параметром является сопротивление, которое изменяется в зависимости от определяемой величины. Примером может служить датчик температуры типа РТ100, имеющий сопротивление 100 Ом при температуре 0°C. Варьирование сопротивления датчика обычно стараются свести к изменению уровня напряжения, которое проще обрабатывать с помощью операционных усилителей (имеется в виду усиление, определение порога, аналого-цифровое преобразование и т.д.). Такая трансформация осуществляется при пропускании через датчик калиброванного тока.

Есть несколько способов построения генератора тока, в том числе с применением специализированных схем. В простых схемах, представленных на рис. 2.38, используются стандартные компоненты (транзистор или операционный усилитель), но качество их работы заслуживает высокой оценки.

При проектировании генератора тока сначала следует определить верхний предел изменения сопротивления нагрузки, от которого

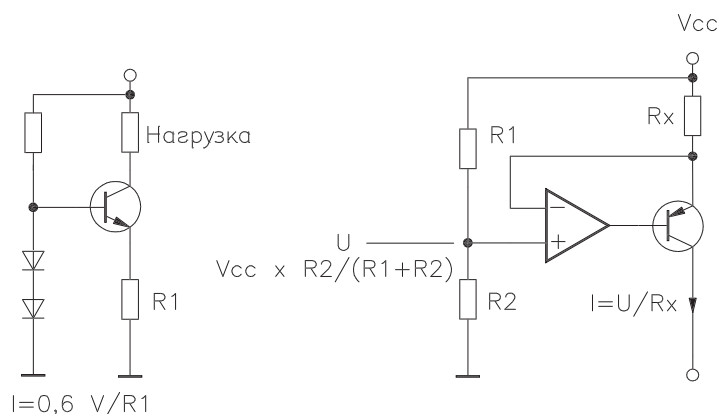


Рис. 2.38

зависит требуемое напряжение источника питания. Например, чтобы получить ток 10 мА через резистор 100 Ом, необходимо напряжение не менее 1 В. Если сопротивление увеличивается до 1000 Ом, потребуется уже 10 В и т.д. Генератор, работающий при напряжении питания 24 В, сможет обеспечить ток 10 мА при коротком замыкании на выходе или при подключении резистора с максимальным сопротивлением 2,4 кОм.

## ГЕНЕРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ С ДВОИЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Иногда в цифровом устройстве нужно получить плавно изменяющееся напряжение, при этом высокая точность не требуется. Посредством такого напряжения можно, например, управлять устройством, предназначенным для постепенного зажигания ламп, или обеспечить плавное увеличение скорости вращения двигателя до максимального значения.

Получить изменение потенциала в заданных пределах удастся и без помощи цифро-аналогового преобразователя. Простая схема, представленная на рис. 2.39, может выполнить эту функцию.

Принцип работы состоит в управлении зарядом и разрядом конденсатора через резисторы, поочередно подключаемые к нему с помощью двух выключателей. Если верхний выключатель, подключенный к напряжению  $V_{cc}$ , замкнут, конденсатор медленно заряжается через резистор R1. Если этот выключатель разомкнут, конденсатор будет поддерживать на своих выводах напряжение, до которого он был заряжен (при условии незначительного саморазряда).

Когда замкнут нижний выключатель, конденсатор разряжается через резистор R2. Скоростью нарастания и снижения напряжения можно управлять, изменяя величины R1 и R2.

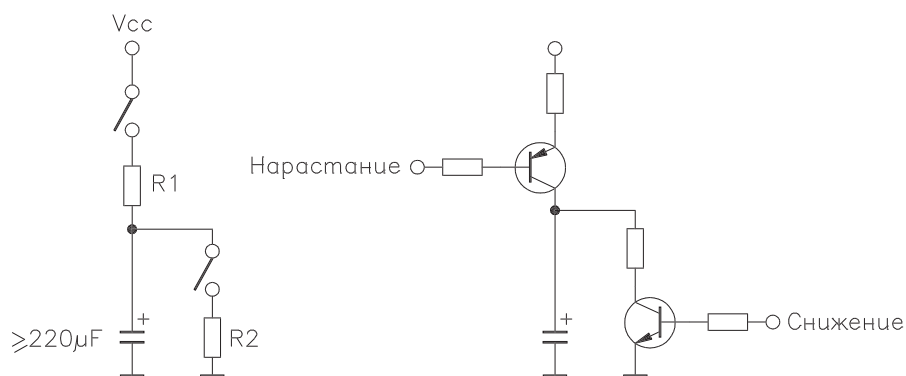


Рис. 2.39

Напряжение с конденсатора обычно подается на буферный каскад с высоким входным сопротивлением, который содержит операционный усилитель, включенный по схеме повторителя напряжения. Затем при необходимости напряжение дополнительно усиливается и используется для выполнения требуемой функции. Остается выбрать тип выключателей: речь может идти о контактах реле, дискретных транзисторах (р–п–р типа вверху и п–р–п типа внизу на рисунке) или выключателях, входящих в состав микросхемы (например, удобно взять микросхему CD4016, которая содержит четыре выключателя). Сигналы управления могут поступать от логических вентилей, счетчиков или от микроконтроллера.

## ВЫСОКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Возможность получения особо высокого сопротивления играет важную роль как в аналоговой, так и в цифровой электронике. В первом случае речь чаще всего идет о входном сопротивлении операционного усилителя. Во втором случае обычно имеется в виду высокоомное состояние выхода логического устройства (одно из трех возможных состояний). Об этом уже упоминалось выше, когда речь шла о выходах схем с открытым коллектором.

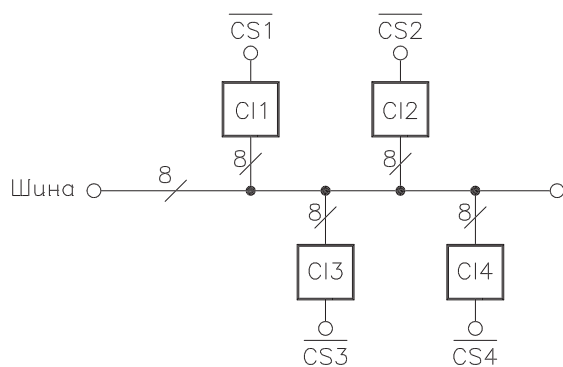


Рис. 2.40

Использование высокоомного состояния лежит в основе принципа передачи цифровой информации по шине, связывающей несколько различных компонентов, которые взаимодействуют друг с другом (рис. 2.40).

Каждый разряд на выходе логических элементов, подключенных к общей шине, может принимать три состояния: логический нуль, логическая единица и высокоомное состояние, сравнимое с физическим отключением (его часто называют Z-состоянием). Без этого третьего состояния было бы невозможно объединить нескольких выходов. Поэтому для подключения к общей шине (с параллельной или последовательной передачей данных) можно использовать ТТЛ схемы с открытым коллектором на выходе, предназначенные для такого соединения, или КМОП схемы с Z-состоянием выхода.

Аналоговые устройства с высоким входным сопротивлением необходимы для работы с некоторыми специфическими элементами, в частности с датчиками физических величин. Примером может служить датчик с электродами для измерения показателя рН жидкости, имеющий сопротивление порядка  $10^{12}$  Ом. К счастью, существует ряд операционных усилителей, входное сопротивление которых согласуется с такой величиной (в частности, усилитель типа TL062). Разработчику схемы необходимо соблюдать определенные правила размещения элементов. Соединительный кабель и особенно соединительный элемент должны выбираться и монтироваться очень тщательно. От этого в большой степени зависит качество работы всей схемы. Обычно имеет смысл приобрести соединительный кабель со специальным разъемом для присоединения ко входу усилителя.

## ГИСТЕРЕЗИС В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Термин «гистерезис» происходит от греческого слова «запаздывание» и означает появление задержки в развитии одного физического явления по отношению к другому. Гистерезис играет большую роль в технике и, в частности, в электронике. Он проявляется каждый раз, когда выполняется операция сравнения двух величин с некоторой точностью.

Суть данного явления можно пояснить на примере работы термостата, независимо от наличия или отсутствия электронного регулятора. Рассмотрим термостат, настроенный на поддержание температуры  $20^{\circ}\text{C}$  с помощью электрического нагревателя. Если бы управляющая нагревателем биметаллическая пластина, деформирующаяся при изменении температуры, не обладала гистерезисом, нагреватель включался бы и выключался очень часто, что привело бы к быстрому износу контактов. В действительности регулятор включается при  $19^{\circ}\text{C}$ , а выключается примерно при  $21^{\circ}\text{C}$ . При этом механическая инерционность биметаллической пластины и тепловая



инерционность нагревателя порождают явление гистерезиса, переключение режимов происходит с небольшой частотой, а температура в термостате колеблется в некотором интервале вблизи заданного значения (рис. 2.41а).

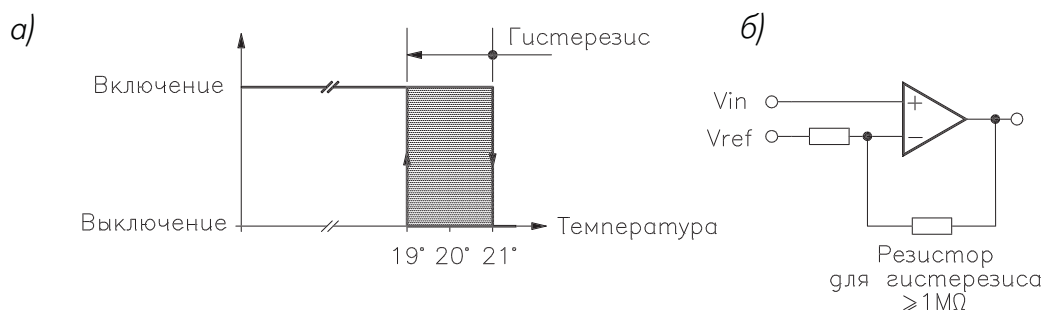


Рис. 2.41

В электронике все процессы развиваются гораздо быстрее, и нередко приходится искусственно создавать задержку для снижения частоты переключения. В качестве примера на рис. 2.41б приведена схема компаратора на базе операционного усилителя.

Устройство сравнивает регулируемое напряжение с опорным, которое задается с помощью батарейки. Результат сравнения выводится на светодиодный индикатор. Чтобы усилить проявление гистерезиса и снизить частоту мигания индикатора, используют резистор, через который часть выходного сигнала передается на вход операционного усилителя. При этом снижается коэффициент усиления каскада и задерживается включение и выключение индикатора.

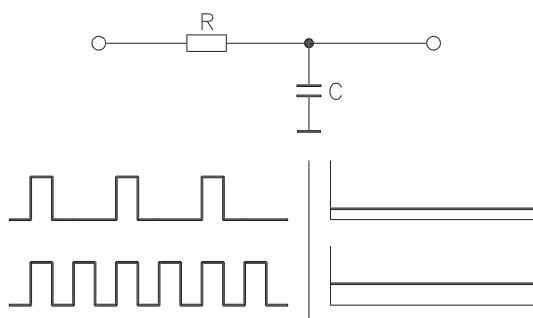


Рис. 2.42

## ИНТЕГРИРУЮЩАЯ ЦЕПОЧКА

Интегрирующая цепочка весьма важна для практики электронных схем. Одна из ее функций заключается в преобразовании частоты импульсной последовательности в постоянное напряжение, уровень которого пропорционален частоте. Для получения такого соотношения длительность импульсов не должна зависеть от частоты следования.

В простейшем случае интегрирующая цепочка содержит только два компонента: резистор и конденсатор (рис. 2.42). Их номиналы

выбираются в зависимости от минимальной частоты сигнала. Обычно задают такое произведение  $RC$ , чтобы оно было не меньше максимального периода следования импульсов. Например, цепочка  $10\text{ кОм} / 1\text{ нФ}$  вполне подойдет для частоты сигнала, превышающей  $100\text{ кГц}$ . Если взять более низкое значение  $RC$ , на постоянное выходное напряжение будут накладываться заметные колебания пилообразной формы, искажающие преобразованный сигнал.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕЙС

### Принцип действия

Кроме компьютеров, манипулирующих двоичными словами размером 16 или 32 бит, существует много типов микропроцессоров и микроконтроллеров, большинство которых оперирует байтами, то есть словами из 8 бит. С байтами «работает» и разнообразное периферийное оборудование: запоминающие устройства, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, а также многие другие компоненты. Обмен информацией между этими устройствами связан с поиском компромисса между скоростью передачи и числом соединительных линий.

Наибольшее быстродействие обеспечивает параллельное соединение, по которому одновременно передаются все разряды двоичного слова (рис. 2.43а).

Такой тип интерфейса соединяет компьютер с принтером. Его недостатком является значительное число проводов (для стандартного разъема «Centronics» их количество равно 36), а также ограничение длины кабеля из-за риска возникновения помех, весьма опасных при низком уровне используемого напряжения (5 В).

От подобных трудностей свободен последовательный интерфейс, в простейшем варианте для его осуществления достаточно двух проводов (рис. 2.43б). Один провод обычно заземлен, другой служит для передачи информации.

Принцип работы интерфейса заключается в последовательной отправке восьмибитного слова в соответствии с определенным протоколом, например в порядке возрастания веса разрядов (от бита 0 к биту 7). Подобный тип передачи данных требует точной синхронизации работы передатчика и приемника, каждый из которых должен иметь стабильный тактовый генератор с кварцевым резонатором.

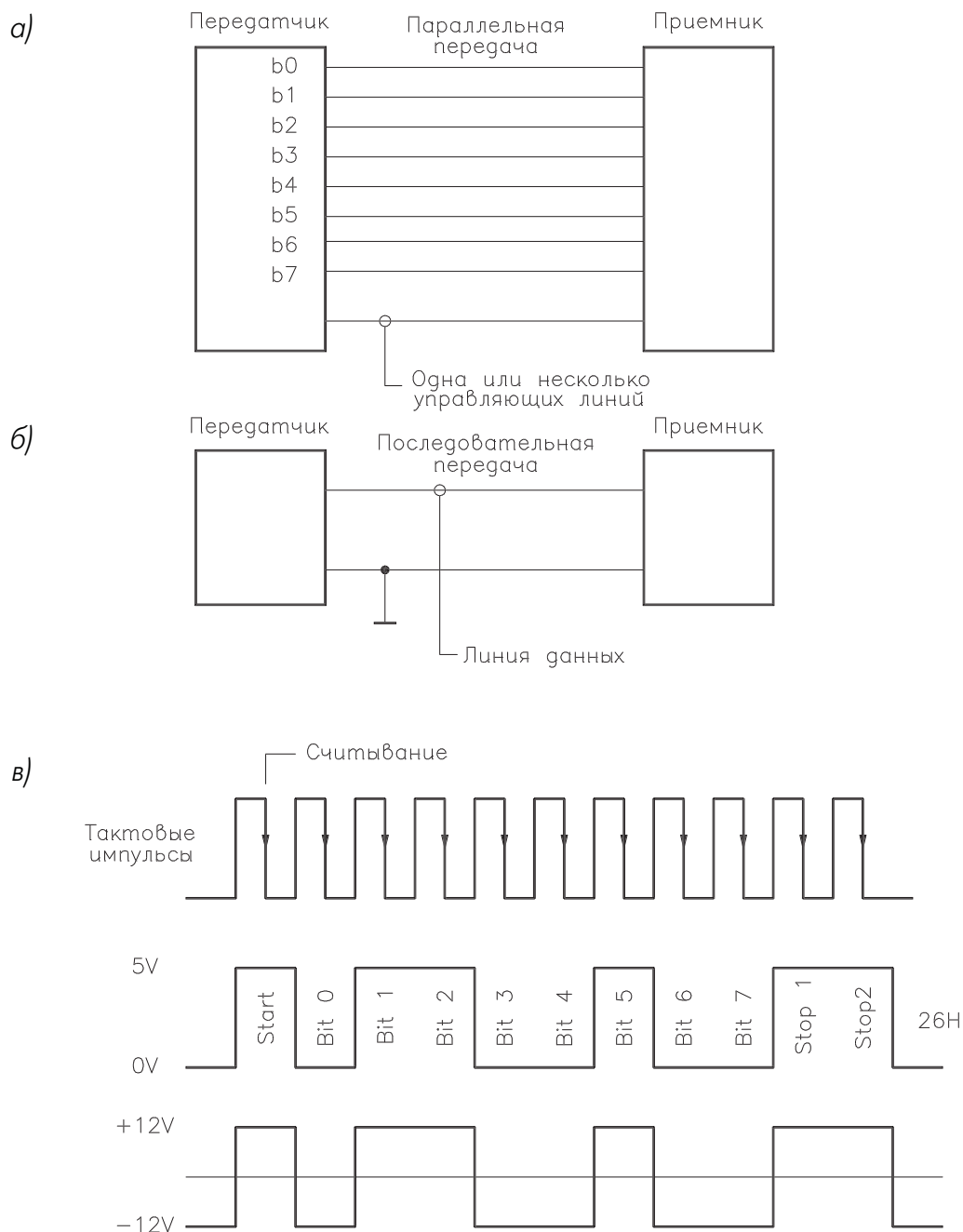


Рис. 2.43

Поскольку сигнал передачи данных может принимать только два состояния, необходимо точно определить моменты отправки и считывания разрядов. Если два соседних бита находятся в одинаковом состоянии, сигнал в линии сохраняется до следующего изменения. Если все разряды имеют значение логической единицы (передается число FFH), сигнал останется в соответствующем состоянии на протяжении всей передачи. Чтобы исключить возможность сбоев, к передаваемому слову добавляют несколько служебных битов,

отправляемых в начале и конце цикла передачи. Порядок передачи и считывания сигналов показан на рис. 2.43в. Первый бит, называемый Start, служит для фиксации момента начала передачи. Один или два последних бита называются Stop. Они обозначают конец цикла и дают приемнику время проанализировать полученное слово. В некоторых случаях дополнительно отправляется бит подтверждения, который называется битом четности. Его состояние изменяется в зависимости от того, четным или нечетным является передаваемое число.

Длительность цикла передачи зависит от количества передаваемых битов и от времени передачи одного бита. Скорость передачи цифровой информации выражается в битах в секунду (бодах). Используемые значения скорости стандартизированы и, как правило, находятся в диапазоне от 300 до 38400 бит/с. Наиболее часто выбирается скорость передачи 9600 бит/с. При этом достигается удачный компромисс между требуемыми частотными характеристиками компонентов и качеством передачи. Параметры последовательного интерфейса описываются с помощью условной записи типа 9600, N, 8, 2. Это означает, что скорость передачи равна 9600 бит/с, бит четности отсутствует, слово данных содержит 8 бит, передается 2 бита Stop. Цикл передачи слова требует отправления 11 бит (1 бит Start, 8 бит данных и 2 бита Stop). При скорости 9600 бит/с каждый передаваемый бит занимает приблизительно 104 мкс. Таким образом, полный цикл передачи длится  $11 \times 104$  мкс, то есть 1,14 мс. Это время может показаться коротким, но оно во много раз превышает длительность параллельной передачи информации эквивалентного объема. Оправка файла объемом 4800 байт (60 печатных строк, каждая из которых содержит по 80 знаков) занимает 5,5 с.

Второй проблемой является выбор уровней передаваемых сигналов с учетом возможных помех и потерь в линии. Для линий небольшой длины можно использовать традиционное напряжение 5 В. При передаче на значительные расстояния (приблизительно 25 метров и больше) используют два противофазных напряжения по 12 В. Низкий уровень сигнала или состояние логического нуля соответствует напряжению  $-12$  В, а состояние логической единицы – напряжению  $+12$  В.

Рассмотренное сочетание протокола передачи и уровней сигнала ( $-12$  В/ $+12$  В) отвечает требованиям общепринятого стандарта информационных технологий RS232. Этот стандарт определяет и размещение выводов соединительных элементов типа DB9 и DB25

(см. также раздел «Использование стандартных соединительных элементов»).

Наконец, следует отметить возможность выполнения двустороннего соединения устройств при использовании дополнительной линии передачи (в сумме для такого соединения потребуется три провода).

## Согласование ТТЛ схемы с сигналом стандарта RS232

Как было сказано в предыдущем разделе, стандарт RS232 предполагает использование двух источников напряжения:  $-12\text{ В}$  и  $+12\text{ В}$ . Однако для работы многих процессоров и периферийных устройств такое напряжение питания не требуется. В большинстве случаев допустимым можно считать диапазон напряжений от  $-12/+12$  до  $-3/+3\text{ В}$ . При этом крайне редко возникает необходимость в отрицательном напряжении питания для цифровых схем.

Наибольшее число классических устройств питается от источников положительного напряжения  $5\text{ В}$ . Проблема согласования уровней сигналов возникает каждый раз при использовании последовательного интерфейса. Для решения задачи выработано несколько подходов, требующих применения схем различного уровня сложности и стоимости. Чаще всего используется специализированная микросхема типа MAX232 или один из ее аналогов, содержащих

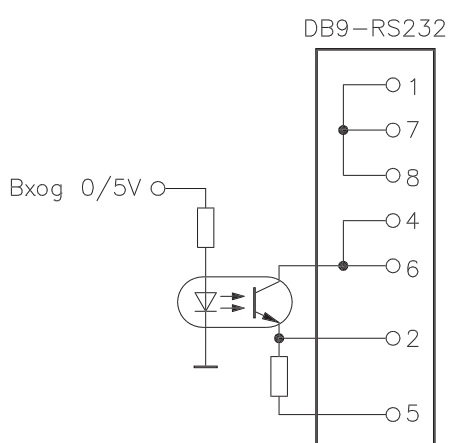


Рис. 2.44

в обозначении цифры 232. Эта схема согласует уровни сигналов, передаваемых в двух направлениях по двум различным каналам. При ее использовании требуется подключение четырех внешних конденсаторов.

Простая схема для согласования ТТЛ устройств (с уровнями сигналов  $0/5\text{ В}$ ) со стандартом RS232 показана на рис. 2.44. Она содержит оптопару с двумя присоединенными к ней резисторами и обеспечивает полную гальваническую развязку

между входом и выходом. Оптопара выполняет роль управляемого выключателя, который при зажигании светодиода входным сигналом соединяет последовательный вход интерфейса с источником напряжения  $12\text{ В}$ , подключенным к одному из неиспользованных контактов разъема DB9 или DB25.

## Согласование сигнала стандарта RS232 с ТТЛ схемой

Обсудив в предыдущем разделе преобразование сигнала ТТЛ устройств к уровню  $-12/+12$  В, перейдем к рассмотрению обратной операции. В данном случае задача также может выполняться специализированной микросхемой, к которой добавлено небольшое число внешних компонентов. Более простая схема, содержащая транзистор и два резистора, приведена на рис. 2.45.

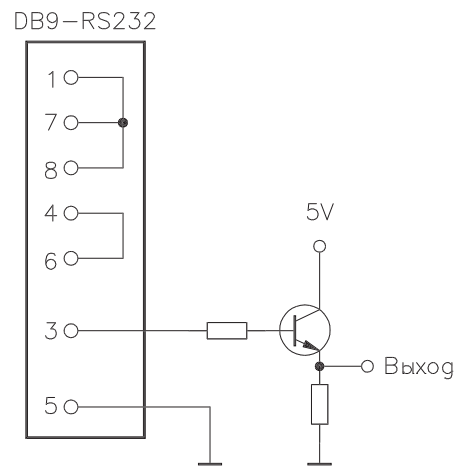


Рис. 2.45

Информация, снимаемая со стандартного соединительного элемента, подводится к транзистору  $n-p-n$  типа, включенному по схеме с общим коллектором. В состоянии логического нуля, когда линия имеет отрицательное напряжение, транзистор закрыт, а напряжение на эмиттере близко к нулю. При передаче по линии сигнала логической единицы транзистор насыщается и соединяет выход с источником питания, имеющим напряжение 5 В. В случае необходимости выходной сигнал согласующего устройства может быть подан на инвертор.

## Генерирование импульса, совместимого со стандартом RS232

Нередко возникает необходимость передать условное сообщение от электронной схемы к микропроцессору. Примеры таких ситуаций: определение временного интервала, разделяющего два события, выполнение счета на заданном промежутке времени. Зачастую проще и быстрее написать небольшую программу (например, на языке Basic), которая обеспечивает получение входных данных, более или менее сложные вычисления и хранение результатов в специальном файле, чем построить электронную схему для выполнения тех же задач. Рассмотренное ниже устройство состоит из простых компонентов и позволяет имитировать двоичное слово, совместимое по длительности со стандартом RS232.

По условию задачи на последовательный порт микрокомпьютера требуется отправить импульс, задаваемый с невысокой точностью, причем длительность этого импульса лежит в нужном интервале. Микропроцессор должен находиться в состоянии ожидания слова

произвольного значения, поступление которого служит сигналом для запуска процесса измерений, вычислений или счета. Хронология передачи должна быть совместима со стандартом RS232. Например, при скорости передачи 9600 бод сигнал одного бита длится около 100 мкс. В этом случае любой импульс длительностью от 100 мкс до  $9 \times 100$  мкс будет интерпретироваться как передача байта диапазона 00H – FFH.

Тот же принцип можно применить и к другим скоростям передачи при соответствующих длительностях импульсов. Если имеется сигнал, отвечающий этому критерию, достаточно преобразовать его в соответствии со стандартом RS232 и передать по линии. В противном случае для задания требуемой длительности импульса можно использовать одновибратор, состоящий из двух логических вентилей (рис. 2.46).

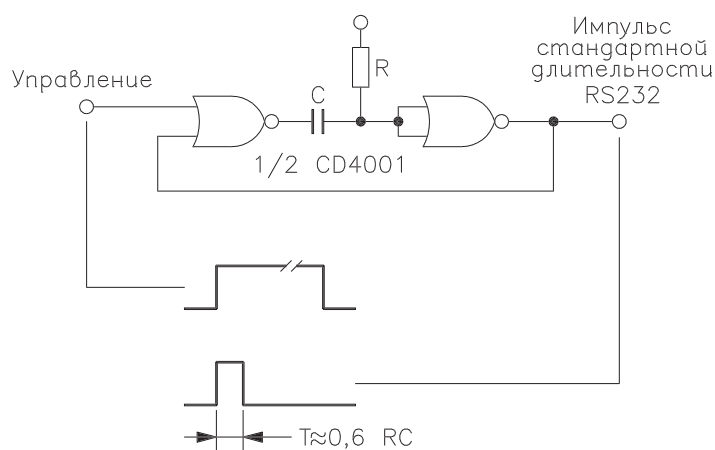


Рис. 2.46

Одновибратор запускается в нужный момент импульсным сигналом или замыканием управляющего контакта. При выборе параметров схемы, определяющих длительность импульса, не следует ориентироваться на время, близкое к максимальному, так как появляется риск наложения сигнала данных на сигналы Stop, что вызовет ошибку передачи.

### Использование стандартных соединительных элементов

При передаче данных в соответствии со стандартом RS232 нужны только две линии для однонаправленного соединения и три линии для двунаправленного. Однако фактически существует несколько дополнительных управляющих сигналов, которые редко



используются на практике. При отсутствии этих сигналов соответствующие линии нельзя оставлять неподключенными, так как это может привести к появлению ошибочных сигналов. В таком случае нужно соединить между собой несколько выводов стандартного соединительного элемента последовательного интерфейса.

На схемах, представленных на рис. 2.47, показаны некоторые соединения, которые необходимы при использовании разъема DB9 и его более старого аналога DB25.

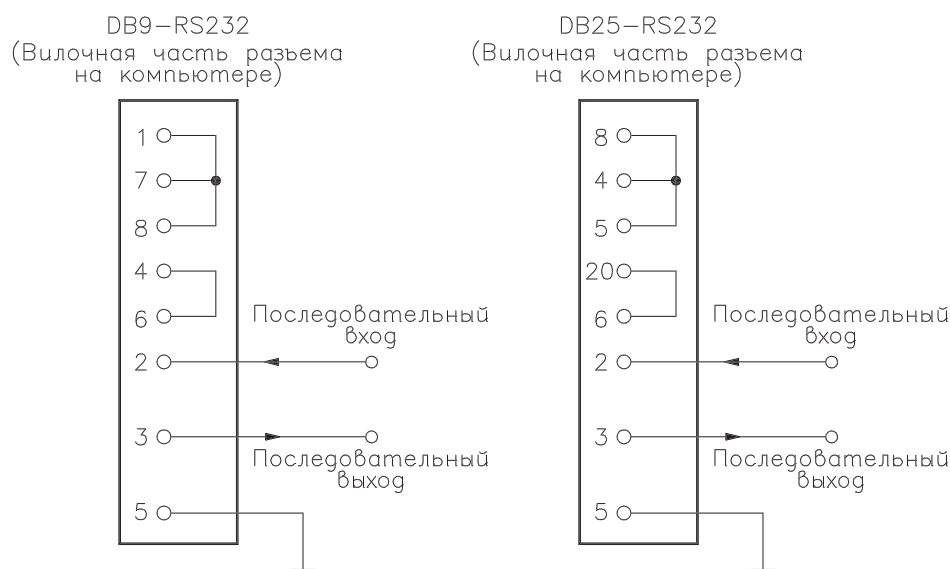


Рис. 2.47

Соединения выполняются по-разному в зависимости от того, предназначен ли интерфейс для связи двух компьютеров или для связи компьютера с нестандартной схемой. В последнем случае возможны различные варианты подключения, но всегда нужно следить за тем, чтобы вход одного устройства подключался к выходу другого.

## ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Важное достоинство двигателей на постоянном токе заключается в том, что они могут вращаться в обоих направлениях — в зависимости от полярности питающего напряжения. Благодаря этому радиоуправляемые модели и игрушечные машины могут двигаться вперед или назад, а электрические гайковерты, питаемые от аккумуляторов, закручивают и откручивают гайки.

Управление двигателем осуществляется с помощью специального трехпозиционного переключателя или двух реле (рис. 2.48).

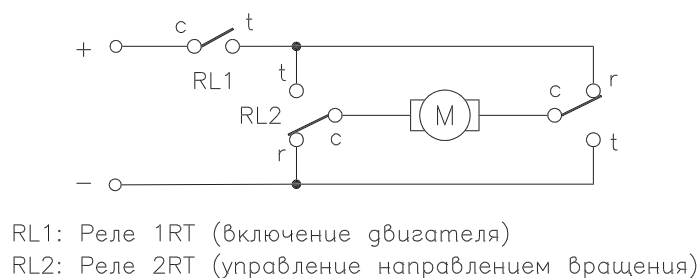


Рис. 2.48

Первое реле с одним контактом обеспечивает включение и остановку двигателя. Второе реле, имеющее два контакта, позволяет изменять полярность подаваемого на двигатель напряжения и направление его вращения. Управление реле осуществляется с помощью двух логических сигналов. Отметим, что любители радиоуправляемых моделей все чаще применяют электронные вариаторы, выполняющие аналогичные операции без помощи реле и позволяющие регулировать скорость вращения двигателя.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ

### Подключение к сети 220 В

Светодиоды давно начали использовать в качестве световых индикаторов вместо миниатюрных лампочек накаливания. Как известно, они обладают рядом преимуществ: низким потреблением тока, практически неограниченным сроком службы, малыми размерами. Для питания светодиодов требуется источник небольшого постоянного напряжения. Кроме этого, необходимо ограничивать потребляемый ими ток до нескольких миллиампер. В противном случае они могут выйти из строя.

Светодиоды часто используются для индикации включения устройства или наличия напряжения в определенной точке схемы. Обеспечить им питание нетрудно, если устройство, в котором они применяются, имеет источник постоянного напряжения. Дело обстоит

сложнее, когда источником питания является сеть переменного тока. В этом случае можно воспользоваться простой схемой (рис. 2.49), представляющей собой упрощенный вариант источника питания, в котором для понижения напряжения используется неполярный конденсатор.

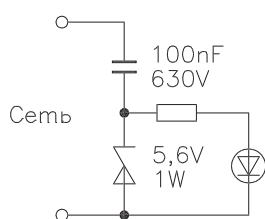


Рис. 2.49

Стабилитрон обеспечивает на своих зажимах напряжение 5,6 В, а резистор ограничивает ток до

величины, приемлемой для светодиода. Отсутствие фильтрации приводит к появлению колебаний излучения, как правило, не воспринимаемых глазом.

При необходимости можно использовать стабилитроны с другим рабочим напряжением, если сопротивление балластного резистора будет изменено соответствующим образом. Чтобы рассчитать значение этого напряжения, нужно из номинального напряжения стабилитрона вычесть 2 В и разделить результат на требуемый ток. При работе с такой схемой необходимо соблюдать те же правила безопасности, что и для любого устройства, непосредственно соединенного с сетью (не прикасаться к схеме, когда она включена, использовать пластмассовый корпус и т.д.).

### **Подбор яркости свечения**

Прежде чем фиксировать величину резистора, ограничивающего ток в цепи питания светодиода, желательно испытать диод, который будет использоваться, при различных токах (не допуская превышения предельного значения тока для данного прибора). Иногда яркость свечения, обеспечиваемая при сравнительно небольшом токе, может оказаться достаточной для предполагаемого применения. Выбор пониженного тока позволяет оптимизировать общее потребление энергии схемой, что особенно важно, когда источником питания является батарейка или аккумулятор.

### **Определение полярности выводов**

Светодиоды, как и все полупроводниковые диоды, имеют различающиеся выводы (анод и катод), требующие определенной полярности рабочего напряжения. Но в некоторых случаях установить расположение выводов непросто из-за отсутствия единого стандарта на маркировку. Например, не всегда можно полагаться на разные длины выводов или на их внешний вид. Попытки определить тип электродов, рассматривая внутренность прозрачного корпуса светодиода, также не всегда приводят к успеху.

Для определения полярности выводов следует использовать мультиметр в режиме измерения сопротивления. Прежде всего нужно сопоставить цвет используемых проводов с полярностью напряжения на выходных гнездах прибора. При инверсном подключении мультиметр не даст никаких показаний: сопротивление диода слишком велико. При правильной полярности поданного напряжения (отрицательный полюс источника соединен с катодом) обычно

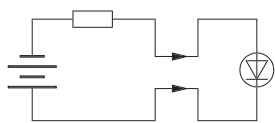


Рис. 2.50

индицируется значение 1600 или 1800 Ом и наблюдается слабое свечение. Когда применяются однотипные светодиоды, достаточно установить полярность выводов для одного из них.

Наконец, при отсутствии мультиметра можно изготовить импровизированный тестер, используя батарейку и резистор, который подбирается так, чтобы обеспечить надежное зажигание светодиода при правильной полярности подключения без превышения допустимого тока (рис. 2.50).

### Применение светодиодов в источниках тока

Светодиоды имеют весьма стабильные электрические характеристики и используются не только в качестве световых индикаторов. Например, они могут применяться в прецизионных усилителях для стабилизации тока смещения каскадов. В этом случае используется стабильность прямого напряжения на светодиоде. В зависимости от типа диода и тока смещения величина этого напряжения находится в диапазоне от 1,4 до 2 В с высокой степенью повторяемости в пределах одного семейства. При этом температурный дрейф напряжения сравним с аналогичной характеристикой для маломощного транзистора  $n-p-n$  типа. В сочетании со специально подобранным резистором светодиод может успешно заменить стабилитрон, используемый обычно на входе транзистора для формирования генератора тока.

### МАТРИЦИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

Матрицирование представляет собой размещение линий управляющих сигналов (битов) по строкам и столбцам, которое направлено на считывание числа состояний, равного произведению числа строк на число столбцов. Например, 8 бит, размещенные обычным способом, позволяют считывать состояния только восьми различных входов. Если же их расположить в виде матрицы из четырех строк и четырех столбцов, можно будет считывать состояния 16 входов. Данный метод требует объединения некоторого числа битов (например, равного числу столбцов) по выходу, а не по входу. Для опроса всех состояний нужно последовательно проходить по каждому из столбцов, подавая на них сигнал логической единицы и считывая возможное изменение состояния на выходе. Данный

принцип использован в клавиатуре компьютера и кнопках телефонного аппарата.

На рис. 2.51 представлен пример «телефонной клавиатуры» из 12 клавиш, размещенных по трем строкам и четырем столбцам.

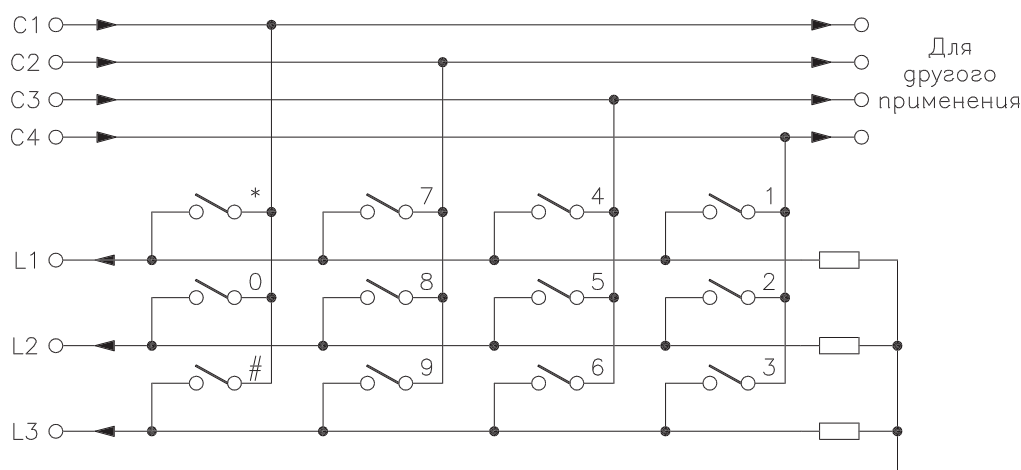


Рис. 2.51

Каждая клавиша находится на пересечении строки и столбца. Положения клавиш определяются по сигналам на линиях строк, где исходно установлены состояния логического нуля благодаря наличию трех резисторов, соединенных с общей точкой. Таким образом исключается риск считывания ошибочных значений без нажатия клавиш. Если нужно узнать, нажата ли клавиша 5, достаточно подать сигнал логической единицы на третий столбец и определить состояние второй строки. Если включение состоялось, на этой строке появится высокий потенциал.

Матрицирование требует соблюдения точной хронологии подачи управляющих сигналов. Эту задачу обычно выполняют специализированные ИС. В частности, в телефонии часто используется микросхема ТСМ5089. Также допустимо применение микроконтроллера в сочетании с относительно простой программой. В некоторых случаях сигналы опроса, поступающие на столбцы, можно использовать для подачи на другие периферийные устройства, например на светодиодный индикатор, который часто сопрягается с клавиатурой.

## АНАЛОГОВЫЙ ОБЩИЙ

Операционные усилители иногда используют для усиления переменных сигналов в устройствах, где отсутствует отрицательное

напряжение питания. Однако, чтобы усилить каждую полуволну, нужно иметь дополнительный опорный уровень напряжения (помимо общей заземленной точки и напряжения питания). Такой опорный уровень, равный  $V_{cc}/2$ , формируют с помощью резистивного делителя в сочетании с фильтрующим конденсатором (рис. 2.52а).

Этот потенциал может использоваться несколькими усилителями. Если их число велико или же требуется высокая стабильность опорного уровня, разумно построить небольшой источник питания, стабилизированный при помощи дополнительного операционного усилителя (рис. 2.52б). Такой искусственный опорный уровень часто называют «аналоговый общий» (общая заземленная точка для цифровых элементов схемы называется «цифровой общий»).

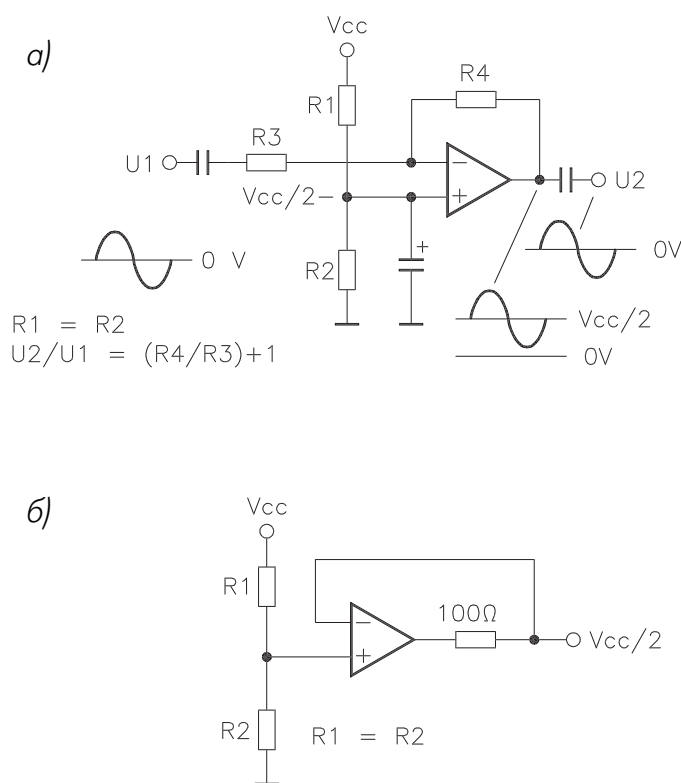


Рис. 2.52

Следует помнить о том, что усиливаемый аналоговый сигнал на самом деле наложен не на нулевой уровень, а на некоторое постоянное напряжение, которое обычно необходимо исключить перед подачей сигнала на следующий каскад. Для этой цели в конце усиленной цепи ставят разделительный конденсатор, устраняющий постоянную составляющую напряжения.

## ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) заключается в генерировании последовательности прямоугольных импульсов постоянной амплитуды, длительность которых в каждый момент времени пропорциональна аналоговому сигналу. Принцип модуляции основан на изменении среднего значения прямоугольного напряжения в соответствии с мгновенным значением преобразуемого сигнала (рис. 2.53а).

Если взять прямоугольный сигнал в форме меандра, для которого длительность импульса равна длительности паузы, то его среднее значение составит половину амплитуды. Если длительность импульса равна трети общей длительности периода, то среднее значение напряжения также составит 0,33 от амплитуды импульсов и т.д.

Подобное преобразование широко применяется для управления скоростью вращения двигателя, для синтеза звуковых сигналов, для построения импульсного источника питания и др.

Замена аналогового напряжения импульсным обеспечивает резкое сокращение мощности, рассеиваемой в выходных каскадах, поскольку они работают в режиме переключения. В добавление к этому появляется возможность передавать сигнал сложной формы при помощи одного бита информации. Основная трудность при использовании ШИМ сигнала заключается в необходимости фильтрации восстановленного напряжения для подавления наложенного на него сигнала с частотой дискретизации.

Существует множество путей создания ШИМ сигнала, основанных на использовании специализированных ИС и схем на дискретных компонентах. В любом случае происходит сравнение исходного сигнала с опорным напряжением треугольной формы. Частота последнего должна быть максимально высокой, чтобы обеспечить достаточное разрешение устройства преобразования. Обычно периоды разделяют минимальной паузой, препятствующей наложению двух соседних импульсов при максимальном уровне входного сигнала. На рис. 2.53б показан пример схемы на операционных усилителях, реализующей широтно-импульсную модуляцию.

## МОЩНЫЕ МОП ТРАНЗИСТОРЫ

Полевые транзисторы с изолированным затвором (МОП транзисторы) отличаются по характеристикам от биполярных транзисторов. Как правило, они используются в качестве переключателей, хотя



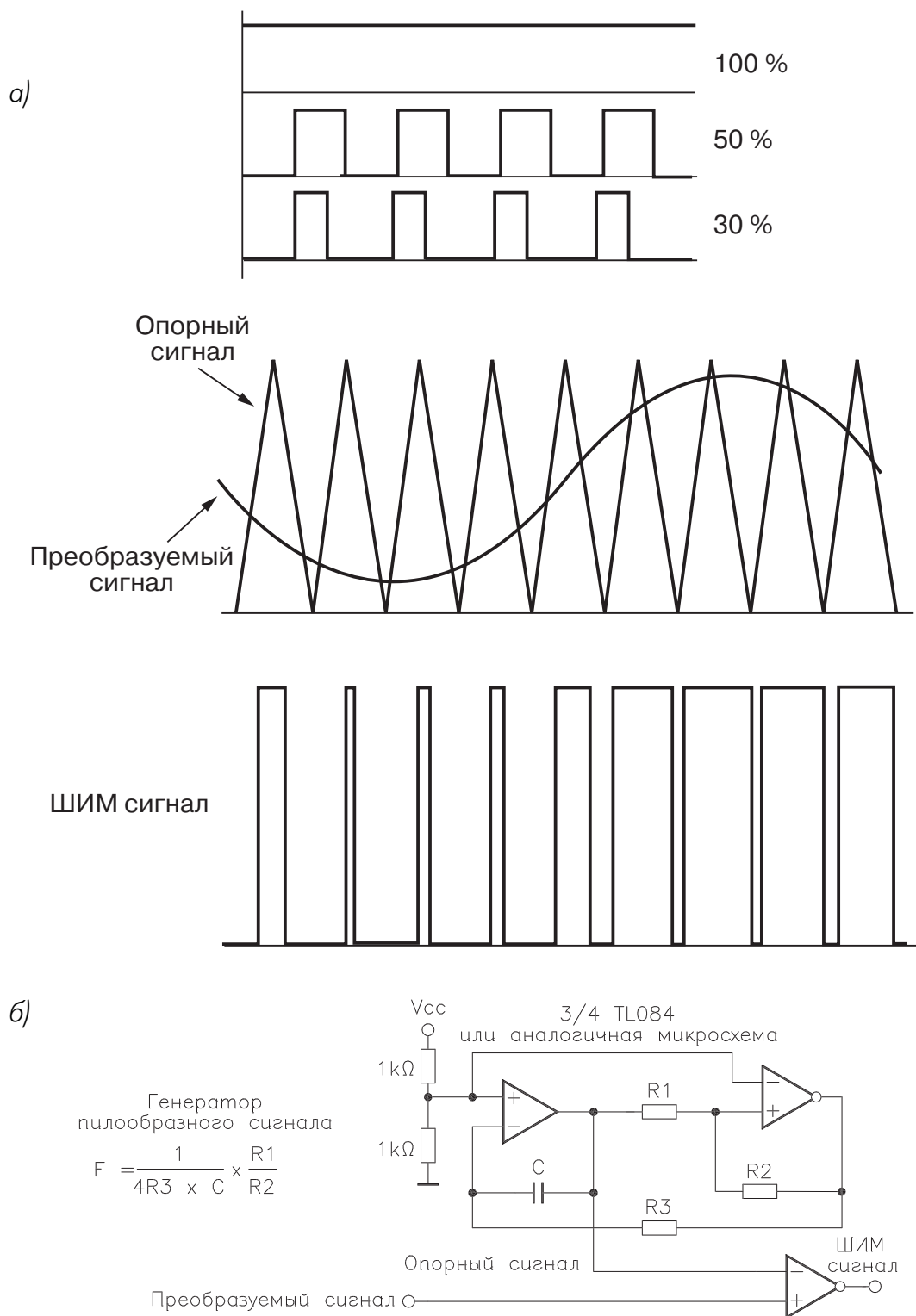


Рис. 2.53

МОП транзисторы можно применять и в аналоговой электронике, о чем свидетельствуют многочисленные ИС усилителей на этих приборах. МОП транзистор в состоянии проводимости можно сравнить

с замкнутым выключателем: он имеет остаточное сопротивление около 2 Ом для маломощных приборов и порядка 0,1 Ом для самых мощных. При высоких токах, которые способны пропускать данные компоненты, такие величины сопротивлений могут вызывать заметное падение напряжения. Например, резистор 0,1 Ом, через который проходит ток 10 А, имеет падение напряжения 1 В. При высоких рабочих напряжениях этой величиной можно пренебречь. Иначе обстоит дело при управлении вариатором скорости вращения двигателя, получающего питание от батарейки или аккумулятора напряжением 6 В (например, в радиоуправляемых моделях).

Для снижения остаточного сопротивления МОП транзисторы можно соединять параллельно. Два параллельно включенных идентичных транзистора с остаточным сопротивлением по 0,1 Ом составят один прибор с сопротивлением 0,05 Ом, который может пропускать удвоенный ток. Теоретически допустимо соединять подобным образом любое число транзисторов, но на практике обычно ограничиваются несколькими приборами (не более четырех).

В справочниках представлены мощные МОП транзисторы, которые могут коммутировать токи до 100 и даже до 150 А. Однако необходимо тщательно изучить техническую документацию, где представлены параметры транзисторов, прежде чем включать их в схему. Как правило, приборы могут выдержать максимально допустимые токи лишь в течение очень короткого времени. Например, транзистор IRF540 (в корпусе TO220) имеет максимальный ток 28 А при напряжении 100 В. Однако из анализа его характеристик следует, что такой ток допустим лишь в импульсном режиме, когда длительность импульсов не превышает 100 мкс. При ее увеличении до 10 мс приходится довольствоваться током 4 А. Превышение указанных значений сопряжено с риском вывода из строя самого транзистора или соединенного с ним защитного диода.

Ограничения по току распространяются и на случай параллельного включения транзисторов. Если учесть разброс параметров приборов, становится очевидным, что два параллельно включенных МОП транзистора никогда не имеют идентичные сопротивления в открытом состоянии. Вследствие этого через них будут проходить неравные токи, и риск превышения допустимых значений увеличивается. Наконец, следует отметить, что МОП транзисторы, как правило, менее надежны, чем биполярные. Кроме того, редко удастся заранее выявить признаки возможного выхода прибора из строя.

Одно из несомненных достоинств полевых транзисторов – простота управления при малом токе, потребляемом от источника сигнала. Поданный на вход импульс напряжения 5 В, генерируемый логическим вентиляем, позволяет коммутировать высокие токи в выходной цепи. Именно в этом и заключается основное преимущество полевых транзисторов по сравнению с биполярными, при использовании которых для достижения аналогичных выходных мощностей требуется каскадное соединение нескольких приборов. Обычно МОП транзистор начинает проводить ток при управляющем напряжении 4 В. Однако для полного открывания на его вход нужно подать напряжение 10 или 12 В (последнее значение соответствует стандарту RS232).

Управляющий электрод (аналогичный базе биполярного транзистора) называется затвором, аналогом эмиттера является исток, а коллектора – сток. Для наиболее распространенной схемы включения с общим истоком управляющим напряжением является  $V_{gs}$ , а выходным напряжением –  $V_{ds}$  (рис. 2.54а). Между источником входного сигнала и затвором, как правило, включается низкоомный резистор. Одно и то же управляющее напряжение может подаваться на несколько параллельно включенных полевых транзисторов. В этом случае на каждый транзистор требуется по затворному резистору (рис. 2.54б). Примеры управления МОП транзистором с помощью логического инвертора и каскада на биполярных транзисторах показаны на рис. 2.54в,г.

Аналогично существованию биполярных транзисторов  $n-p-n$  и  $p-n-p$  типов имеются полевые транзисторы с каналом  $n$ -типа и  $p$ -типа. Транзисторы с  $p$ -каналом редко применяются в виде дискретных элементов. Объединение МОП транзисторов обоих типов позволило создать комплементарные интегральные схемы, характеризующиеся исключительно низкой потребляемой мощностью.

Тестирование МОП транзистора при помощи мультиметра затруднено, поскольку затворный электрод фактически изолирован от двух других. Можно лишь получить информацию о состоянии защитного диода, включенного между стоком и истоком, и проверить отсутствие короткого замыкания между выводами.

Следует помнить, что входной электрод МОП транзистора, как и вход логического вентиля КМОП типа, не должен оставаться свободным. Под воздействием наводок потенциал электрода способен

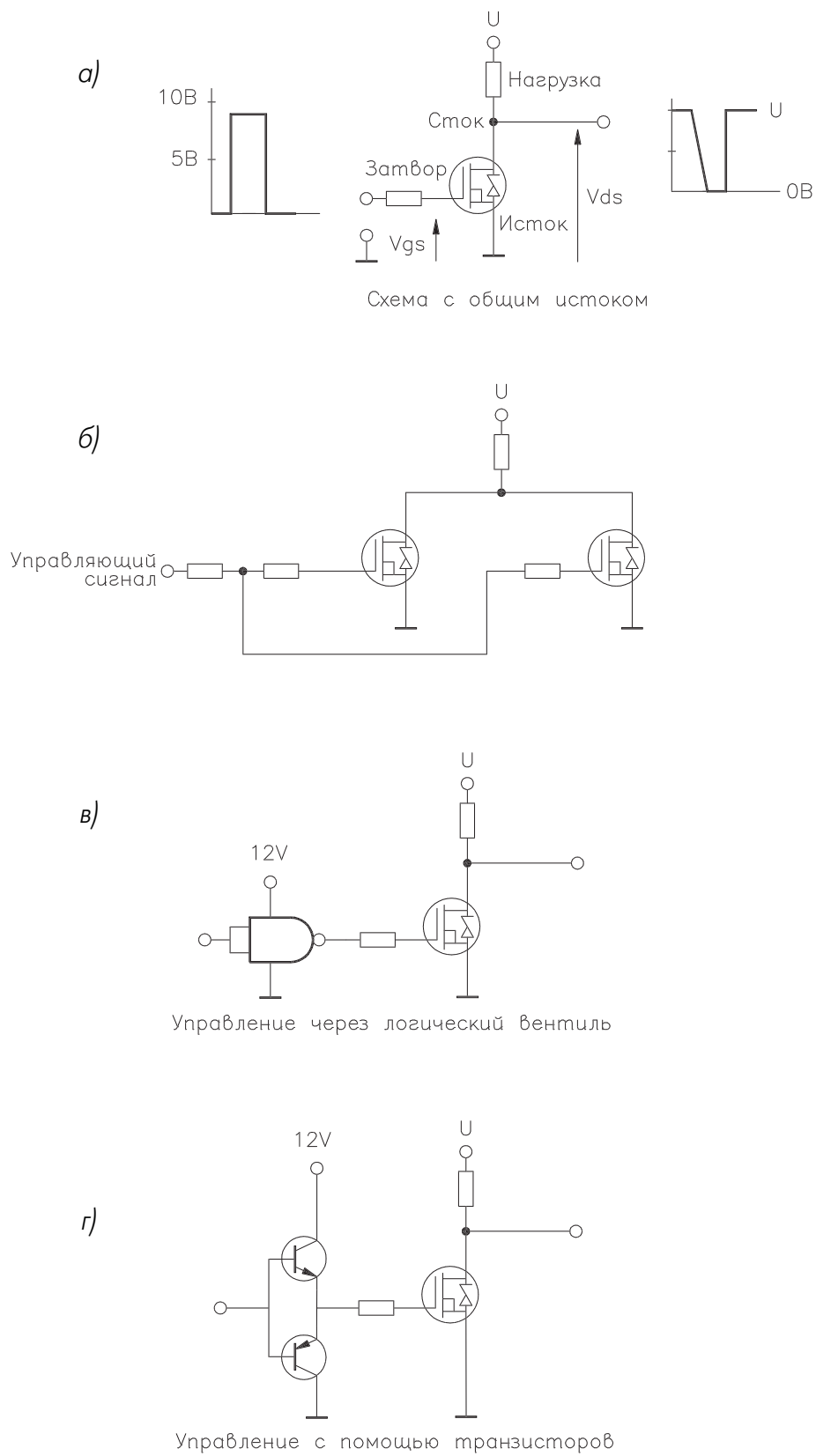


Рис. 2.54

принимать любое значение, что, в частности, может вызвать открытие транзистора и протекание высокого тока в выходной цепи при отсутствии входного сигнала. Поэтому во всех режимах, в том числе и на этапе тестирования, между затвором и общей точкой должно быть включено сопротивление утечки (обычно порядка 1 МОм).

## ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Быстрое развитие электроники позволяет непрерывно совершенствовать основные параметры современных компьютеров: скорость вычислений, объем памяти, качество отображения информации на мониторе и др. Наряду с этим работа компьютеров все еще в значительной степени зависит от характеристик такого классического компонента, как электродвигатель. Вращение дискет, компакт-дисков и жесткого диска осуществляют двигатели постоянного тока, скорость вращения которых должна выдерживаться с максимальной точностью.

Для перемещения считывающих и печатающих головок применяются шаговые двигатели. Они имеют ротор в виде постоянного магнита и несколько обмоток, для питания которых используются четыре, шесть или восемь выводов. Переключение обмоток в определенном порядке вызывает угловое перемещение ротора на точно заданную величину, минимальный угол поворота ротора называется шагом. Шаговый двигатель может выполнять до 48 шагов за полный оборот, что обеспечивает угловое перемещение  $7,5^\circ$  за каждый шаг. Чтобы ротор вращался непрерывно, необходимо переключать питание обмоток в соответствии с определенной повторяющейся последовательностью. При изменении этой последовательности на противоположную двигатель начинает вращаться в обратном направлении. Скорость вращения зависит от частоты переключений и может достигать высоких значений. Если прервать последовательность управляющих сигналов, двигатель быстро останавливается в положении, соответствующем заданному соединению обмоток. При этом на его оси сохраняется достаточный вращающий момент, гарантирующий высокую точность углового положения ротора. Хорошее представление о впечатляющих возможностях этих двигателей, не требующих специальных систем регулирования скорости вращения, дает наблюдение за перемещениями печатающей каретки принтера.

Шаговыми двигателями достаточно просто управлять с помощью специальных схем или путем программирования некоторого числа управляющих сигналов. На рис. 2.55 показана упрощенная схема питания обмоток двигателя посредством транзисторов, а также приведен пример последовательности управляющих сигналов.

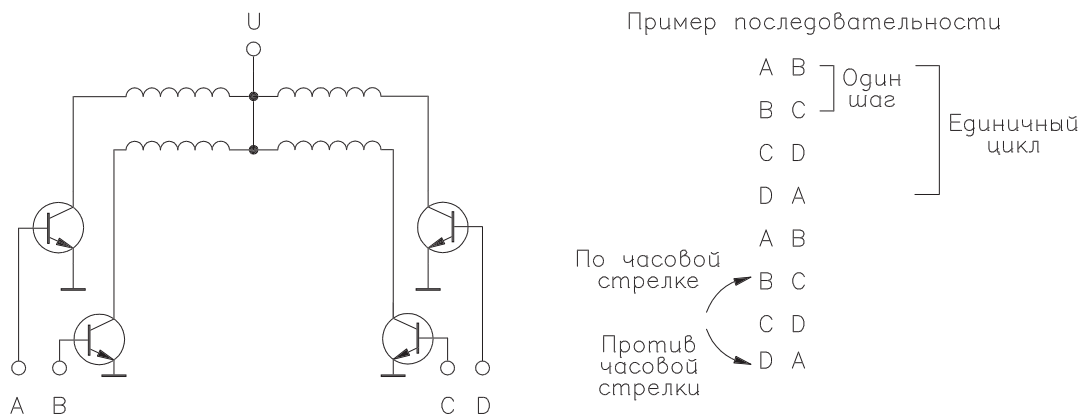


Рис. 2.55

Существуют также специализированные микросхемы для управления шаговыми двигателями, например SAA1027 и L297. На их входы подают два импульсных сигнала для выбора направления вращения и для подачи команды перехода к следующему шагу (последовательность переключения обмоток задается при этом автоматически).

Прежде чем подключать двигатель, следует внимательно изучить его параметры (напряжение питания, маркировку обмоток и т.д.). При работе необходимо следить за тем, чтобы ось двигателя не перегружалась. Для увеличения вращающего момента можно применить редуктор, при этом соответственно увеличится число шагов за один оборот. На практике используются редукторы с фрикционной (для жестких дисков) и зубчатой передачей (для перемещения печатающей каретки).

## ШИФРАТОР С ДВОИЧНЫМ КОДОМ

Некоторые логические функции удастся построить, не используя специализированные микросхемы. Устройство на дискретных элементах обычно оказывается дешевле и упрощает топологию печатной платы.

На рис. 2.56 показан шифратор с четырьмя входами и двумя двоичными выходами.

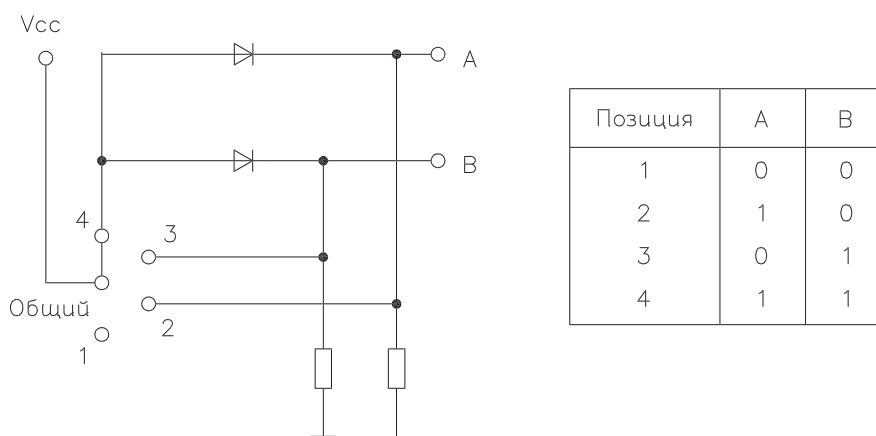


Рис. 2.56

Такой компонент может служить полезным дополнением к переключателю, расположенному на лицевой панели. При этом каждому положению переключателя соответствует двоичное слово на выходе шифратора. Данное устройство может использоваться, например, для светодиодной индикации состояния переключателя. К нему не предъявляют специальных требований в отношении быстродействия и качества генерируемых сигналов, поэтому его схема предельно проста.

Переключатель может быть выполнен в виде двухрядного соединительного элемента с перемещаемой перемычкой. Весь набор компонентов размещается непосредственно на печатной плате и занимает немного места.

## ПРИМЕНЕНИЕ ОПТОПАР

Оптопары обеспечивают полную электрическую изоляцию между частями схемы, получающими питание от разных источников. Как и транзисторы, они применяются в устройствах коммутации (в частности, при передаче данных с использованием оптоэлектронных систем) или в аналоговых схемах (например, в стабилизаторах напряжения).

Оптопары характеризуются значительным разбросом параметров от одного экземпляра к другому. Для проверки их характеристик достаточно построить небольшую схему, показанную на рис. 2.57.

Уровень входного напряжения, нужного для переключения выходного транзистора в режим насыщения (низкоомное состояние),



может варьироваться на несколько вольт для приборов одного типа. В цифровой электронике этот разброс не играет существенной роли при правильном выборе входного напряжения и сопротивления в цепи светодиода (чтобы переключение на выходе осуществлялось для всех приборов).

В аналоговых схемах дело обстоит иначе, поэтому для обеспечения надежной работы необходимо предусмотреть ручную регулировку входного напряжения в достаточно широких пределах.

Наиболее распространенные оптопары имеют корпус типа DIP6 с шестью выводами. Два первых относятся к светодиоду, а три последних – к транзистору, вывод № 3 не задействован. Имеющийся вывод базы транзистора используется очень редко. Если этот вывод остается свободным, он функционирует подобно антенне и может принимать сигналы различного рода помех, возникающие, например, в импульсных источниках питания. Не всегда легко определить, с какой точкой схемы допустимо соединить этот вывод, не нарушив работу транзистора. В этом случае необходимо провести несколько тестов, не забывая о том, что неправильное подключение может иметь неприятные последствия для каскада, соединенного с выходом транзистора.

Проблемы такого рода не возникают при использовании более простой оптопары в корпусе типа DIP4, не имеющем вывода базы фототранзистора. Следует иметь в виду, что для таких корпусов предусмотрены различные варианты расположения выводов. Некоторые типы оптопар (например, SFH610 и SFH615) существуют в двух вариантах, единственное различие между которыми заключается в инверсном расположении выводов, соответствующих коллектору и эмиттеру фототранзистора.

## ФОТОПРИЕМНИК ИК ДИАПАЗОНА

В современных электронных схемах широко используются приборы, выполняющие функции генерации, детектирования или измерения излучения. Повышенное внимание в последние годы уделяется приборам ИК диапазона. Это связано с появлением и распространением устройств дистанционного управления, которыми оснащается практически вся аудио- и видеоаппаратура. Кодирование управляющих

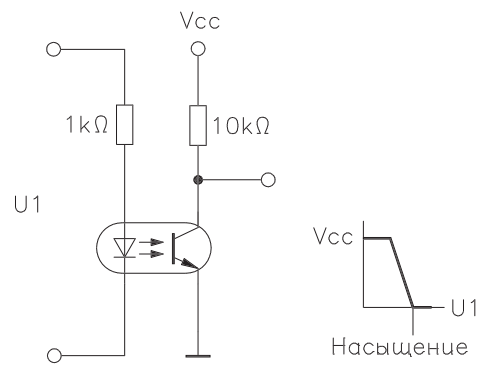


Рис. 2.57

сигналов в таких устройствах постепенно стандартизируется, что расширяет область их применения.

Для детектирования сигналов ИК диапазона разработаны серийные модули, но радиолюбители могут без труда изготовить приемное устройство самостоятельно. В качестве детектора излучения используется фотодиод ИК диапазона. Такой диод обладает чувствительностью и в видимой части спектра, поэтому искусственное освещение является для него источником помех. Для их подавления детектор должен быть защищен оптическим фильтром (см. главу 1, раздел «Защита фотодиода от помех»). Как правило, корпус фотодиода обеспечивает широкую направленность приема излучения. С целью ослабления помех от посторонних оптических сигналов следует ограничить угол, в пределах которого излучение может падать на прибор.

На рис. 2.58 приведена схема усиления сигнала, генерируемого фотодиодом.

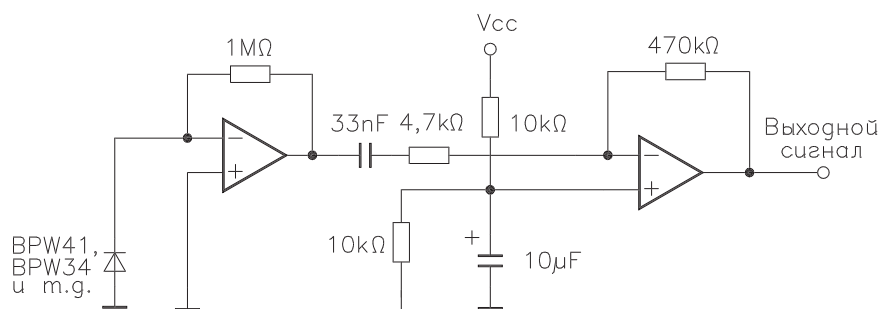


Рис. 2.58

На выходе схемы формируется последовательность управляющих импульсов, амплитуда которых достаточно высока для выполнения дальнейшей обработки. Выходной операционный усилитель работает в режиме однополярного сигнала. Поэтому выходные импульсы наложены на постоянную составляющую, которую нетрудно убрать с помощью конденсатора или компаратора.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ

В небольшом плоском пьезоэлементе возбуждаются механические колебания на звуковой частоте, равной частоте поданного на его контакты напряжения. Это позволяет использовать компонент в качестве

зуммера. Наблюдается и обратный эффект: под воздействием механического напряжения на контактах пьезоэлемента возникает разность потенциалов, пропорциональная приложенной силе. При значительных усилиях пиковое значение разности потенциалов достигает десятков вольт. В таком режиме пьезоэлемент может использоваться в микрофонах.

Следует иметь в виду, что пьезоэлемент является высокоомным компонентом. Поэтому в большинстве случаев (если по цепи должен протекать хотя бы небольшой ток) параллельно ему необходимо подключить резистор или потенциометр с номиналом порядка 1 МОм.

## ФАЗОВАЯ АВТОПОДСТРОЙКА ЧАСТОТЫ

Система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) представляет собой устройство, позволяющее генерировать цифровой сигнал, по фазе совпадающий с опорным. Область применения ФАПЧ весьма обширна и охватывает радиоприем (настройка на передатчик), частотное детектирование и устройства выборки.

Система ФАПЧ включает в себя два основных элемента (рис. 2.59): фазовый компаратор и генератор, управляемый напряжением (ГУН).

В качестве компаратора используется вентиль, выполняющий логическую функцию исключающее ИЛИ, работа которого была рассмотрена выше. Напомним, что такой вентиль переходит в состояние логического нуля на выходе, когда на его входах появляются идентичные сигналы. Генератор вырабатывает прямоугольные импульсы, частота которых регулируется путем изменения управляющего напряжения. Сигнал генератора поступает на один из входов вентиля, а на второй вход подается опорный сигнал. В случае их несовпадения на выходе вентиля появляется импульс, передний фронт которого опережает фронт опорного сигнала или отстает от него. После интегрирования импульс преобразуется в управляющее напряжение и подается на вход генератора, что обеспечивает коррекцию частоты сигнала на выходе. При синхронизации сигналов выход вентиля находится в состоянии 0. Для индикации режима синхронизации к этому выходу обычно подключают светодиод.

Аналогичный способ применяется для индикации настройки радиоприемника на передающую станцию. Для того чтобы повысить гибкость и точность регулировки, между выходом генератора

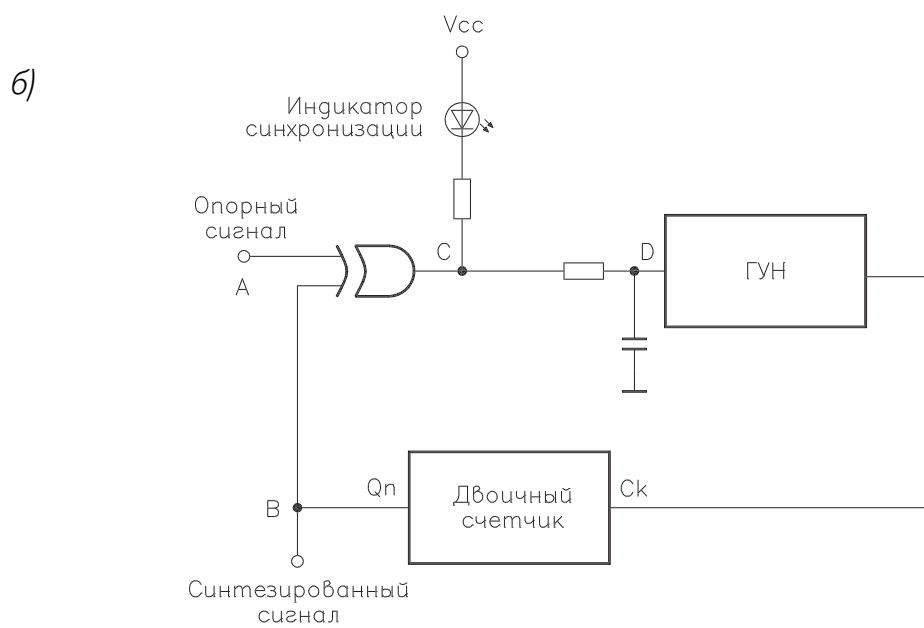
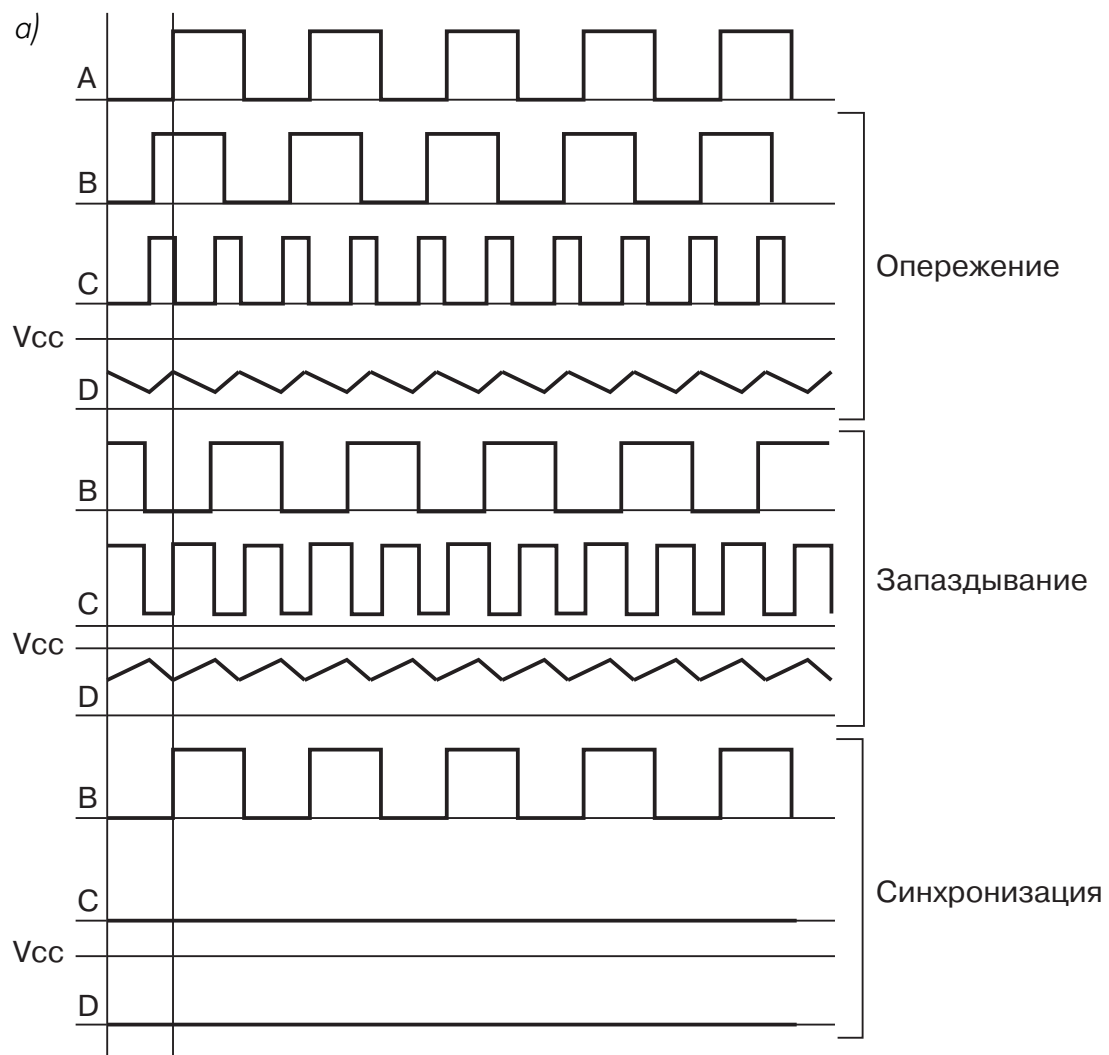


Рис. 2.59

и входом компаратора включают делитель частоты (двоичный счетчик). Например, если частота опорного сигнала составляет 50 Гц и используется счетчик, включенный по схеме делителя на 128 (7 бит), то генератор будет функционировать на центральной частоте 6400 Гц ( $128 \times 50$ ). Тогда при работе системы автоподстройки колебания частоты синтезируемого сигнала будут менее резкими. Микросхема CD4046, выполняющая функцию ФАПЧ, содержит весь набор описанных элементов, за исключением счетчика. Вопрос об использовании счетчика и о выборе его коэффициента деления должен решаться разработчиком концепции устройства.

Рассмотренная схема (операционный усилитель и компаратор) может быть построена на дискретных аналоговых и цифровых элементах или исключительно с применением цифровой техники, что обеспечивает высокую надежность. Систему ФАПЧ в цифровом виде допустимо реализовать при помощи микроконтроллера в сочетании с относительно простой логической схемой (см. ниже).

## ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Электрический кабель является не единственным средством для передачи аналоговой и цифровой информации. Реже используется оптическое волокно, этот способ передачи информации относительно дорог. Пневматические устройства еще менее популярны, хотя и обладают рядом преимуществ, даже когда просто выполняют роль выключателя. Устройство, аналогичное выключателю с механическим приводом, содержит трубку с датчиком давления на конце. Другой конец трубки в простейшем случае снабжен резиновой грушей (рис. 2.60).

Датчик содержит мембрану, которая, деформируясь при повышении давления воздуха в трубке, замыкает контакт концевой типа.

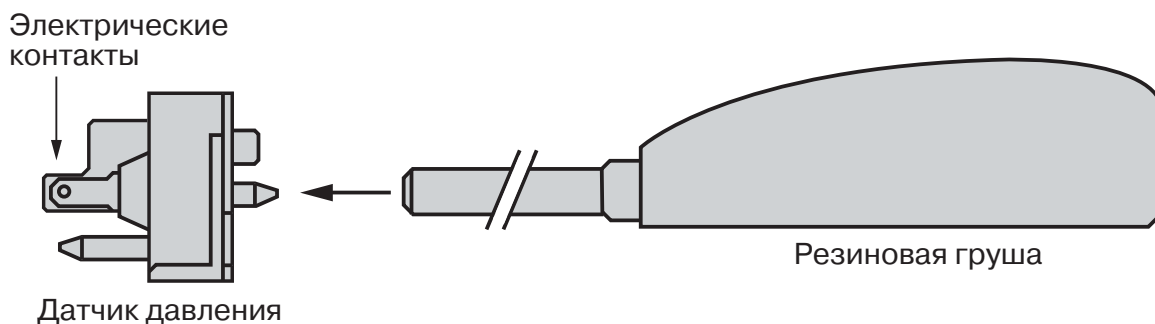


Рис. 2.60

В моделях, обладающих большей чувствительностью, для замыкания контактов используется небольшой подвижный шарик.

Пневматический способ управления часто применяется в системах обеспечения безопасности. Некоторые бассейны оснащены насосом для тренировки в условиях плавания против течения. При этом удобнее управлять насосом, не выходя из воды. В подобных случаях пневматический выключатель незаменим. Пневматические устройства традиционно применяются в различных системах для выявления области пониженного давления. Сверхчувствительные пневматические датчики позволяют контролировать артериальное давление у тяжелых больных. При необходимости включается система оказания помощи.

Нетрудно сделать устройство, в котором для включения управляющего сигнала достаточно подуть в трубку. Для этого нужно подсоединить мундштук к гибкому шлангу подходящего диаметра, соединенному с датчиком давления.

В продаже довольно редко встречаются компоненты, из которых можно создать пневматическую систему управления. Исключением являются датчики давления: они используются в некоторых моделях стиральных машин и продаются в числе прочих запасных деталей.

## **ПОЛНАЯ МОСТОВАЯ СХЕМА**

Полная мостовая схема (Н-образный мост) содержит четыре выключателя, соединенных последовательно-параллельно. Широко распространен электронный вариант моста, где обычно используются транзисторы, работающие в режиме переключения. Такая схема часто служит для управления двигателем постоянного тока и позволяет изменять скорость и направление вращения.

Схема, приведенная на рис. 2.61а, иллюстрирует управление двигателем, который можно привести в одно из четырех различных состояний: вращения в одном или в другом направлении, отключения и принудительной остановки (торможения). Последний вариант осуществляется путем одновременного замыкания двух нижних выключателей. В результате происходит закорачивание обмотки двигателя. Схема часто используется для управления двигателями в радиоуправляемых моделях. Последовательность сигналов должна быть достаточно точной: нужно избежать одновременного замыкания двух переключателей в одной ветви, что привело бы к закорачиванию

источника питания. Чтобы выполнить это условие, для формирования управляющих сигналов обычно применяется специальное устройство. Путем периодического прерывания тока в ветвях моста можно изменять среднее значение тока, протекающего через двигатель, а следовательно, и скорость его вращения.

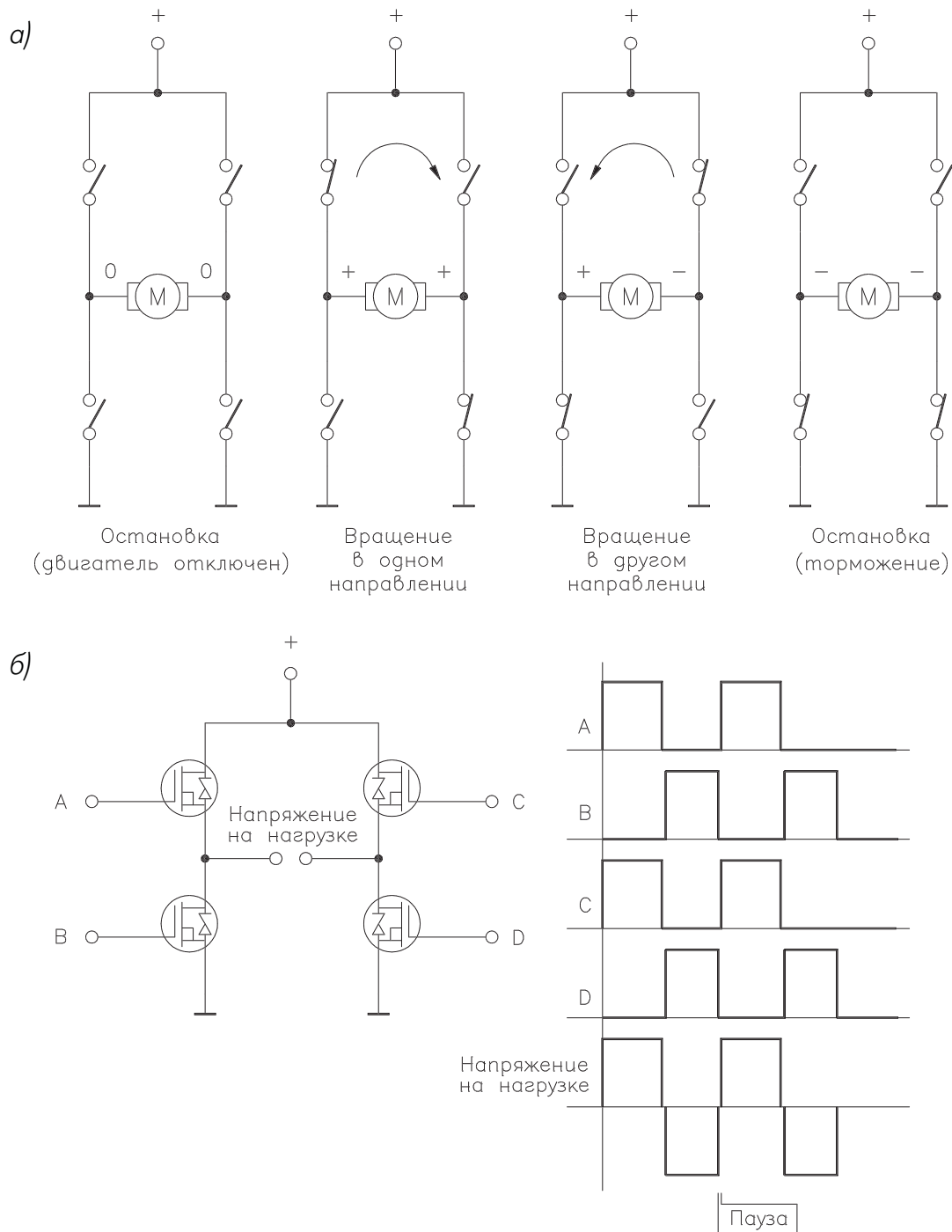


Рис. 2.61



Другим интересным примером использования полной мостовой схемы является генерация импульсного сигнала, у которого полный перепад уровней равен удвоенной величине напряжения источника питания (рис. 2.61б). Для решения этой задачи периодически чередуют токи в двух противоположных ветвях, выполняя вышеуказанное условие. В зависимости от типа нагрузки, включенной на выходе моста (индуктивной или емкостной), время паузы в подаче сигналов подбирают так, чтобы ток успевал снизиться до прихода сигнала противоположной полярности. Описанная схема может использоваться для подачи сигнала повышенного напряжения на громкоговоритель или в выходных каскадах инвертора.

В качестве переключающих элементов все чаще применяются МОП транзисторы благодаря малому току, потребляемому по цепи управления. Однако переключение мощных транзисторов является непростой задачей, поскольку для этого необходимо располагать управляющим напряжением порядка 10 В относительно истока, который в данном случае является точкой с плавающим потенциалом. Есть несколько возможных решений данной проблемы, в частности подача управляющего сигнала через трансформатор, использование источника питания с незаземленным выходом или применение специализированных схем.

## ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

Часто возникает необходимость рассчитать схему делителя напряжения, один из резисторов которой является переменным. Такая задача появляется, когда требуется получить опорное напряжение для операционного усилителя с относительно точной регулировкой в узком диапазоне. В этом случае удобно задать ток, потребляемый делителем. Данный параметр часто важен и сам по себе, особенно когда схема работает от батарейки и желательно обеспечить минимальную потребляемую мощность.

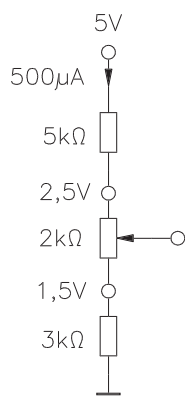


Рис. 2.62

На рис. 2.62 представлен делитель с тремя резисторами, один из которых является потенциометром. Допустим, при одном крайнем положении движка резистора нужно получить напряжение 1,5 В, а при другом – напряжение 2,5 В. Вначале зададим максимальный ток, который будет протекать по делителю. Пусть эта величина составляет 500 мкА при напряжении питания 5 В. Отсюда сразу можно определить номинал потенциометра. Он равен 2 кОм (падение напряжения 1 В на его

крайних выводах при токе 500 мкА). Используя тот же ход рассуждений, получаем номиналы остальных резисторов: 3 и 5 кОм. Разумеется, эти значения уточняются в зависимости от выбранной серии резисторов.

## МНОГООБОРОТНЫЙ ПОТЕНЦИОМЕТР

Многооборотные потенциометры (полное перемещение движка происходит за десять оборотов регулировочного винта) очень полезны, когда нужно отрегулировать какую-либо величину, например выходное напряжение источника питания, с высокой точностью. К сожалению, цена устройств часто слишком высока для любителей. В продаже имеются механические переключатели, объединенные с переменными резисторами, позволяющие трансформировать однооборотную модель потенциометра в многооборотную. Такие компоненты также дорого стоят и занимают много места.

Есть простой и эффективный способ, позволяющий достичь точной и плавной регулировки: последовательное включение двух однооборотных переменных резисторов (рис. 2.63). Один из них имеет требуемое сопротивление (или чуть ниже), а второй, значительно меньший по номиналу, позволяет точно регулировать суммарное сопротивление. Вначале с помощью первого резистора получают приблизительную (грубую) настройку, а окончательный результат обеспечивает тонкая настройка вторым резистором. Такой подход неприменим для потенциометрической схемы регулировки (со средней точкой).

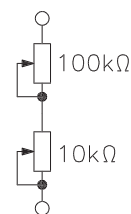


Рис. 2.63

## ЛОГИЧЕСКИЙ ВЕНТИЛЬ ИЛИ

Операция ИЛИ принадлежит к разряду классических логических операций. В электротехнических устройствах она выполняется при помощи серии выключателей или контактов реле, расположенных параллельно. Если хотя бы один из контактов замыкается, то сигнал передается со входа на выход. В электронике вместо контактов используются разнообразные диоды (рис. 2.64). Такое простое решение часто позволяет сэкономить одну или несколько интегральных схем. Наименьшая величина обратного сопротивления диода при напряжении  $V_{cc}$  составляет около 10 кОм. Быстродействие схемы

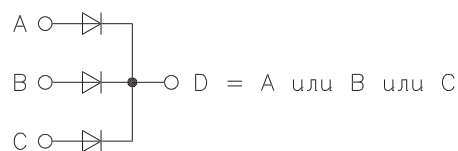


Рис. 2.64

зависит от выбранного типа диодов. По данному параметру она не уступает другим диодным схемам.

## ЛОГИЧЕСКИЙ ВЕНТИЛЬ И

Логическую операцию И (как и описанную выше операцию ИЛИ) можно выполнить, используя полупроводниковые диоды (рис. 2.65). Такой вариант встречается реже, чем операция ИЛИ, хотя имеет аналогичные характеристики и достоинства.

## ЗАЩИТА ПРОТИВ ИНВЕРСИИ ПОЛЯРНОСТИ

Когда какое-либо устройство питается от источника постоянного напряжения и включается лишь на короткое время (например, индикатор момента зажигания, применяющийся для диагностики двигателя внутреннего сгорания), возникает риск инверсии полярности. Последствия этого события нетрудно себе представить, особенно когда для питания используется мощный аккумулятор.

Если между напряжением питания и напряжением, необходимым для работы устройства, имеется существенная разница (не менее 2 В), то на входе схемы можно поставить выпрямительный мост (рис. 2.66). Тогда полярность напряжения на входе не будет играть никакой роли, хотя падение напряжения на диодах моста неизбежно приведет к потерям мощности. Схемы такого рода применяются только для малых мощностей. Как правило, их не используют для автомобильного радиоприемника и тем более для преобразователя 12/220 В.

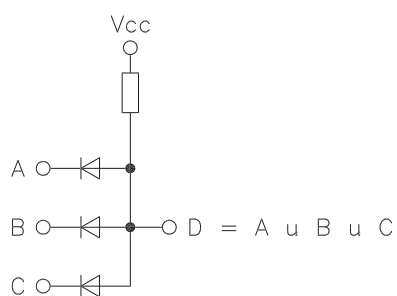


Рис. 2.65

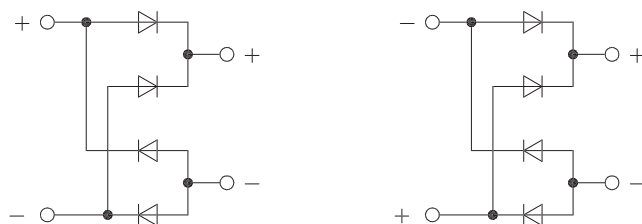


Рис. 2.66

## ДВУХТАКТНЫЙ КАСКАД

Двухтактный каскад – это каскад на двух транзисторах, обычно используемый на выходе быстродействующих цифровых устройств.

Кроме того, он входит в состав многих управляющих схем на МОП транзисторах. Двухтактный каскад включают также на выходе большинства генераторов синусоидального напряжения, работающих на низкоомную нагрузку (обычно 50 Ом). Его применение обеспечивает улучшение согласования генератора с нагрузкой. Базовая схема проста (рис. 2.67): у двух комплементарных транзисторов, включенных по схеме с общим коллектором, соединены эмиттеры и базы.

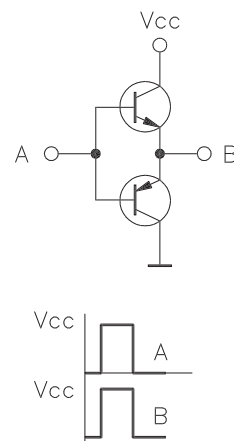


Рис. 2.67

Транзистор  $n-p-n$  типа присоединен к положительному полюсу источника питания, а транзистор  $p-n-p$  типа – к отрицательному. Транзисторы открываются поочередно, и напряжение на выходе практически повторяет по форме входной сигнал.

Двухтактный каскад обладает одним недостатком: он не может полностью воспроизвести сигнал, который в отрицательный полупериод опускается до нуля. В таком случае, как показано на рисунке, перепад напряжения на выходе оказывается меньше, чем на входе, из-за конечного остаточного напряжения на открытом транзисторе. Этот недостаток не играет никакой роли, когда каскад используется для управления схемой на МОП транзисторах, но существенно важен для выходных каскадов. С целью устранения описанной проблемы необходимо обеспечить симметричное питание двухтактного каскада, то есть применить дополнительный источник отрицательного напряжения.

## ДИОДНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Чтобы создать источник постоянного напряжения питания, используют однополупериодное или двухполупериодное выпрямление. Типичные схемы выпрямителей приведены на рис. 2.68.

Первый вариант (с одиночным диодом, рис. 2.68а) применяется редко из-за низкого КПД и высоких пульсаций выходного напряжения. Наиболее популярен двухполупериодный мостовой выпрямитель, содержащий четыре диода (рис. 2.68б).

Многие трансформаторы имеют две вторичные обмотки, которые можно соединить параллельно, чтобы получить максимальную выходную мощность. Схема со средней точкой во вторичной обмотке и двумя диодами (рис. 2.68в) выполняет ту же функцию, что и мостовой

выпрямитель. При этом она дешевле и занимает меньше места. На рис. 2.68г показана форма сигналов в различных точках: до выпрямителя (А), на выходе однополупериодного (В) и двухполупериодного (С) выпрямителя.

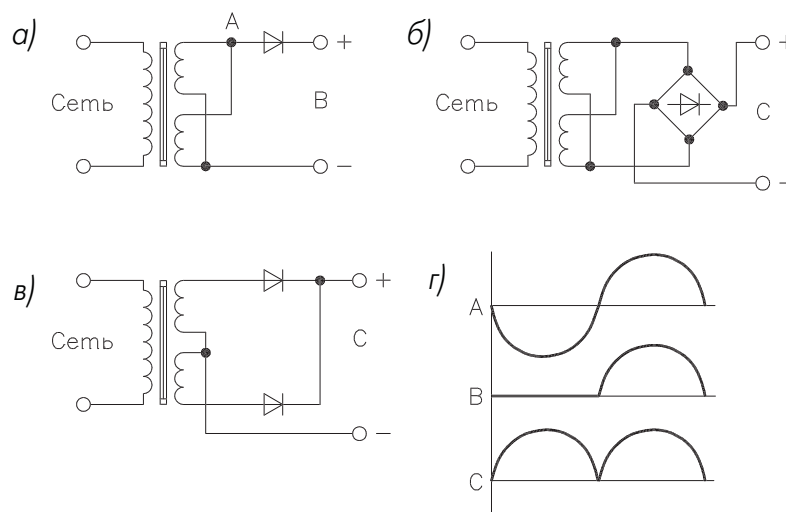


Рис. 2.68

## СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ

### Повышение выходного напряжения

Интегральные схемы стабилизаторов напряжения с фиксированным выходным напряжением в основном нужны для широко используемых значений. Для промежуточных величин приходится применять регулируемые стабилизаторы, которые не всегда найдешь в нужный момент. Однако можно изменить уровень на выходе стабилизатора постоянного напряжения. Для этого надо сместить потенциал опорного электрода (для ТО220 это положительный вывод, расположенный посередине), присоединив к нему один или нескольких диодов (рис. 2.69а). Добавление каждого диода увеличивает выходное напряжение приблизительно на 0,6 В.

Таким образом, микросхема типа 7812 в сочетании с тремя диодами обеспечит выходное напряжение 13,8 В, необходимое для зарядки свинцового аккумулятора на 12 В.

Того же эффекта можно добиться при подключении делителя к опорному электроду (соответствующая схема и формула для расчета выходного напряжения показаны на рис. 2.69б). Регулировка коэффициента деления с использованием потенциометра дает возможность соответствующим образом изменять напряжение на выходе.

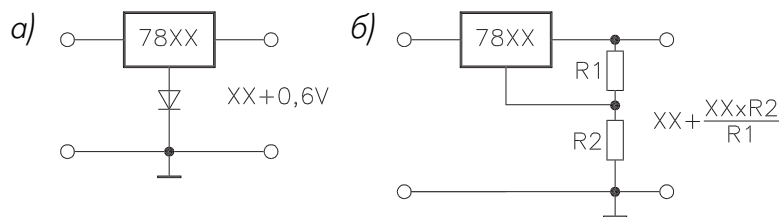


Рис. 2.69

## Выходной конденсатор

Хотя в стабилизаторе напряжения есть средства защиты от перегрузок в различных режимах (а также защита от перегрева), он может выйти из строя, если напряжение на выходе превысит напряжение на входе. Конденсатор большой емкости, включенный на выходе для сглаживания пульсаций напряжения, усиливает риск такой ситуации при малом потреблении выходного тока, особенно когда от входного напряжения стабилизатора питается другая часть схемы.

Аналогичный режим возникает, если стабилизатор используется для зарядки аккумуляторной батареи и в конце этого процесса происходит ее перезаряд. Конденсаторы, которые расположены после диодного моста, могут разрядиться прежде, чем это произойдет с конденсатором на выходе стабилизатора. В таком случае устройство может выйти из строя в течение десятых долей секунды. Поэтому на выходе всегда ставится конденсатор меньшей емкости, чем на входе. Для безопасной работы между входом и выходом можно поставить защитный диод, через который от выхода схемы будет отводиться избыточный ток (рис. 2.70).

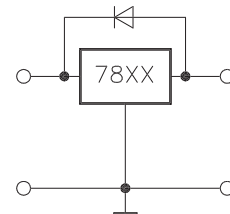


Рис. 2.70

## Стабилизатор напряжения в качестве генератора тока

Простые схемы генератора тока приводились выше. Стабилизатор напряжения также может работать в режиме генератора тока.

С этой целью предпочтительнее использовать регулируемую модель, например типа LM317, обладающую небольшим внутренним опорным напряжением высокой стабильности. В данном случае его величина составляет 1,2 В. Для задания тока достаточно включить последовательно с нагрузкой резистор, выбранный по формуле  $R = 1,2/I$  (рис. 2.71). Следует иметь в виду, что в этом резисторе может выделяться

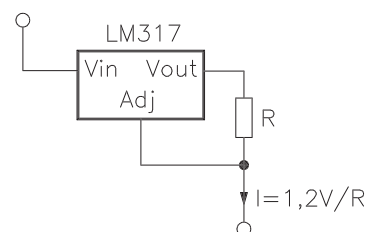


Рис. 2.71

значительная мощность. Генератор тока используется в самых разных областях, чаще всего он применяется для зарядки никель-кадмиевого аккумулятора.

## Повышенное входное напряжение

Сегодня редко можно увидеть источник питания малой или средней мощности, в котором не использовался бы один из широко представленных на рынке интегральных стабилизаторов. Диапазон их параметров очень велик: модели с положительным и отрицательным выходным напряжением, постоянным или регулируемым, в корпусах типа ТО220 и ТО3. Входное напряжение этих достаточно надежных компонентов не должно превышать предельного значения, составляющего, как правило, 40 В для стабилизаторов с выходным напряжением 24 В и 35 В – для других типов.

С учетом рассеиваемой мощности правильнее говорить о допустимой разности напряжений между выходом и входом. Например, микросхема типа 7805, имеющая выходное напряжение 5 В и максимальный ток 1 А, при питании от входного напряжения 9 В рассеивает мощность, равную  $(9 \text{ В} - 5 \text{ В}) \times 1 \text{ А} = 4 \text{ Вт}$ . Стабилизатор с входным напряжением 24 В и током 250 мА должен рассеивать мощность, приблизительно равную 4,75 Вт. При этом необходимо позаботиться об охлаждении устройства.

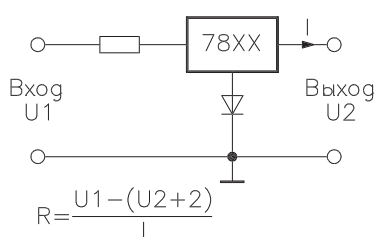


Рис. 2.72

Схема, данная на рис. 2.72, позволяет использовать для питания стабилизатора напряжение, превышающее допустимое максимальное значение, за счет включения на входе дополнительного балластного резистора. При выборе типа резистора следует иметь в виду, что рассеиваемая им мощность также должна достигать значительной величины.

## ИМПУЛЬСНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ НАПЯЖЕНИЯ

В последнее время наблюдается значительный прогресс в области импульсной стабилизации напряжения. Новые устройства выгодно отличаются от традиционных (аналоговые схемы с последовательным включением регулирующего элемента). Современные силовые компоненты позволяют использовать весьма высокие рабочие частоты, благодаря чему можно существенно уменьшить размеры, вес и стоимость стабилизаторов при сохранении их основных



характеристик. Импульсные источники питания широко применяются в различных радиоэлектронных устройствах и в современных компьютерах.

Принцип импульсной стабилизации используется не только в источниках, питающихся от электрической сети, но и в понижающих или повышающих преобразователях постоянного напряжения. Трансформаторы, работающие на частоте сети 50 Гц, имеют большие размеры и вес, причем эти параметры быстро увеличиваются с возрастанием выходной мощности. Такая же закономерность характерна и для других силовых элементов источника питания. Источник потребляет значительную мощность, поэтому он должен интенсивно охлаждаться. При увеличении рабочей частоты можно в значительной мере преодолеть эти недостатки. Вместо того чтобы управлять высоким выходным током при низком напряжении, гораздо эффективнее использовать импульсное управление более низким током на входе стабилизатора при питании постоянным напряжением от выпрямителя, подключенного к сети. В качестве управляющих элементов успешно используются мощные МОП транзисторы, описанные выше.

На рис. 2.73а представлена блок-схема классического источника питания, а на рис. 2.73б – схема его импульсного аналога. В последнем случае к сети подключен мостовой выпрямитель с фильтрующим конденсатором, обеспечивающий постоянное напряжение около 310 В. Это напряжение, прерываемое электронным переключателем (МОП транзистором), подводится к понижающему трансформатору, во вторичную обмотку которого включен выпрямитель с фильтром. Устройство управления обеспечивает работу транзистора в ключевом режиме на значительной частоте (до нескольких десятков килогерц), что позволяет существенно снизить размеры трансформатора и потребляемую им мощность. Стабилизация выходного напряжения осуществляется путем изменения длительности импульсов, поступающих на трансформатор. При разработке схемы необходимо добиться согласования потенциалов в различных ее частях. Кроме того, для подавления значительных импульсных помех устройство следует экранировать.

Импульсная техника используется не только для создания источников питания, работающих от сети. Часто необходимо понизить относительно высокое постоянное напряжение до заданного стабилизированного значения. Если для выполнения такой задачи используется серийный аналоговый стабилизатор, то неизбежно

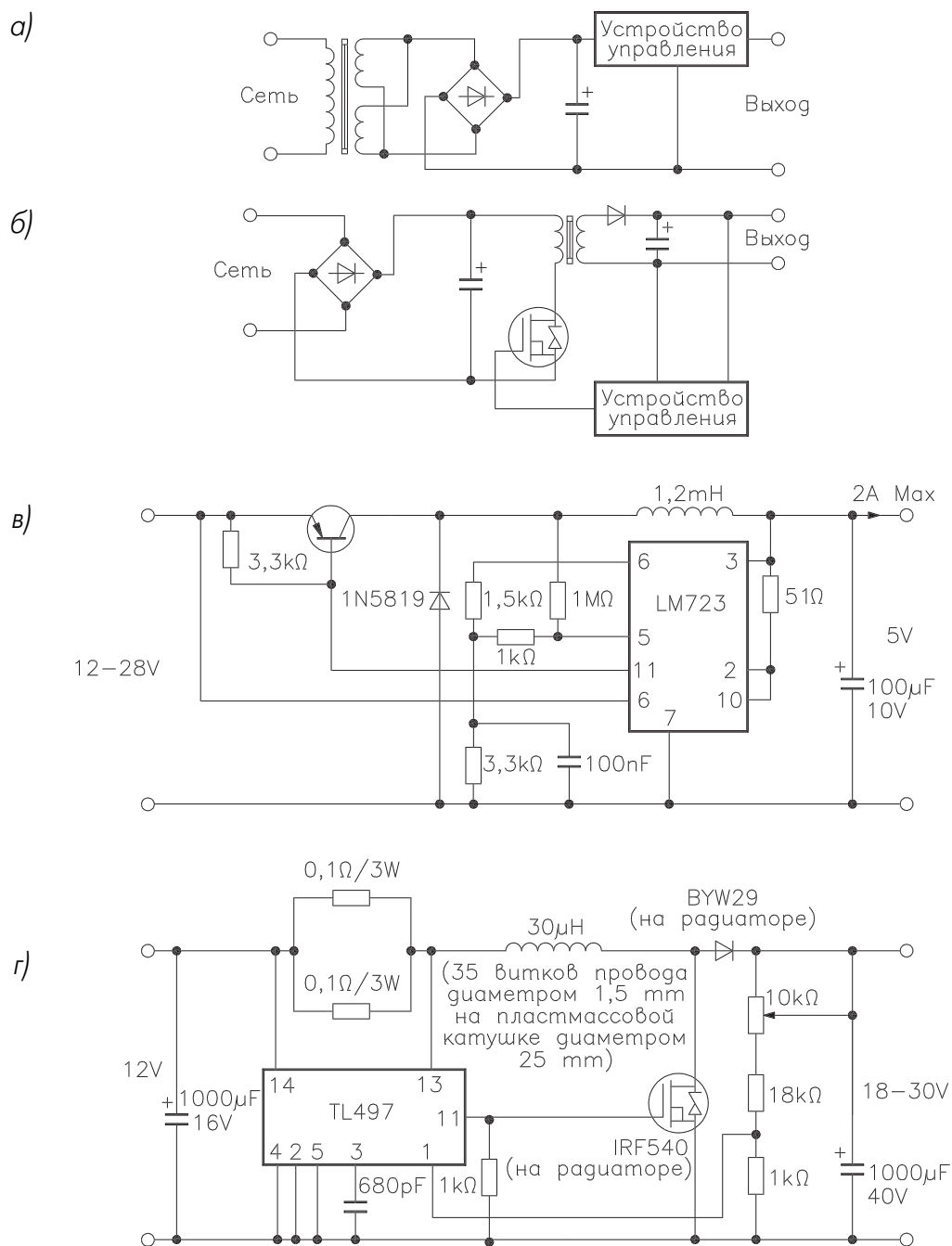


Рис. 2.73

встает проблема рассеяния значительной мощности. Схема, данная на рис. 2.73в, представляет собой оригинальный вариант использования классической микросхемы LM723. Она управляет импульсным источником питания, способным обеспечить в нагрузке максимальный ток 2 А при напряжении 5 В. При этом напряжение на входе может достигать 28 В. Рабочая частота составляет около 20 кГц, остаточные колебания выходного напряжения не превышают 40 мВ. При значительной разнице напряжений между входом и выходом

мощность, рассеиваемая силовым регулирующим элементом (транзистор Дарлингтона  $p-n-p$  типа), намного ниже, чем в традиционных схемах.

На рис. 2.73г показан пример использования специализированной микросхемы типа TL497. Здесь представлен преобразователь с входным напряжением 12 В, который может обеспечить на выходе до 28 В при максимальном токе 3 А. Важную роль в работе устройства играет дроссель, накапливающий энергию и в нужный момент отдающий ее в нагрузку. Модель TL497 отличается от других аналогичных микросхем принципом генерации сигналов. Стабилизация производится не за счет варьирования длительности импульсов, а в связи с изменением частоты их следования. Если источник питания нагружен слабо или не нагружен совсем, импульсы следуют с частотой порядка 1 Гц. В таком режиме можно слышать легкие щелчки, исходящие от дросселя, частота которых при работе регулирующего устройства изменяется в соответствии с частотой следования импульсов.

## СТАБИЛИЗАТОРЫ НА ДИСКРЕТНЫХ КОМПОНЕНТАХ

При разработке источника питания, как правило, используют одну из специализированных серийных микросхем стабилизаторов. Наряду с этим можно построить простую схему стабилизатора на дискретных компонентах. Схема, представленная на рис. 2.74а, позволяет получить на выходе высокостабильное регулируемое напряжение.

При необходимости переменный резистор можно вынести за пределы устройства для удобства регулировки. Тип балластного транзистора выбирается в соответствии с требуемым током. Если он не превышает 200 мА, можно использовать транзистор BC547, при более высоких токах (вплоть до 1 А) потребуются составной транзистор Дарлингтона типа TIP122. Мощность, рассеиваемая транзистором, определяется разностью входного (на коллекторе) и выходного (на эмиттере) напряжений, а также потребляемым током. При значительной величине рассеиваемой мощности требуется принять меры для охлаждения транзистора.

Вторая схема (рис. 2.74б) дополнительно обеспечивает ограничение выходного тока. Уровень ограничения определяется сопротивлением резистора, включенного последовательно с нагрузкой. Как только напряжение на его выводах достигает порога открывания третьего транзистора (около 0,6 В), по коллекторной цепи начинает

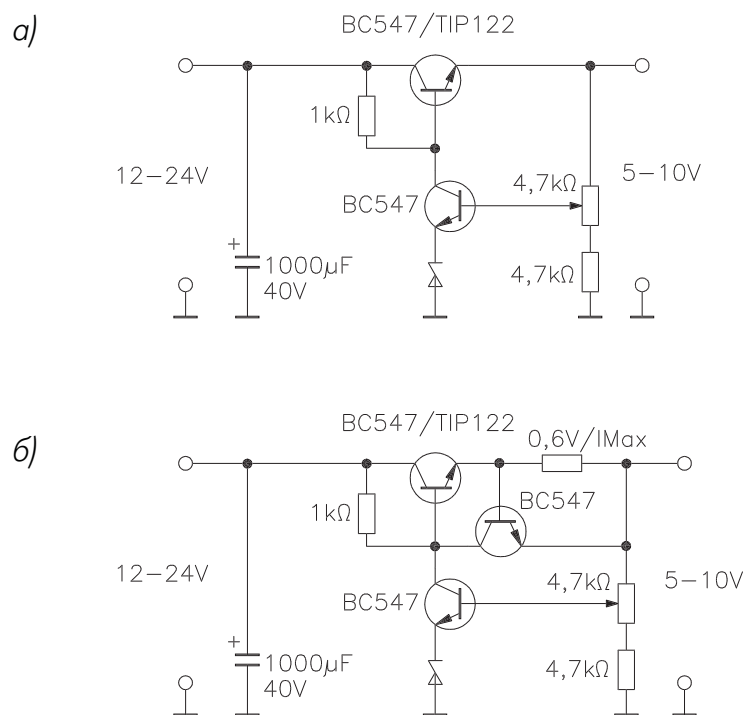


Рис. 2.74

протекать ток. Это приводит к уменьшению проводимости балластного транзистора и к снижению выходного напряжения стабилизатора. При выборе типа резистора необходимо, как обычно, оценить рассеиваемую им мощность.

## СТАБИЛИЗАЦИЯ ТОКА

Сегодня ассортимент интегральных импульсных стабилизаторов напряжения весьма широк. Для их использования в устройствах с небольшим потребляемым током, как правило, достаточно добавить несколько резисторов, конденсаторов, дроссель и быстродействующий диод. К этому же семейству принадлежат и некоторые микросхемы стабилизаторов тока, в основном предназначенные для зарядки аккумуляторов. Они также работают при весьма ограниченных токах.

Для стабилизации и регулировки более значительных токов можно использовать устройства на базе стабилизатора напряжения. В данном случае задача состоит в том, чтобы преобразовать ток в соответствующее ему напряжение и приложить его к тому входу стабилизатора, который обычно используется для измерения выходного напряжения. Для получения нужного напряжения в цепь

потребляемого тока включаются один или несколько резисторов (рис. 2.75).

Иногда возникает необходимость усилить это напряжение, чтобы довести его до уровня, требуемого стабилизатору.

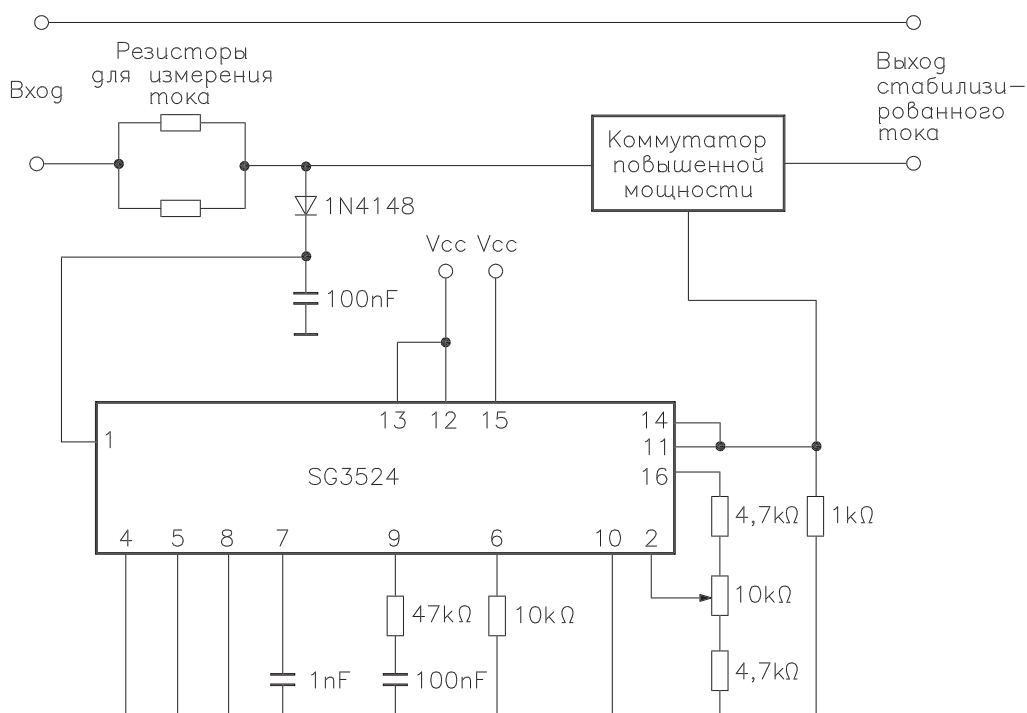


Рис. 2.75

Основой устройства является популярная микросхема импульсного стабилизатора типа SG3524 (или LM3524). Эта схема может работать непосредственно на сравнительно маломощную нагрузку или, как показано на рисунке, управлять коммутатором повышенной мощности (в том числе переключателем на МОП транзисторах). Стабилизация основана на модуляции длительности импульсов, следующих с постоянной частотой. Имеющийся в микросхеме дифференциальный усилитель постоянно сравнивает сигнал, в данном случае пропорциональный регулируемому току (на выводе 1), с установленным опорным уровнем (на выводе 2), который должен находиться в диапазоне 1–4 В. В этом же диапазоне находится и напряжение, пропорциональное току. Следует выбирать измерительные резисторы с учетом рассеиваемой ими мощности, которая иногда достигает значительной величины.

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЛЕ

### Защита управляющего транзистора

Для управления реле обычно используются дискретные транзисторы или компоненты микросхемы, содержащей матрицу транзисторов (см. раздел «Транзисторные матрицы»). Параллельно обмотке

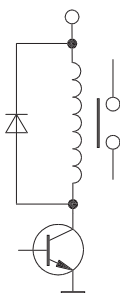


Рис. 2.76

реле всегда включается защитный диод (рис. 2.76). При протекании тока управления через обмотку в ней накапливается энергия, которая препятствует прекращению тока при выключении транзистора. Если не принять меры предосторожности, это явление может вызвать импульс напряжения, опасный для управляющего транзистора. Диод обеспечивает путь протекания индуктивного тока при выключении реле, что предохраняет транзистор от перегрузки.

### Реле с самоблокировкой

В электротехнике широко используется реле с самоблокировкой, у которого питание обмотки осуществляется через один из контактов. Такая схема имеет ряд достоинств. В частности, она позволяет избежать ситуации, когда управляемое устройство, отключившееся из-за снятия напряжения питания, неожиданно включается снова при возобновлении питания. Также имеется возможность выполнять включение и выключение с помощью двух независимых кнопок. Для этого требуется реле, имеющее по крайней мере два нормально разомкнутых контакта.

На схемах, приведенных на рис. 2.77а,б, показаны два упомянутых варианта применения реле с самоблокировкой. Кроме этого, представлена схема включения индикатора отсутствия напряжения сети (рис. 2.77в).

Индикаторный светодиод подключен к батарее или аккумулятору через нормально замкнутый контакт реле, катушка которого питается сетевым напряжением 220 В. Нажатие на кнопку (она должна быть рассчитана на напряжение сети) вызывает срабатывание реле, которое остается включенным после отпускания кнопки благодаря наличию параллельного ей замкнутого контакта. Одновременно разрывается цепь питания светодиода. Если напряжение сети отключается, реле возвращается в исходное состояние и светодиод загорается. Когда напряжение сети восстанавливается, требуется

повторное нажатие на кнопку, чтобы индикатор сбоя погас. При желании светодиод можно заменить зуммером.

## РЕЗИСТОРНЫЕ МАТРИЦЫ

Резисторная матрица содержит несколько одинаковых резисторов. Любители используют эти компоненты сравнительно редко. Однако у таких матриц есть некоторые преимущества по сравнению с эквивалентным набором дискретных резисторов. В частности, они позволяют ускорить сборку схем. Резисторные матрицы удобно использовать в цифровых устройствах для создания делителей, обеспечивающих набор калиброванных напряжений, или для ограничения тока нескольких светодиодов, расположенных близко друг от друга. В аналоговых схемах матрицы могут применяться в сочетании с операционным усилителем, в частности в качестве резисторов в цепи отрицательной обратной связи. В этом случае гарантируется высокая стабильность коэффициента усиления и точность его задания, так как разброс параметров у резисторов матрицы, как правило, незначителен.

Существующие матрицы содержат четыре, семь или восемь резисторов, подключенных к выводам независимо или по схеме с общей точкой (рис. 2.78). При наличии общего вывода он помечается маркировочной точкой на корпусе. Если есть сомнения по поводу типа матрицы или параметров резисторов, нетрудно проверить микросхему при помощи омметра.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ

### Прецизионные резисторы

Иногда возникает необходимость в использовании прецизионных резисторов с допуском 1% или даже меньше. Эти компоненты довольно

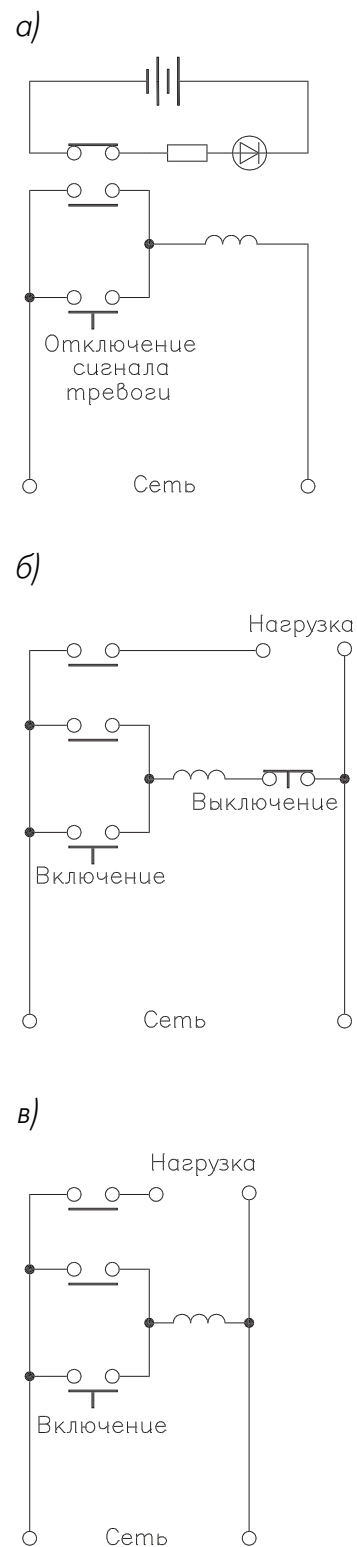


Рис. 2.77



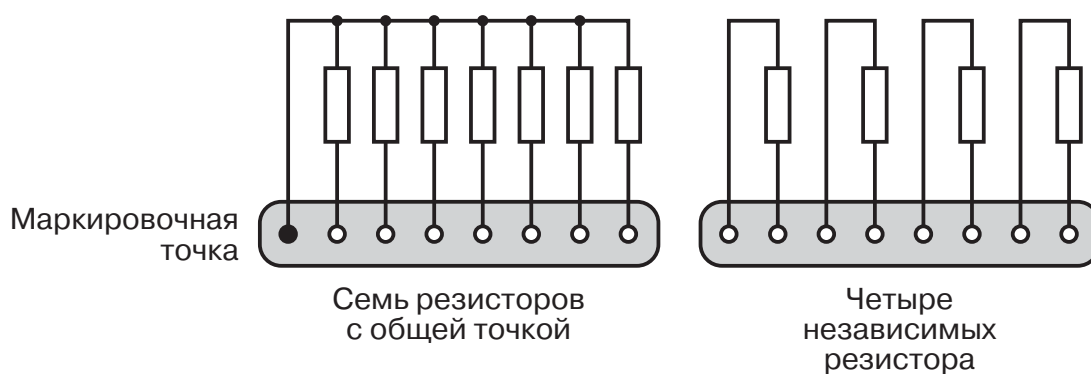


Рис. 2.78

дороги, не всегда можно найти нужный номинал, кроме того, они обычно продаются только в наборах.

Наиболее часто такие резисторы применяются для построения прецизионного делителя (например, при калибровке измерительного прибора) или если требуется набор идентичных резисторов, для которых абсолютная величина сопротивления не слишком важна. В последнем случае при помощи цифрового мультиметра можно провести сортировку обычных резисторов одного номинала и отобрать те из них, что имеют одинаковые сопротивления (например, 99,8 кОм при номинальном значении 100 кОм). Однако при этом стабильность параметров во времени, особенно в случае колебаний температуры, не гарантируется. Гарантию стабильности дает только использование прецизионных резисторов.

## Параллельное включение резисторов

Определение результирующего сопротивления при параллельном включении нескольких резисторов выполняется с помощью хорошо известной расчетной формулы. Напомним, что полученная величина оказывается меньше, чем минимальное из использованных сопротивлений.

## Рассеиваемые мощности

Мощность, рассеиваемая резистором, является важным показателем, о котором при разработке схемы иногда забывают. В этом случае первое включение схемы может вызвать неприятные последствия. Например, нетрудно рассчитать, что резистор 2,2 кОм, предназначенный для ограничения до 20 мА тока, потребляемого светодиодом, при напряжении источника питания 48 В рассеивает мощность около 1 Вт. Если в схеме использован резистор с номинальной мощностью 0,5 Вт,

через короткое время он выйдет из строя, а более мощный резистор может не поместиться на печатной плате.

При создании схем с мощными резисторами следует быть особенно внимательным. Необходимо учитывать, что допустимые значения мощности, указанные производителями, обычно гарантируются для рабочей температуры 25°C. Но при работе мощного устройства эта температура может быть существенно выше. Бывает, что резистор с номинальной рабочей мощностью 10 Вт при 25°C перегревается при рассеивании всего лишь 2,5 Вт, если температура окружающей среды составляет 70°C. В подобных случаях следует выбирать резисторы в специальном корпусе, оснащенный пластинами для охлаждения, размещать их на радиаторе и обеспечивать адекватную вентиляцию. Отметим, что выбор заведомо более мощного резистора не всегда позволяет избежать перегрева, так как рассеиваемая мощность при этом остается прежней.

### **Рабочие напряжения**

Резистор, как и конденсатор, имеет максимально допустимое рабочее напряжение. Необходимость учитывать этот параметр ярко проявляется при работе со схемами, непосредственно подключенными к электрической сети. Примерами могут служить RC-цепи, служащие для подавления помех, или источники питания без трансформатора.

Классический резистор с номинальной мощностью 0,5 Вт обычно имеет допустимое рабочее напряжение порядка 200 В. В упомянутых выше устройствах при номинальном эффективном напряжении сети 230 В возможны режимы, при которых пиковое значение напряжения на резисторах может достигать 650 В. Даже если требованию по рассеиваемой мощности удовлетворяет один резистор, в данном случае необходимо использовать по меньшей мере три последовательно соединенных компонента, чтобы напряжение на каждом из них всегда оставалось в допустимых пределах. Из этого можно сделать вывод, что, если в схеме, подключенной к сети, есть несколько последовательных резисторов, их нельзя заменять одним резистором соответствующего номинала (рис. 2.79). В противном случае возникает опасность его разрушения.

### **Переменные цифровые резисторы**

Сопряжение цифровой схемы с аналоговой нередко оказывается весьма сложной задачей, особенно если при разработке эти схемы не

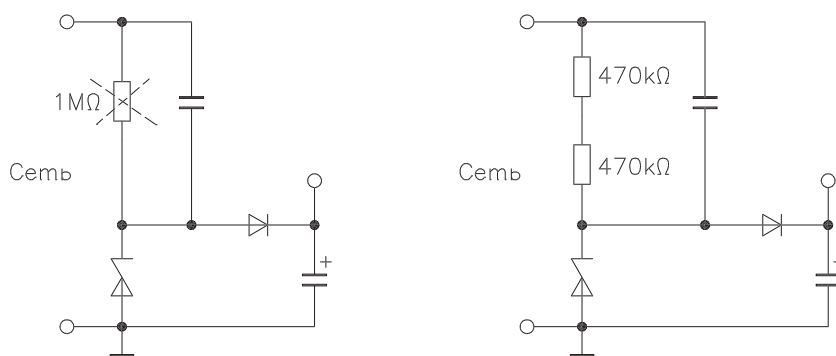


Рис. 2.79

предназначались для работы друг с другом. Такая ситуация может возникнуть, например когда микропроцессор управляет регулируемым источником постоянного напряжения или генератором синусоидального сигнала. Обычно в системах автоматического регулирования функция считывания выходной величины выполняется проще, чем функция управления.

Часто регулирующие устройства должны имитировать плавно изменяющееся сопротивление, для чего используется цифровой (наборный) резистор, сопротивление которого варьируется в широких пределах с малым шагом в соответствии с заданным цифровым сигналом. Есть программируемые интегральные цифровые потенциометры, которые помогают в решении данной задачи. Однако такие микросхемы сравнительно дороги и не всегда обладают нужными параметрами, поэтому их часто заменяют дискретными компонентами.

Схема, приведенная на рис. 2.80, позволяет имитировать переменный резистор, характеристики которого можно выбирать, исходя из конкретных требований. Переключения выполняются с помощью контактов реле, что обеспечивает полную изоляцию цифровой части устройства от аналоговой.

Принцип работы схемы очень прост. В ней используется набор последовательно включенных резисторов, сопротивления которых при переходе от одного к другому изменяются путем умножения на 2, что соответствует изменению веса разрядов двоичного управляющего сигнала. Параллельно выводам каждого резистора подключен нормально замкнутый контакт реле, на обмотку которого подается цифровой сигнал соответствующего разряда. В состоянии покоя общее сопротивление равно нулю. Появление управляющего

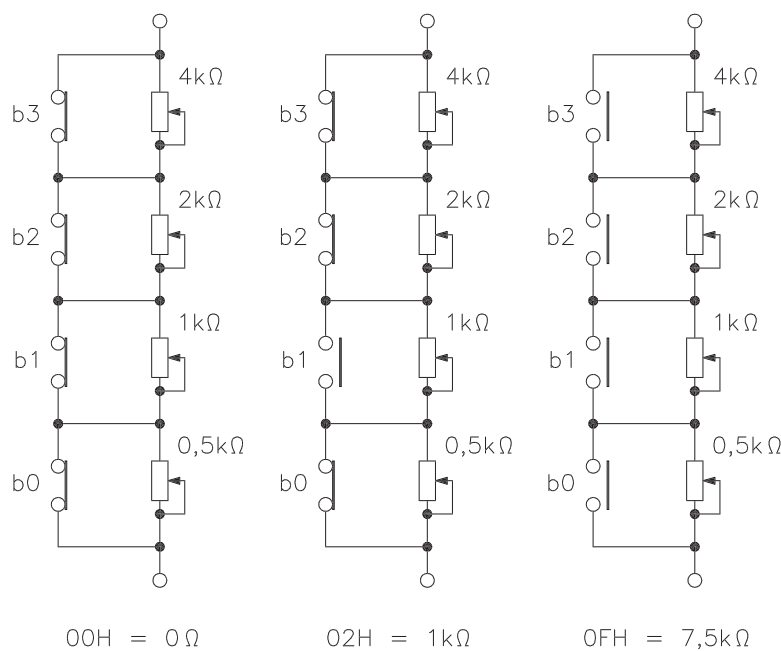


Рис. 2.80

сигнала, соответствующего единице младшего разряда, отключает контакт, замыкающий первый резистор. В рассматриваемом примере на выходе появляется сопротивление 500 Ом. Включение второго реле, соответствующего следующему разряду двоичного сигнала (при отключении первого), дает на выходе сопротивление 1000 Ом. Дальнейшее увеличение двоичного слова на единицу (переход от 2 к 3 в десятичном коде) обеспечивает увеличение выходного сопротивления до 1500 Ом и т.д. Максимальное значение сопротивления составляет 7,5 кОм (все контакты отключены), оно реализуется при подаче двоичного слова 0FH.

Число разрядов и наименьшее сопротивление в наборе могут задаваться с учетом конкретных требований. Управление реле осуществляется с помощью дискретных транзисторов или от микросхем типа ULN2003, ULN2004. Если в наличии нет реле с нормально замкнутыми контактами, в схему управления можно включить логические инверторы. В таком случае необходимо проверить общее потребление тока, поскольку в состоянии покоя все реле должны быть включены. Подобный вариант схемы можно использовать в сочетании с двоичным счетчиком, реализующим счет вперед или назад, или с микроконтроллером. Очевидно, что при управлении с помощью механических реле выходное сопротивление будет изменяться сравнительно медленно.

## **СЕРВОДВИГАТЕЛЬ В ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Серводвигатель – это миниатюрный двигатель, управляемый электронным устройством. Чаще всего это дешевые двигатели, используемые в радиоуправляемых моделях. Они приводятся в движение от источника постоянного напряжения и обычно соединены с механическим редуктором, который имеет большое передаточное отношение и обеспечивает значительный вращающий момент. Серводвигатель нередко используется для вращения потенциометра системы автоматического регулирования. При повороте оси потенциометра с контактов устройства снимается напряжение, пропорциональное угловому положению движка. Оно сравнивается с опорным напряжением, и сигнал, зависящий от их разности, подается на двигатель, который вращается в нужном направлении, пока не достигнет положения, соответствующего заданному опорному сигналу.

Перечисленные функции выполняются, как правило, специализированными схемами. При таком способе управления двигатели хорошо сочетаются с электронными устройствами. В данном случае применяется последовательность импульсов переменной длительности, посылаемых с постоянной частотой. Период импульсов составляет обычно 20 мс. Среднему (нейтральному) положению двигателя соответствует импульс длительностью 1,5 мс, два крайних положения достигаются при изменении этого параметра в пределах  $\pm 0,5$  мс (рис. 2.81). Частота следования импульсов в данном случае соответствует частоте сети (50 Гц), однако ее изменение в широких пределах не влияет на работу двигателя.

Данный метод позволяет осуществлять управление с помощью любой цифровой схемы или с использованием микроконтроллера в сочетании с несложной программой. Номинальное напряжение источников питания и управления серводвигателем равно 4,8 В (4 аккумулятора по 1,2 В). Для этого хорошо подходит стандартный источник напряжения 5 В при условии, что он может обеспечить достаточный для вращения двигателя ток (приблизительно 500 мА). Если одновременно используется несколько двигателей, разумно предусмотреть для каждого отдельный источник питания, чтобы исключить возможные помехи.

Для подключения серводвигателя применяется малогабаритный соединительный элемент с тремя выводами, к которым подходят

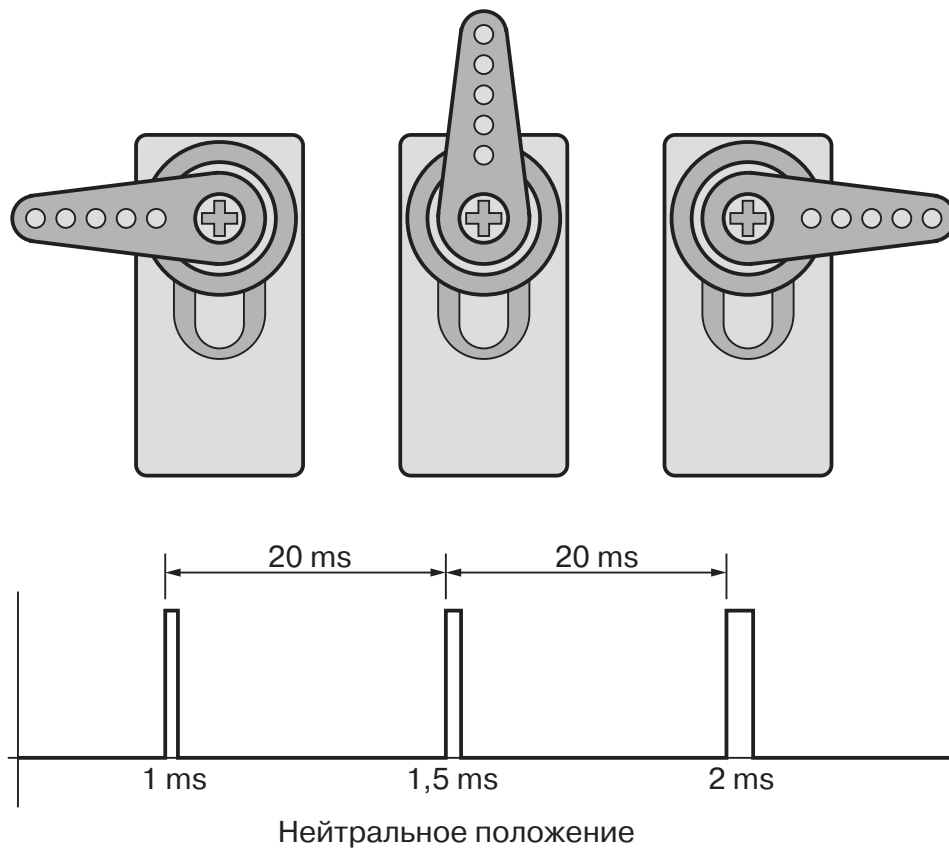


Рис. 2.81

общий провод (черный), а также провода для подачи напряжения +5 В (красный) и управляющих импульсов (обычно оранжевый).

## СУММАТОР И ВЫЧИТАТЕЛЬ АНАЛОГОВОГО ТИПА

Сумматор и вычитатель напряжений входят в число базовых аналоговых схем на операционных усилителях (рис. 2.82). Они находят широкое применение, особенно для обработки и усиления сигналов, поступающих от датчиков физических величин, например температуры, механической нагрузки или показателя кислотности (рН) воды. Чтобы достичь нужной точности, следует соблюдать идентичность парных резисторов. Это требование играет более важную роль, чем точный подбор абсолютных значений сопротивлений. Соображения, высказанные по поводу резисторных цепей (см. выше), распространяются также и на данные устройства.

## СИНХРОНИЗАЦИЯ ОТ СЕТИ

Напряжение электрической сети часто используется в электронных схемах в качестве опорного сигнала для генераторов тактовых

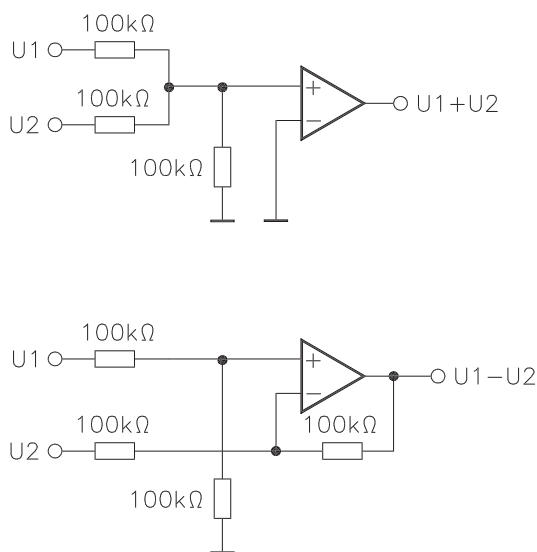


Рис. 2.82

импульсов или для синхронизации автоматизированных измерительных приборов. При измерении напряжений, содержащих остаточные пульсации на сетевой частоте, иногда проще произвести замер в определенный момент, чем выполнять тщательную фильтрацию сигнала (рис. 2.83а). При выполнении дискретных измерений через заданные промежутки времени на вход прерывания микроконтроллера часто подают прямоугольный сигнал, синхронизированный с напряжением сети. В этом случае обычно соз-

даются оптимальные условия для снижения погрешностей измерения, связанных с различными помехами и наводками.

Для получения прямоугольных синхроимпульсов используется простая схема на стабилитроне в сочетании с резистором. Она ограничивает сверху переменное напряжение, снятое с любой точки вторичной обмотки трансформатора источника питания (рис. 2.83б).

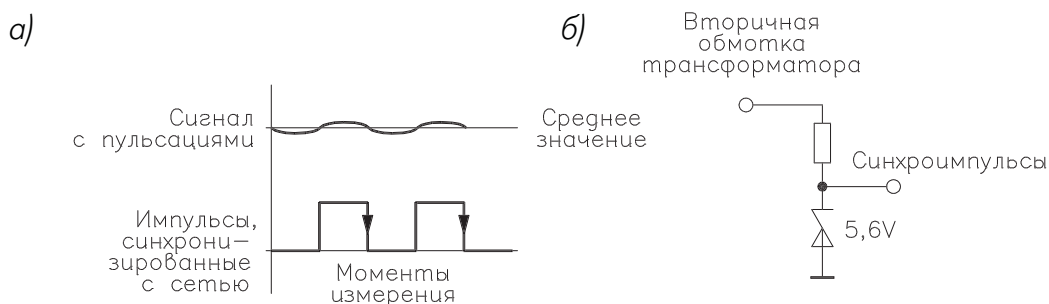


Рис. 2.83

Величина сопротивления вычисляется на основании максимального потенциала в выбранной точке относительно общей точки схемы, а не на основании эффективного значения напряжения на данной обмотке.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

При измерении температуры высокая точность обычно не требуется, особенно когда речь идет только о фиксации превышения заданного



порогового значения. Это относится, в частности, к схемам термической защиты, которыми оснащены устройства определенного класса. Долгое время в таких схемах использовались электромеханические датчики температуры, однако в настоящее время разработчики все чаще применяют электронные компоненты, не обязательно специализированные. Измерить температуру можно и с помощью обычного транзистора, как это сделано в схеме на рис. 2.84.

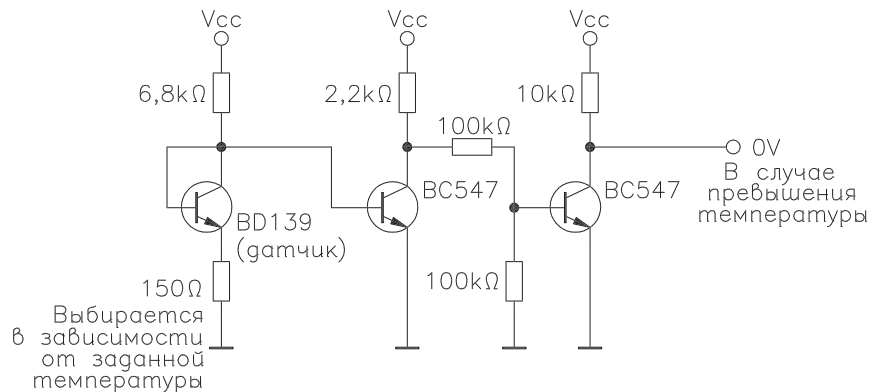


Рис. 2.84

Собственно датчиком служит переход база–эмиттер первого транзистора, так как при нагревании напряжение на переходе существенно изменяется. Два других транзистора нужны для усиления снимаемого с датчика напряжения и для его преобразования в логический сигнал, который переключается при достижении заданной температуры (обычно  $80\text{--}100^\circ\text{C}$ ). В данном устройстве необходимо обеспечить хороший тепловой контакт между датчиком и радиатором, как и в случае монтажа охлаждаемых компонентов. Однако на этом контакте должно соблюдаться условие полной электрической изоляции во избежание сбоев логического сигнала.

## ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Иногда в устройстве необходимо создать отрицательное напряжение относительно общей точки, но по экономическим соображениям или из-за недостатка места нельзя использовать дополнительный источник питания, выполняющий функции выпрямления, фильтрации и стабилизации. Зачастую при этом не нужна высокая точность и стабильность отрицательного напряжения. К таким случаям относятся, например, задача сопряжения цифрового устройства с последовательной цепью стандарта RS232 и необходимость обеспечения

симметричного питания операционного усилителя в устройствах обработки аналоговых сигналов (речь, музыка и т.д.).

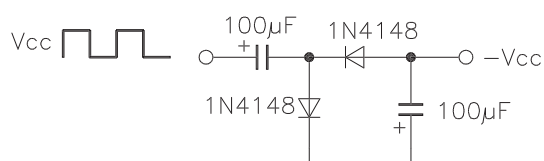


Рис. 2.85

Простая схема, приведенная на рис. 2.85, вполне подходит для решения данных задач.

На вход подается любой прямоугольный сигнал, например, сигнал с какого-либо делителя или тактового генератора. Можно использо-

вать также регулярную последовательность импульсов, предназначенных для питания индикатора или для управления устройством памяти. Полученное на выходе схемы напряжение по абсолютной величине несколько меньше амплитуды прямоугольного сигнала. В ТТЛ схемах оно составляет приблизительно 4,5 В. Ток, потребляемый нагрузкой, не должен превышать нескольких миллиампер.

## СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

Силовые трансформаторы радиоэлектронных устройств имеют, как правило, две одинаковые вторичные обмотки. В зависимости от предполагаемого применения их можно соединять либо последовательно – для удвоения напряжения, либо параллельно – для удвоения тока. Небольшие трансформаторы, закрепляемые непосредственно на печатной плате, обычно имеют стандартное расположение выводов. Соединение их обмоток выполняется по схеме, приведенной на рис. 2.86.

Для более сложных моделей (например, с тороидальным сердечником) при отсутствии документации необходимо с помощью осциллографа исследовать напряжения на обмотках во избежание соединения их в противофазе. Иначе возникает риск перегрева, а из-за этого может выйти из строя трансформатор и находящиеся рядом детали (не говоря уже об отсутствии напряжения на выходе).

## ТРАНЗИСТОРНЫЕ МАТРИЦЫ

Управление несколькими светодиодами или реле осуществляется, как правило, с помощью нескольких одинаковых транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером (см. раздел «Защита управляющего транзистора»). К каждому транзистору обычно

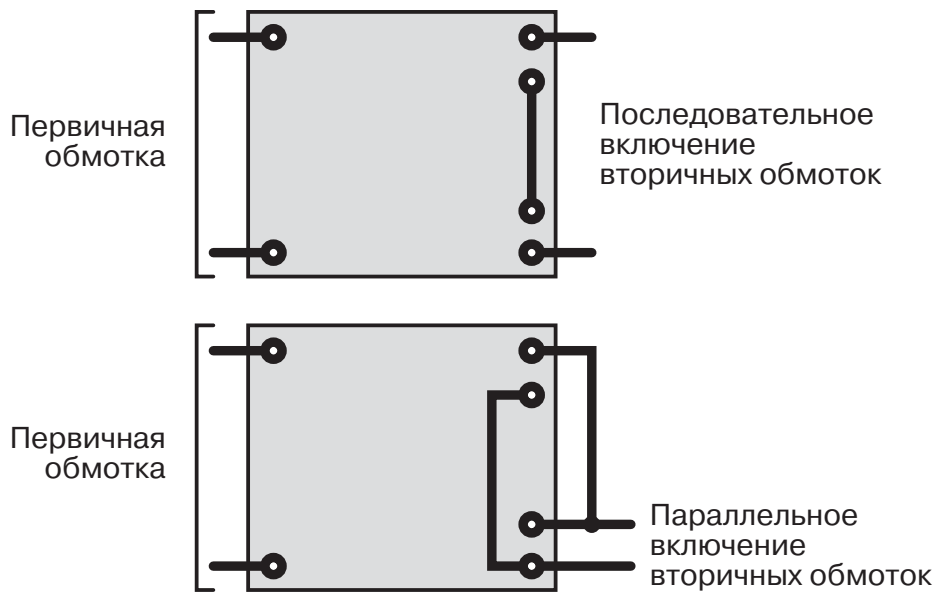


Рис. 2.86

добавляют защитный диод, предотвращающий опасный выброс напряжения при отключении индуктивной нагрузки. В подобных случаях удобно воспользоваться одной из многих доступных на сегодняшний день интегральных транзисторных матриц. При этом достигается существенный выигрыш в занимаемой площади и сокращение времени сборки.

Наиболее распространенные микросхемы содержат по 7 транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером (рис. 2.87).

К каждому из транзисторов подключены защитный диод и резистор в цепи базы, позволяющий осуществлять непосредственное управление транзисторным ключом как в ТТЛ схемах (напряжение сигнала 5 В), так и в КМОП схемах (напряжение сигнала 3–18 В). Расположение выводов микросхемы непривычно, однако в нем есть своя логика: входы (базы) и выходы (коллекторы) расположены друг против друга на противоположных сторонах корпуса. Общая точка (объединяющая все эмиттеры) находится на выводе 8, как в DIP16, точка присоединения всех диодных катодов – на выводе 9. Последний вывод остается свободным, если диоды не используются (например, при управлении светодиодами). К популярным микросхемам семитранзисторных матриц относятся ULN2003 (ТТЛ) и ULN2004 (КМОП), примеры восьми транзисторных матриц – ULN2803 и ULN2804.

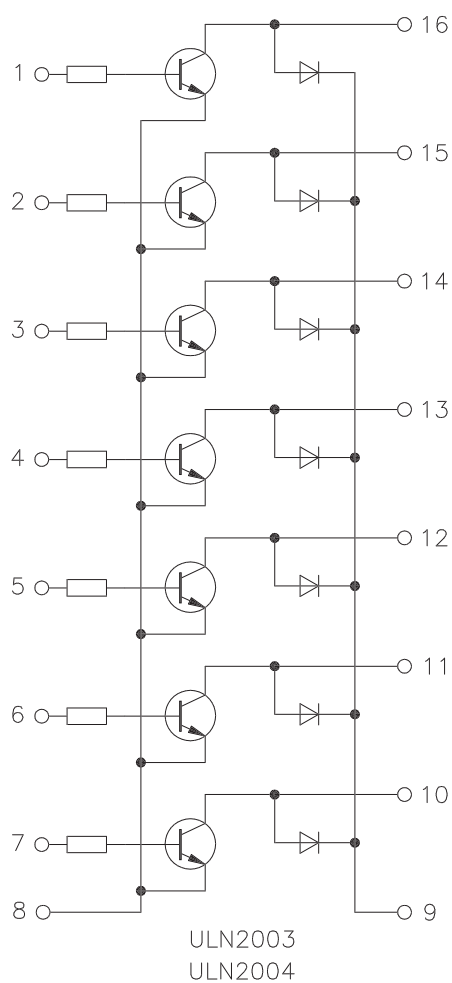


Рис. 2.87

## ПРИМЕНЕНИЕ СИМИСТОРОВ

В 80-е годы симистор являлся одним из самых популярных электронных компонентов. На его основе были созданы удобные и эффективные регуляторы света и другие модные устройства, построенные по аналогичному принципу. Симистор популярен и сегодня, однако его управление все чаще выполняется с помощью специализированных схем, которые не только осуществляют регулирование, но и уменьшают вредное воздействие мощных импульсных схем на характеристики электрической сети.

Симистор является мощным компонентом, способным коммутировать высокие токи при питании переменным напряжением (не обязательно равным 220 В) с помощью относительно простой процедуры включения. Управляющий импульс калиброванной амплитуды и длительности переводит симистор в проводящее состояние, которое сохраняется до момента перехода синусоидального напряжения питания через нулевое значение. Таким образом, выключение симистора осуществляется автоматически в конце каждого полупериода при условии окончания к этому моменту управляющего импульса. Запуск симистора может быть легко осуществлен и при помощи постоянного напряжения, но на практике этот способ применяется редко. Эффективные устройства импульсного управления легко построить без обращения к специализированным компонентам.

На рис. 2.88 представлен пример импульсного управляющего устройства, обеспечивающего подключение нагрузки к сети и ее отключение под управлением внешнего логического сигнала. С целью ослабления помех запуск производится в момент перехода напряжения сети через нулевое значение. Такой режим благоприятен

На рис. 2.88 представлен пример импульсного управляющего устройства, обеспечивающего подключение нагрузки к сети и ее отключение под управлением внешнего логического сигнала. С целью ослабления помех запуск производится в момент перехода напряжения сети через нулевое значение. Такой режим благоприятен

и для нагрузки, например для лампочки, поскольку может значительно удлинить срок ее службы. Одновибратор на двух логических вентилях обеспечивает на выходе калиброванный импульс, синхронизированный с напряжением сети. Этот импульс поступает на симистор через транзисторный ключ, если внешний управляющий сигнал имеет значение логической единицы.

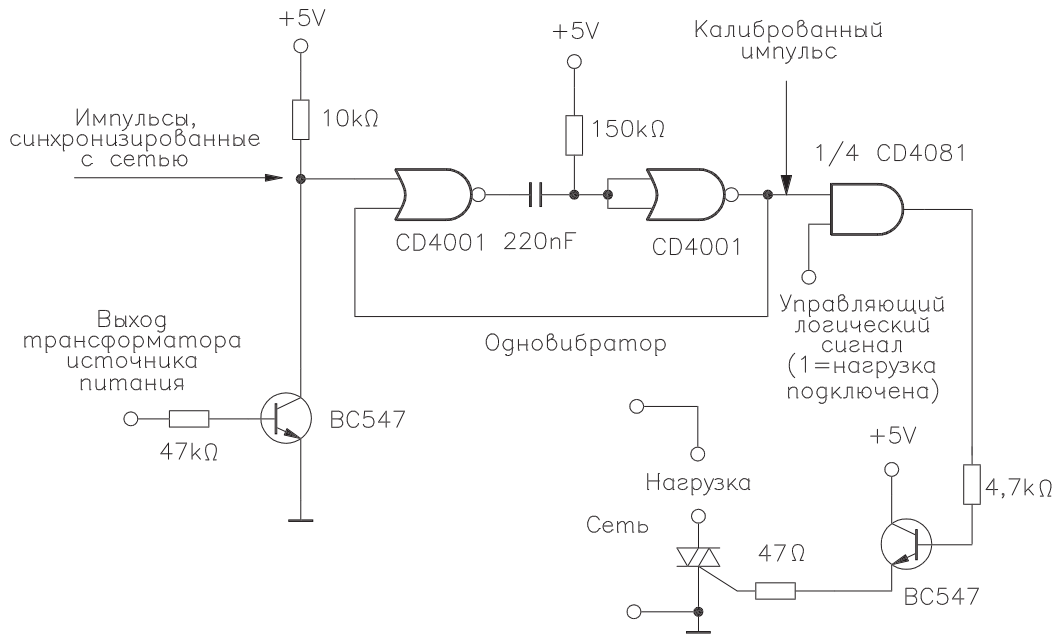


Рис. 2.88

При помощи схемы, показанной на рис. 2.89а, можно изменять среднее напряжение на нагрузке в диапазоне практически от нуля до максимального значения. Здесь, как и в предыдущем случае, используется одновибратор, синхронизированный с напряжением сети. Этот каскад служит источником пилообразного напряжения, период которого равен половине периода сетевого напряжения. Оно подается на вход операционного усилителя и сравнивается с регулируемым опорным напряжением, снимаемым с потенциометра. В момент пересечения пилообразным напряжением опорного уровня на выходе операционного усилителя, который выполняет функцию компаратора, возникает положительный перепад. Он эквивалентен сигналу логической единицы, который в зависимости от уровня

опорного сигнала располагается между началом и концом полупериода сетевого напряжения. По этому сигналу запускается второй одновибратор. На его выходе формируется калиброванный импульс, который проходит через транзисторный ключ и открывает симистор. Таким образом, напряжение сети подключается к нагрузке на часть полупериода, длительность которой регулируется потенциометром (рис. 2.89б).

В подобной схеме следует применять специальные меры безопасности, поскольку между сетью и схемой управления симистором существует гальваническая связь. Такой ситуации можно избежать,

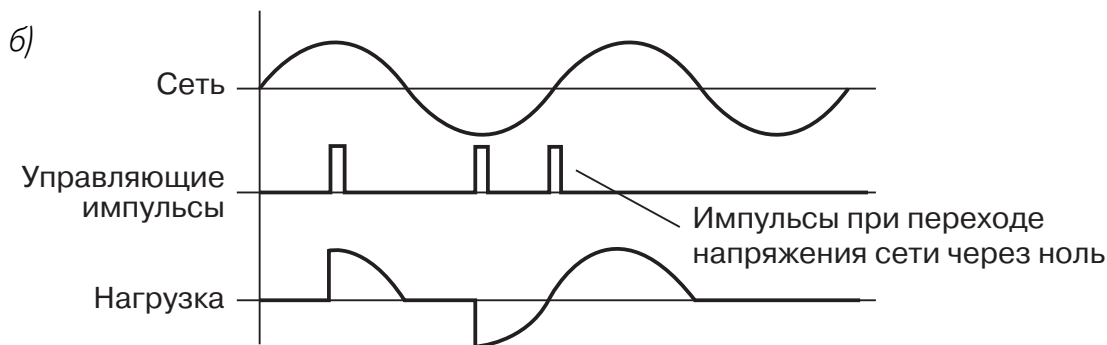
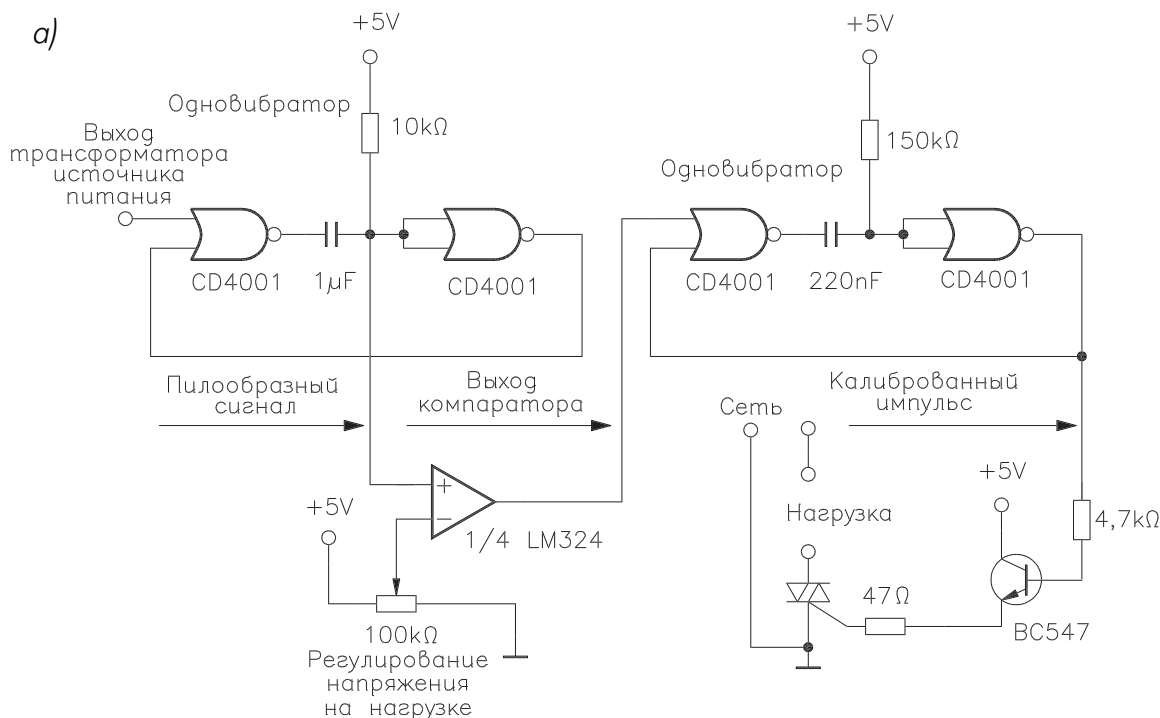


Рис. 2.89

если использовать оптопару или оптосимистор. Кроме того, необходимо учитывать нагрев симистора и обеспечить для него требуемое охлаждение.

## ТРЕХФАЗНАЯ СЕТЬ

Трехфазная сеть более интересна электрикам, чем любителям электроники. Лишь немногие электронные схемы (например, детекторы чередования фаз) специально предназначены для работы с трехфазной сетью. С другой стороны, имеются преобразователи, имитирующие трехфазную сеть на базе однофазной, и промышленные устройства, которые питаются от такого источника.

В отличие от промышленных помещений в жилых трехфазная сеть всегда имеет нулевой провод (нейтраль), который служит опорной точкой для присоединения всех потребителей, включая лампочки и розетки. Напряжение между любой фазой и нейтралью равно 220 В, а между любыми двумя фазами (линейное напряжение) – 380 или 400 В. Изменение фазных напряжений во времени показано на рис. 2.90.

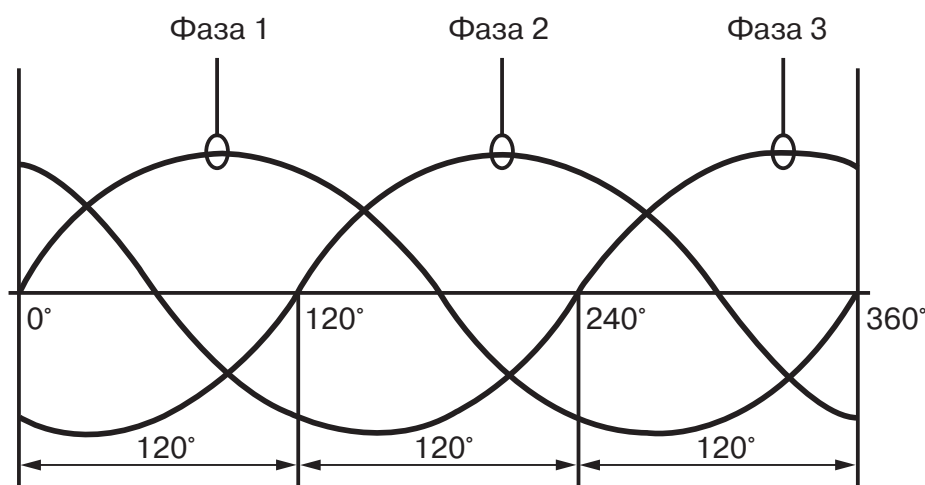


Рис. 2.90

При отсутствии нулевого провода можно использовать только нагрузки, рассчитанные на линейное напряжение. К таковым относятся многие двигатели и другие силовые устройства, применяемые на промышленных предприятиях.

Если какое-либо устройство рассчитано для работы с трехфазной сетью, ему обычно недостаточно фазного напряжения (220 В). Имеются понижающие разделительные трансформаторы, рассчитанные



на выходное напряжения 220 В при входном напряжении 380 В. Однако стандартные трансформаторы, которые бы обеспечивали обратное преобразование, не производятся. При необходимости можно включить понижающий трансформатор в обратном направлении, если потребляемый нагрузкой ток не слишком велик. Но перед этим нужно проверить, рассчитано ли подключаемое устройство на работу с таким напряжением.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТИРИСТОРОВ**

Любителям радиоэлектроники, как правило, хорошо известны симисторы, которые широко используются в схемах, работающих на переменном токе непосредственно от сети (регуляторы света или скорости вращения двигателей). Работать же с тиристорами обычно приходится меньше. Действительно, схемы, в которых коммутирующими элементами служат тиристоры, встречаются довольно редко (за исключением устройств управления мощными двигателями постоянного тока на электрифицированном транспорте). Тиристоры небольшой мощности применяются в цепях постоянного тока в качестве электронного ключа, управляемого внешним сигналом (для выпрямления тока они обычно не используются).

Тиристор, подключенный к источнику питания последовательно с нагрузкой, переходит в проводящее состояние при подаче на управляющий электрод короткого низковольтного импульса и остается в этом состоянии после окончания управляющего импульса. Устройство выключается либо после снятия напряжения питания, либо при подаче на управляющий электрод импульса обратной полярности. Тиристор удобно использовать для подачи сигнала тревоги и для его поддержания после устранения неисправности до момента принудительного отключения.

Другой вариант использования тиристора – включение питания схем при помощи кнопки. На схеме, приведенной на рис. 2.91, показан пример управления реле с помощью недорогого малогабаритного тиристора типа BRV55. Для включения реле на управляющий электрод устройства подается импульс тока около 5 мА, а выключение выполняется нажатием кнопки.

## **ГЕНЕРАТОР, УПРАВЛЯЕМЫЙ НАПРЯЖЕНИЕМ**

Генератор, управляемый напряжением (ГУН), представляет собой устройство, которое вырабатывает сигнал синусоидальной или

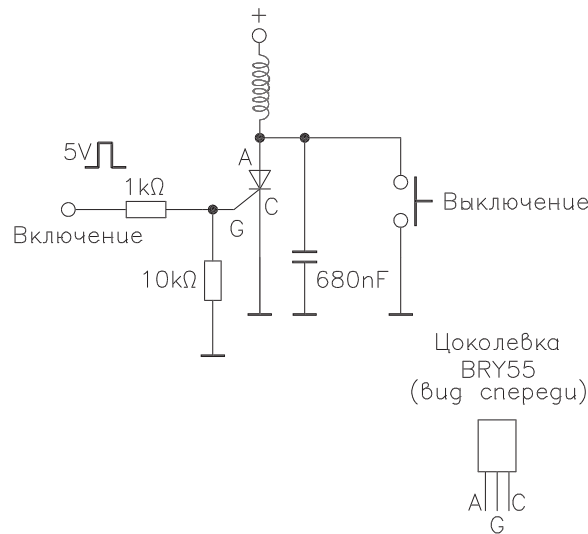


Рис. 2.91

прямоугольной формы. Частота последнего определяется постоянным управляющим напряжением. Он применяется в различных областях, например в системах ФАПЧ, описанных выше. В классическом RC-генераторе частота варьируется за счет изменения емкости или сопротивления электронным способом или вручную (например, с помощью потенциометра). Автоматическая регулировка на основе цифровой или аналоговой обработки сигнала является довольно сложной задачей. Ее решение облегчается при использовании специализированных микросхем, например CD4046 или NE567.

Два других варианта управляемых генераторов приведены ниже. На рис. 2.92а представлен классический мультивибратор (см. главу 5, раздел «Классические импульсные устройства»), у которого частота генератора определяется параметрами RC-цепи.

Для регулировки цепи использован фоторезистор, сопротивление которого зависит от освещенности и изменяется путем варьирования напряжения на лампочке. Достоинством устройства является полная развязка цепи управления и генератора.

На рис. 2.92б показан фрагмент схемы ГУН на базе микроконтроллера. На выходе в точке F формируется последовательность стандартных импульсов с частотой, заданной программным способом (как в случае аналого-цифрового преобразователя). Эта последовательность поступает на интегрирующую RC-цепочку, которая преобразует ее в постоянное напряжение, зависящее от частоты. Оно подается на один из входов операционного усилителя и сравнивается

с поданным на второй вход управляющим напряжением. Разностный сигнал используется микроконтроллером для задания частоты, соответствующей уровню управляющего сигнала.

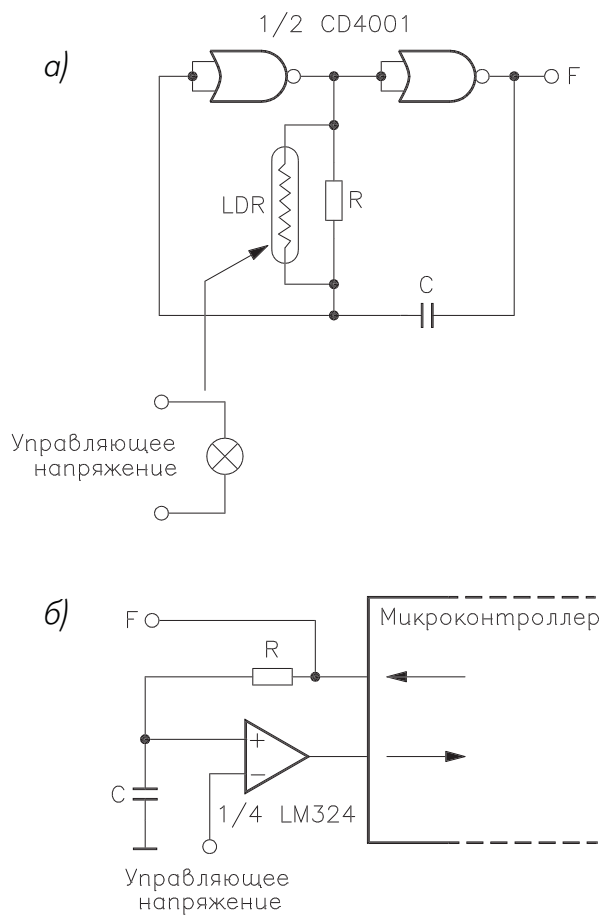
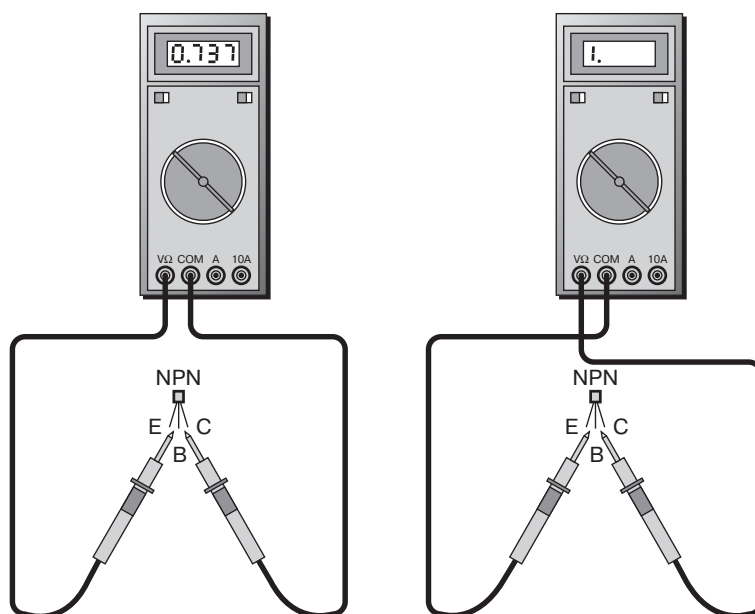


Рис. 2.92

<b>1</b>	Конструирование и сборка электронных устройств	9
<b>2</b>	Разработка электронных схем	39

# 3

## ТЕСТИРОВАНИЕ. ИЗМЕРЕНИЯ. УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ



<b>4</b>	Микроконтроллеры. Информатика	155
<b>5</b>	Справочная информация	185

Первое включение только что собранного устройства – это всегда волнующий момент, итог длительных трудов по разработке и изготовлению, которому, возможно, предшествовали долгие недели размышлений над принципиальной схемой. Но иногда вместо удовлетворения от безошибочной работы приходит разочарование, вызванное непредвиденными обстоятельствами, или, хуже того, полный провал. Тогда для устранения неисправностей понадобится несколько необходимых приборов – от обыкновенного мультиметра до многоканального логического анализатора.

На стадии наладки неработающего устройства важной составляющей успеха является умение мыслить логически, способность к анализу и синтезу. Наличие микропроцессора не всегда поможет, поскольку иногда очень трудно определить, что является источником неисправности – технический дефект схемы или ошибка в программном обеспечении. Устранение неисправностей – хорошая школа для начинающих и не только для них!

## **ИСКУССТВЕННАЯ НАГРУЗКА**

Тестирование источника питания или аналогичной схемы проходит через стадию поиска и выбора нагрузки, позволяющей моделировать реальные условия работы устройства. Для небольших мощностей в качестве пробной нагрузки вполне можно использовать резистор. Иная ситуация возникает, например, с источником постоянного напряжения, способным обеспечить ток порядка 5 А при выходном напряжении около 30 В. Параллельное и последовательное включение нескольких резисторов представляется трудной задачей, особенно для рассеивания мощности 150 Вт.

Значительно удобнее использовать автомобильные лампы. Существует богатый выбор таких ламп мощностью от 5 Вт (для габаритных огней) до 40 Вт и более (лампы для фар). Есть также лампы мощностью 21 Вт (для стоп-сигналов). Самым распространенным напряжением является 12 В при большом допуске сверху, поскольку при движении автомобиля со средней скоростью генератор обеспечивает напряжение 14,4 В. Последовательное соединение двух ламп позволяет удвоить это напряжение. Упомянутый выше источник питания можно протестировать, если подключить к нему четыре лампы 12 В / 40 Вт с последовательно-параллельным соединением 2×2 (рис. 3.1).

Для более высоких напряжений подойдут лампы, работающие от сети, а также специальные резисторы, применяемые для нагрева

(в конвекторах и др.). При особенно высокой мощности источника питания в качестве нагрузки можно использовать электролитическую ванну. Для этого в подсоленную воду опускают две не соприкасающиеся между собой металлические полосы достаточного сечения. Подобную операцию настоятельно рекомендуется проводить в хорошо проветриваемом помещении или на улице. В любом случае мощность будет рассеиваться главным образом в форме тепла. Поэтому необходимо принять элементарные меры противопожарной безопасности, а также защищать глаза от интенсивного светового излучения лампы даже при небольших ее размерах.

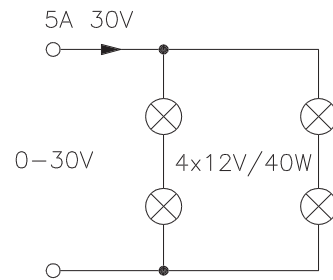


Рис. 3.1

## РЕМОНТ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ

Срок службы поворотного переключателя во многом зависит от интенсивности его использования, а следовательно, от его роли в работе устройства. Довольно часто переключатели приходится заменять или, если вы имеете дело с оригинальной моделью, ремонтировать. Как правило, неисправность возникает из-за того, что контактный лепесток недостаточно сильно прижимается к проводящим дорожкам. Иногда, чтобы восстановить функционирование переключателя, достаточно немного подогнуть пружину, нажимающую на лепесток. Может оказаться, что неисправность носит более серьезный характер и требуется замена всего устройства или его части. В этом случае можно взять аналогичные детали от более распространенной модели и каким-то образом подогнать их. Случается также, что неисправность вызвана просто потерей шарика, это особенно часто встречается у более ранних моделей, не имеющих крышки. Такую неисправность легко устранить, подобрав на замену шарик подходящего размера (например, от шарикоподшипника).

## СТАРЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

Как правило, с явлениями старения и износа в электронике приходится сталкиваться довольно редко. Компоненты схем обычно выходят из строя из-за ошибок при эксплуатации или из-за длительного нагрева. Однако случается, что электролитические конденсаторы со временем приходят в негодность из-за высыхания электролита. В основном это относится к алюминиевым конденсаторам, однако

старению подвержены также и малогабаритные танталовые конденсаторы. При этом нет никаких внешних признаков дефекта, что в значительной степени усложняет диагностику. Невозможно выделить определенные типы схем, наиболее подверженных этой неисправности. Она может затронуть конденсаторы RC-цепей или схем установки начального состояния микроконтроллеров, разделительные конденсаторы и т.д. Поэтому все конденсаторы, вызывающие подозрение, следует проверить с помощью тестера. При обнаружении неисправного компонента его необходимо заменить.

### ОСНАСТКА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ

Часто при проведении электрических измерений в небольшой лаборатории количество шнуров, соединяющих приборы, оказывается слишком велико для эффективной работы. Для соединения измерительных приборов между собой можно использовать шнуры со стандартными наконечниками. Слишком длинные шнуры превращают рабочий стол в джунгли. Предпочтительнее работать с несколькими короткими шнурами разных цветов, снабженных наконечниками типа «банан». На таких наконечниках есть гнезда, что позволяет вставлять их один в другой, увеличивая длину шнура (рис. 3.2).

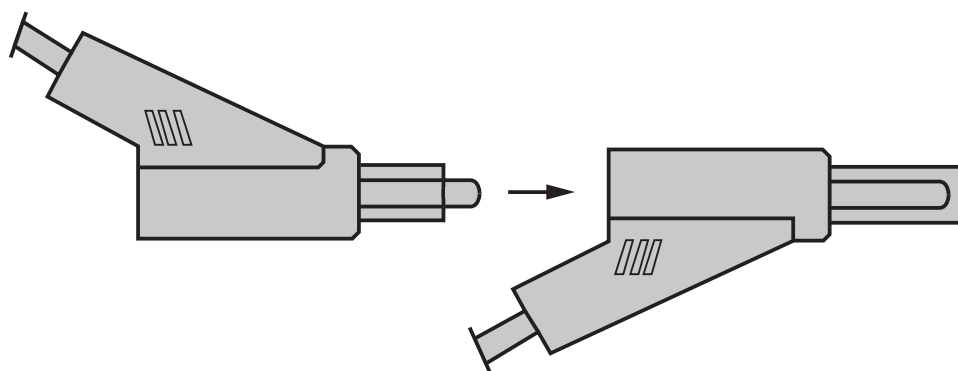


Рис. 3.2

При отсутствии защитной изоляции следует надеть на неиспользуемые металлические части отрезки изолирующей трубки, чтобы избежать короткого замыкания. Знаменитые зажимы типа «крокодил» сейчас практически не используются для подключения схемы к источнику питания. Им на смену пришли зажимы, припаянные или закрепленные винтом на конце шнура, другой конец которого снабжен наконечником типа «банан». Напряжение сети подводится к схеме при помощи сетевого шнура, оснащенного вилкой, применение



двух отдельных шнуров недопустимо. Закрепление сетевого шнура на макете осуществляется пайкой или с помощью винтовых зажимов.

Во время тестирования под схему, еще не помещенную в корпус, подкладывается картон или другой изолирующий материал. Чтобы тестируемая плата не упала при натягивании сетевого шнура, его следует закрепить (например, с помощью неметаллических зажимов). Обычно экспериментатор устанавливает небольшой распределительный щит, состоящий из сетевой розетки, светового индикатора, предохранителя и двухполюсного выключателя. Такой щит прочно крепится в нужном месте на краю рабочего стола. Это снижает риск ошибочных действий, а также обеспечивает безопасность и удобство работы.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА

Измерение тока – это довольно тонкая операция, при выполнении которой следует учитывать потенциалы точек подключения. Постоянный ток можно определить по напряжению на выводах резистора, включенного последовательно с нагрузкой в точке, наиболее близкой к заземлению. Такой вариант схемы является относительно простым, если не учитывать возможной проблемы нагревания резистора. Впрочем, ее можно решить с помощью параллельного соединения. Достаточно усилить напряжение, величина которого выбирается минимальной, чтобы получить надежный сигнал.

Значительно сложнее измерить переменный ток, особенно если схема связана с сетью. Существует оригинальное решение этой проблемы с помощью трансформатора тока. Известно, что проводник с током создает магнитное поле, напряженность которого пропорциональна этому току. Если расположить датчик, в данном случае катушку, в непосредственной близости от проводника, можно уловить, а затем обработать наведенный в катушке сигнал.

На практике удобно использовать тороидальный сердечник (такие компоненты применяются в антипомеховых дросселях), намотав на него большое число витков эмалированного провода малого сечения. Количество витков должно быть тем больше, чем выше измеряемый ток. Проводник с измеряемым током пропускают сквозь тороидальный сердечник. Таким образом формируется первичная обмотка трансформатора (рис. 3.3). Ток во вторичной обмотке надо значительно снизить, чтобы иметь возможность обработать его с помощью операционного усилителя, включенного по схеме преобразователя тока в напряжение.

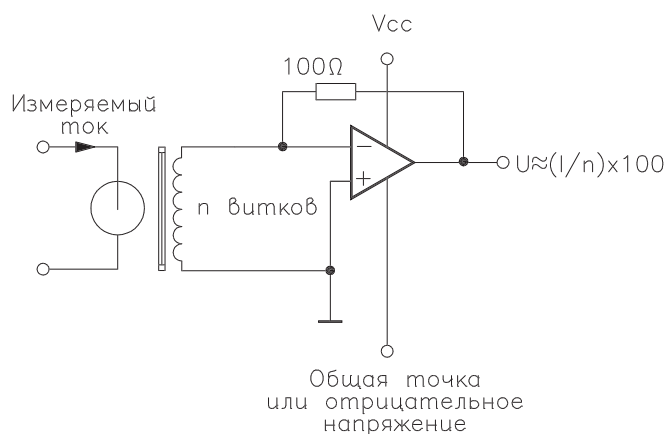


Рис. 3.3

Например, ток силой 0,5 А в первичной обмотке создаст ток 5 мА во вторичной обмотке при 100 витках провода и напряжении 0,5 В на выходе усилителя. Это значение соответствует номиналу резистора, указанному на рис. 3.3. Форма сигнала сохраняется, поэтому, чтобы получить постоянное напряжение, потребуется выполнить операции выпрямления и фильтрации. Большое преимущество схемы такого типа – полная изоляция измеряемого проводника от цепи обработки сигнала. Именно этот принцип используется в электроизмерительных клещах. В некоторых случаях можно подключить амперметр непосредственно ко вторичной обмотке трансформатора.

## РЕЖИМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

На стадии наладки или тестирования схемы иногда требуется выполнить временное замыкание двух точек, чтобы проверить работу управляющей схемы реле или светодиода в режиме короткого замыкания, прежде чем монтировать схему стабилизатора в корпус. Включение мультиметра, выполняющего функцию амперметра и рассчитанного на соответствующий ток, вполне заменяет рискованную процедуру замыкания проводов. Измерительные щупы обеспечат электрический контакт, в то время как предохранитель, включенный последовательно с амперметром, гарантирует безопасность этого временного соединения.

После подобных манипуляций, как и всегда после использования мультиметра в качестве амперметра, измерительные провода сразу необходимо переместить в гнезда вольтметра. Это дает гарантию того, что при следующем использовании мультиметра в схеме или, что еще хуже, в сети не произойдет случайное короткое замыкание.

## ДЕМОНТАЖ КОМПОНЕНТОВ С ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

### Изготовление отсоса для припоя

Специальный паяльник с отсосом для припоя, применяемый для демонтажа компонентов, крайне дорог, поэтому его покупка оправдана только в случае проведения интенсивных ремонтных работ.

Нужное приспособление несложно сделать своими руками. Для этого понадобится небольшой компрессор, имеющий всасывающий вход. Чтобы включать компрессор, удобно использовать педаль. Тогда руки останутся свободными для работы. Пластмассовая трубка малого диаметра, подобная трубкам для аэрации аквариумов, может служить для всасывания припоя. Ее конец надевают на жесткую металлическую трубку или на полый разъем RCA, с которого снята пластмассовая крышка (рис. 3.4).

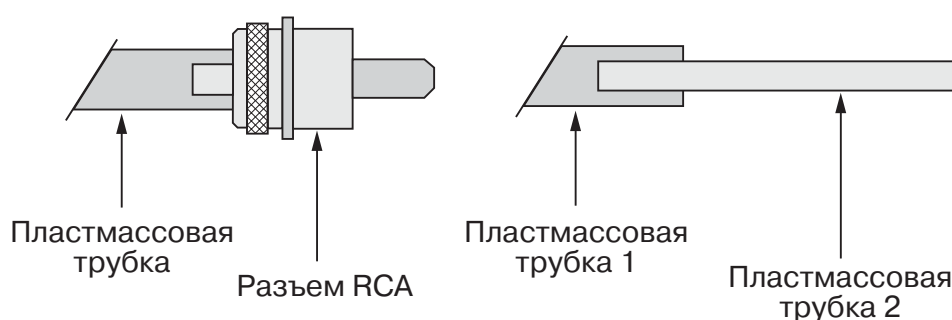


Рис. 3.4

Теперь процесс распайки пойдет легко: припой разогревается паяльником и втягивается отсосом в трубку. Когда наконечник забит, достаточно его нагреть и, постучав по столу, вытряхнуть содержимое. Можно также работать с небольшим куском пластмассовой трубки, вставленным в трубку большего диаметра, и обрезать его по мере использования (подойдут трубки, применяющиеся в медицине, например, для переливания крови).

### Демонтаж крупных компонентов

Демонтаж крупных компонентов, в частности трансформаторов, с целью их последующего использования иногда является сложной задачей. Ее можно облегчить, если распилить печатную плату вокруг выводов компонента так, чтобы обойти все контактные площадки (рис. 3.5). Затем их достаточно нагреть и тем самым высвободить соответствующие выводы.

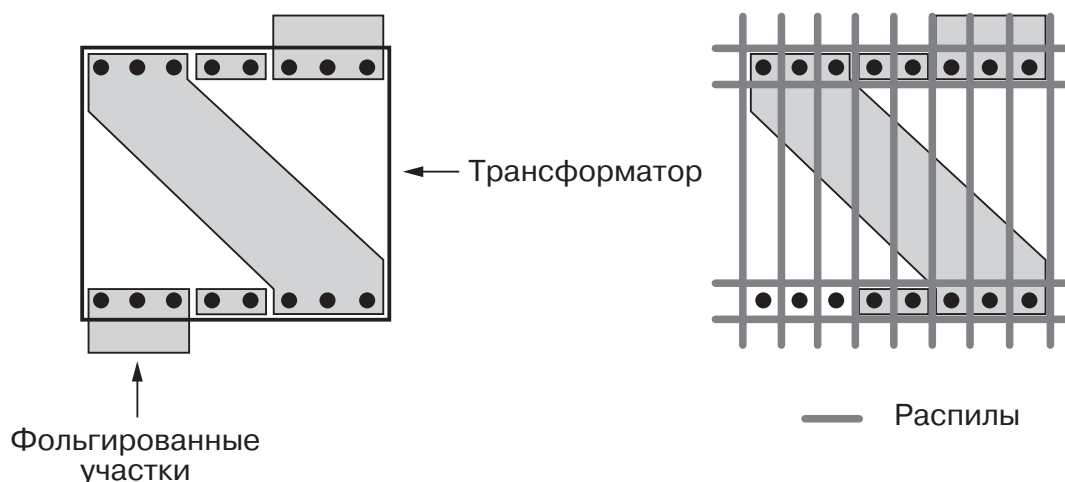


Рис. 3.5

### Использование сетки для удаления припоя

Существуют разные способы удаления припоя; радиолюбители и специалисты, работающие в небольших ремонтных мастерских, предпочитают удалять припой с помощью сетки. Действительно, при редком использовании она обходится недорого и проста в применении, если соблюдать некоторые несложные правила.

Для демонтажа некрупных компонентов лучше подходит луженая сетка небольшой ширины (2 мм). Отработанный конец сетки регулярно отрезают, чтобы в полной мере использовать эффект капиллярности. Такая технология требует известной сноровки, поскольку приходится отрывать вывод компонента от стенок отверстий, одновременно поддерживая сетку и направляя наконечник паяльника. Если припой не снимается, возможно, потребуется добавить его в небольшом количестве. Добавленный припой смешается с остатком и притянет его к сетке. Это особенно важно при работе с двусторонней печатной платой.

Иногда демонтаж такой платы превращается в сложную операцию, и тогда остается единственная возможность – обрезать все выводы один за другим. Для этого используются небольшие кусачки. Затем выводы нагреваются (без применения сетки) и вынимаются. В заключение необходимо прочистить отверстия при помощи сетки.

### ФОРМА ИЗМЕРЯЕМОГО СИГНАЛА

Классический мультиметр, которым измеряют переменные сигналы, рассчитан на индикацию эффективных значений и обеспечивает правильные показания только для синусоидальных сигналов.

Показания для сигналов другой формы содержат ошибки тем более значительные, чем сильнее форма измеряемого сигнала отличается от синусоиды.

Таким образом, на выходе преобразователя 12/220 В, построенного на трансформаторе с двумя коммутируемыми транзисторами, будет индцироваться напряжение, существенно превышающее его истинное значение (рис. 3.6). Для корректного измерения следует использовать осциллограф, который одновременно показывает и амплитуду, и форму сигнала.

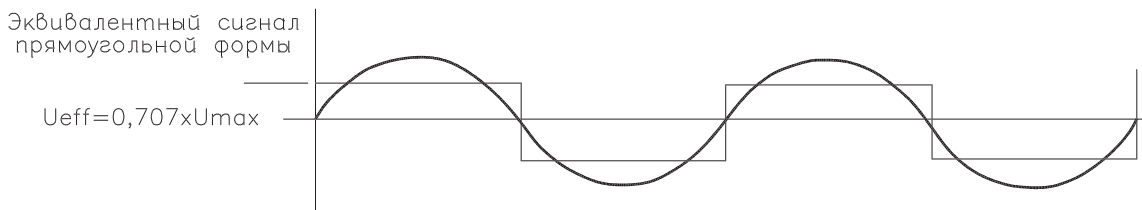


Рис. 3.6

## ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ИЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

Измерение и обработка переменной величины обычно выполняются с помощью преобразователя переменного сигнала в постоянный. Обыкновенный диод в сочетании с конденсатором выполняет операции выпрямления и фильтрации сигнала. Но в действительности речь идет об измерении максимальной (пиковой) величины сигнала. При этом не учитываются ни форма сигнала, ни его частота (рис. 3.7). Следовательно, данный принцип может успешно применяться исключительно для тех сигналов, у которых изменяется только амплитуда, но не форма.

В других случаях лучше использовать специализированные схемы или аналого-цифровое преобразование с последующей математической обработкой.

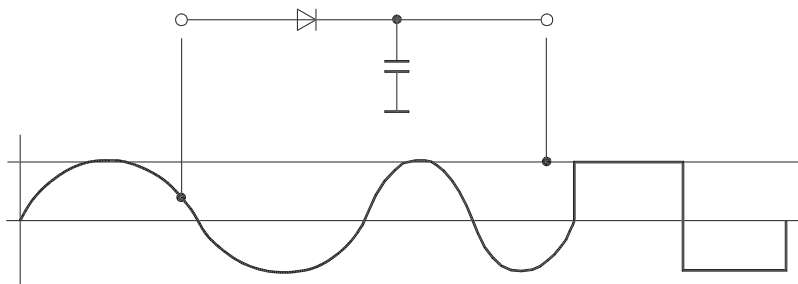


Рис. 3.7

## МЕТОДИКА УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

### Источники питания

Наиболее вероятные причины неисправностей, которые следует устранять в первую очередь, касаются источника (или источников) питания вышедшей из строя схемы.

После проверки подключения и предохранителей выполняется внешний осмотр, в процессе которого иногда удается выявить неисправность трансформатора по коричневатому цвету его обмотки. Это обычно свидетельствует о перегреве трансформатора, в результате чего могла нарушиться межвитковая изоляция. Залитые модели, рассчитанные обычно для работы на пределе своих возможностей, имеют ограниченный срок службы, что связано с плохими условиями отвода тепла.

Следующий этап поиска касается схем выпрямления и фильтрации. В первую очередь следует проверить, не произошло ли короткое замыкание в конденсаторе, особенно если расплавился предохранитель. Подключение мультиметра в позиции омметра к конденсатору приводит к зарядке или разрядке последнего в зависимости от полярности измерительных щупов. Следовательно, прибор может показать короткое замыкание, которого на самом деле нет. Поэтому тестирование следует проводить достаточно долго, чтобы закончилось протекание тока зарядки. В установившемся режиме (если конденсатор исправен) тестер должен показать практически бесконечное сопротивление.

Затем можно перейти к поиску возможных неисправностей в стабилизаторах. После того как схема будет проверена (при необходимости с использованием технической документации), следует обратить внимание на вход стабилизатора.

Иногда во входной цепи стоит мощный резистор, предназначенный для понижения напряжения до приемлемой величины. Этот резистор может перегреться, что в конце концов приведет к разрыву цепи. В этом случае, прежде чем его заменить, все же рекомендуется тщательно исследовать оставшуюся часть схемы.

Между входами и выходами, а также по отношению к общей точке не должно существовать замыканий. Если произошло короткое замыкание, для выяснения его причины необходимо демонтировать стабилизатор. Во время повторной сборки схемы рекомендуется проверить изоляционные прокладки из слюды и других материалов. Если источник питания по-прежнему не функционирует, нужно исследовать другие компоненты схемы. Необходимо искать любые следы нагрева или неисправности как на печатной плате, так и под

ней. На проводящих дорожках иногда образуются разрывы, а контактная площадка может отслоиться от платы.

После проверки всех активных и пассивных компонентов наступает очередь интегральных схем. Их проверка облегчается, если они вставлены в специальные панели. В таком случае схемы вынимаются одна за другой, и проверяется наличие замыкания на выходе источника питания до исчезновения дефекта. Для подключения источника питания к логическим ИС обычно служат верхний правый вывод (14 или 16) для положительного полюса и нижний левый (7 или 8) для общей точки. Однако имеются исключения, например ИС типа CD4049 и CD4050. Множество операционных усилителей, например LM324, TL084 и другие, также имеют стандартное расположение выводов («+» на выводе 4, а «земля» или «–» на выводе 11). Иногда обнаруживается неизвестный компонент (модель невозможно идентифицировать или она засекречена во избежание копирования). Впрочем, вполне может оказаться, что расположение выводов соответствует принятым стандартам и данный компонент можно тестировать. Когда причина неисправности найдена, схемы по очереди ставятся на место и каждый раз проверяется работа источника питания.

На практике редко встречаются серийные ИС, вставляемые в панели, за исключением программируемых схем. При этом крайне трудно осуществить поочередную отпайку интегральных схем. Такая операция рискованна как для компонентов (из-за нагрева), так и для печатной платы (из-за отслаивания дорожек) даже при использовании высококачественного отсоса для припоя. Если мы имеем дело с двусторонней платой, результаты могут быть просто катастрофическими.

В качестве возможного варианта решения проблемы допустимо рассечь дорожки металлизации, подводящие напряжение питания, резакон, следя за тем, чтобы не повредить близлежащие соединения. Лак, покрывающий дорожку, должен быть счищен с обеих сторон разреза, чтобы потом удалось выполнить мостик из припоя для восстановления соединения. (Еще раз напоминаем, что необходимо быть особенно внимательными при работе с двусторонними печатными платами.) Затем выполняется тестирование – так, как описано выше.

Соединения выводов неисправного компонента также проверяют перед подключением к источнику питания. Это позволяет выявить другие возможные причины неполадок. Если в результате проверки неисправности не обнаружены (не найдено короткое замыкание и отсутствует напряжение), то следует вновь вернуться к трансформатору, одна из обмоток которого может быть разорвана.



Тестирование при помощи омметра должно показать на вторичной обмотке сопротивление ниже 10 Ом, а на первичной – порядка 100 Ом. Эти величины справедливы только для небольших трансформаторов (с мощностью ниже 30 ВА). Желательно сравнить трансформатор с идентичным исправным прибором. Разумеется, между разными обмотками не должно быть никакой электрической связи. Необходимо внимательно проверить отсутствие закороток на печатной плате: их устранение потребует полного демонтажа.

Наконец, отметим, что при многочисленных измерениях, которые обычно проводятся относительно общего (заземляющего) вывода, в качестве базовой точки можно использовать выход стабилизатора (положительный вывод), к которому несложно присоединить зонд осциллографа или мультиметра.

См. также раздел «Тестирование впаянных компонентов».

### **Тестирование оптического детектора**

В некоторых устройствах для определения положения компонентов используются оптоэлектронные датчики (детекторы излучения). Они применяются, например, в детекторах конца прохода каретки с головкой принтера или в индикаторах наличия кассеты в видеомагнитофоне. В нормальном режиме работы такие датчики защищены от света крышкой корпуса.

Во время проверки оптические детекторы могут быть засвечены слишком ярким светом. Об этом следует помнить при наличии сбоев, поскольку неисправность оптических детекторов может привести к неожиданным последствиям и иногда даже к порче механических компонентов (выход из строя автоматической системы управления).

### **Проверка логических состояний**

Проводя поиск причины неисправности, важно иметь ясное представление о работе логической схемы устройства.

При анализе выполняемой логической функции необходимо проверить соответствие состояний выхода сигналам на входах. Так, простой инвертор должен иметь на выходе уровень, обратный уровню на входе. Амплитуда сигналов также имеет большое значение. Напряжение 4,5 В на выходе схемы, питаемой от напряжения 5 В, должно настораживать всегда за исключением некоторых случаев (например, непосредственное подключение светодиода к выходу без дополнительного транзистора).

Если на входе схемы стоят кнопки или переключатели, необходимо проверить соответствующие соединения и проследить пути прохождения сигналов. При наличии счетчика следует проверить работу его тактового генератора, отсутствие блокировки по входу установки начального состояния, а также продвижение сигналов на выходах. Если на работу логической схемы влияет переменный резистор, то вполне возможно, что сбой вызван нарушением его установки в результате удара или вибрации. Появление пульсаций напряжения источника питания интегральной схемы также может быть признаком неисправности. Рекомендуется обратить внимание на показания осциллографа, которые могут зависеть от размещения общего электрода.

Интересен случай проверки интегральной схемы, которую невозможно идентифицировать, поскольку изготовитель сознательно пытался скрыть номер модели. При наличии некоторого опыта тип схемы можно распознать по компонентам, которые ее окружают. Так, генератор-счетчик типа CD4060 практически всегда снабжен конденсатором и двумя резисторами, которые подключены к его выводам 9, 10 и 11. Наличие положительного полюса питания на выводе 4 так же, как и отрицательный потенциал на выходе, обычно свидетельствует о том, что речь идет об операционном усилителе.

Во всех случаях неоценимую помощь могут оказать справочные издания и многочисленные схемы, публикуемые в технических журналах.

## **Маркировка демонтируемых компонентов**

Любая операция демонтажа неисправного прибора должна начинаться с тщательной маркировки всего набора снимаемых элементов. Следует тщательно записать цвет каждого провода, отметить ориентацию соединительных элементов, даже если для них существует единственный вариант включения. Желательно пронумеровать детали типа «вилка» и «гнездо» с помощью маркера. Также имеет смысл пометить все резьбовые детали, винты различных размеров и механические детали, сборка которых вызывает трудности. Чтобы ничего не потерять, рекомендуется разложить детали по пакетам.

При наличии подвижных элементов (кулачков, кареток и т.д.) следует точно запомнить их положение, поскольку оно может оказаться важным для электронных схем управления при включении.

## **РАБОТА С МУЛЬТИМЕТРОМ**

### **Опасность появления ошибочных показаний**

На всех цифровых мультиметрах стоят индикаторы, предупреждающие пользователя о том, что батарейка скоро разрядится. У многих дешевых приборов индикатор включается слишком поздно, когда в показаниях уже появились ошибки. Если результаты измерений вызывают подозрения, следует проверить состояние батарейки. При этом не стоит использовать мультиметр для проверки его собственной батарейки из-за опасности внутреннего короткого замыкания.

### **Измерения на разомкнутой цепи**

При высоком входном сопротивлении цифрового мультиметра (приблизительно 10 МОм) в режиме измерения переменных сигналов на индикаторе нередко появляется напряжение (иногда до 220 В), хотя измерительные щупы не присоединены. На самом деле так проявляется антенный эффект, обусловленный, как правило, работой расположенного поблизости мощного прибора.

Если цель измерения – убедиться в отсутствии напряжения перед проведением работ на схеме, это будет существенной помехой. В подобных случаях надо использовать либо гальванометрический (неэлектронный) вольтметр, либо пробник с лампочкой, рассчитанной на соответствующее напряжение.

### **ОЧИСТКА УСТРОЙСТВА ОТ ПЫЛИ**

Полная очистка внутреннего пространства корпуса иногда является важным этапом, который предшествует любым попыткам устранения неисправностей, особенно при наличии вентилятора охлаждения (в компьютерах, источниках питания). Не следует применять компрессор с форсункой для обдува во избежание риска повреждения наиболее хрупких компонентов. Кроме того, бесполезно перегонять пыль или другие частицы мусора из одного места в другое, чтобы загнать их еще глубже. В этой ситуации пылесос гораздо лучше очистит устройство. Однако диаметр его трубы совершенно не подходит для подобного применения.

Разумнее использовать трубку меньшего сечения, подобную тем, что применяются для аэрации аквариумов. Трубка вставляется в отверстие, просверленное в шарике из пенопласта. Этот шарик вставляется в трубу пылесоса (рис. 3.8). Получившееся приспособление

позволяет удалять стружку и мелкий мусор со дна корпуса после сверления и прокладки кабелей.

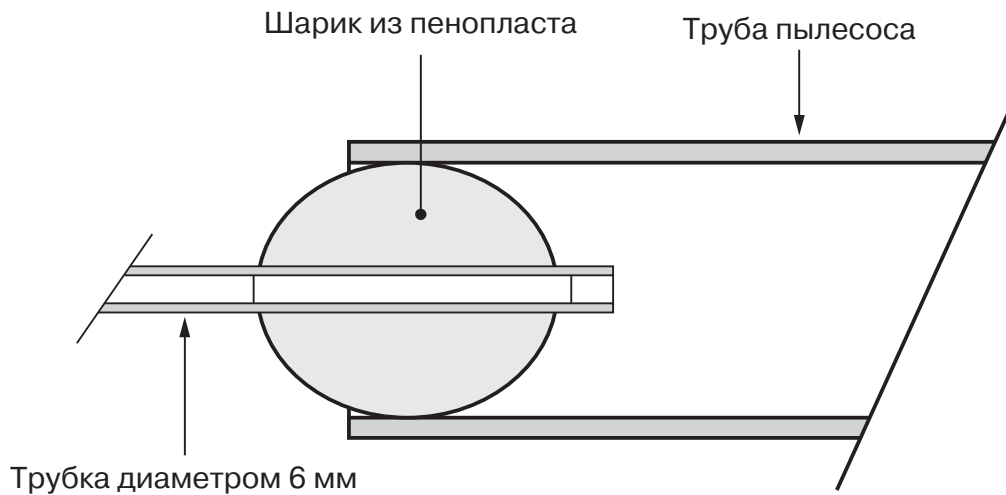


Рис. 3.8

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА

### Проблема заземления

Сетевой шнур осциллографа снабжен заземляющим проводом, который соединен с шасси прибора внутри корпуса. Общая точка входов и выходов (зондов, синхросигналов) также связана с шасси. В домашних электроустановках корпус соединяется с нейтралью, то есть с нулевой точкой сети.

Такой тип подключения, разработанный для безопасности пользователя, вызывает серьезную проблему при проведении измерений в схемах, прямо или косвенно связанных с сетью. К ним относятся, например, схемы на симисторах или схемы, питающиеся от устройств с конденсаторами (без трансформатора). В этих случаях существует риск короткого замыкания, которое обычно не представляет опасности, поскольку срабатывает предусмотренная защита. Однако это плохо влияет на работу осциллографа. В таком случае следует убрать соединение с нейтралью, например подключив переходник с трехконтактной вилки на двухконтактную или модифицировав многоконтактную вилку. Не нужно отсоединять заземляющий провод от корпуса осциллографа.

Необходимо подчеркнуть, что такое подключение носит временный характер и должно быть устранено после проведения работ.

Существуют и другие лабораторные приборы (источники питания, генераторы), которые могут понадобиться при аналогичных измерениях, и тогда возникнет та же проблема.

### **След луча**

Срок службы электронно-лучевой трубки осциллографа существенно сокращается, если след луча без необходимости будет иметь вид точки, расположенной в одном и том же месте (возможно выгорание люминофора в этом месте). Поэтому после каждого измерения с такой необычной настройкой нужно возвращать временную развертку в состояние, при котором след луча имеет вид прямой линии.

### **Влияние зонда на работу схем**

Сопротивление измерительных входов осциллографа ниже, чем аналогичное сопротивлением цифрового мультиметра; оно составляет около 1 МОм против 10 МОм для мультиметра. К этому сопротивлению обычно добавляется конденсатор емкостью порядка 20 пФ. Такие величины могут явиться причиной ошибок измерения и даже нарушения нормального функционирования схемы. Например, программа микроконтроллера может давать сбой при зондировании его тактовых схем (кварцевого генератора) или схемы обнуления.

Другим типичным примером является RC-цепь, особенно когда номиналы резисторов повышены. При подключении зонда может возникнуть впечатление, что конденсатор разряжен, хотя на самом деле он постоянно заряжен из-за ошибки в схеме. Иногда таймер работает только при наличии зонда осциллографа из-за вызываемого им изменения параметров. Из всего сказанного можно сделать вывод, что при любом отклонении в работе устройства, которое зондируется при помощи осциллографа, следует изучить его с помощью принципиальной схемы, чтобы выявить возможные причины сбоя.

### **УТИЛИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ**

Ничто не мешает утилизировать многочисленные компоненты неисправных схем или плат.

Некоторые фирмы избавляются от множества приборов или их частей, иногда находящихся в рабочем состоянии, в основном по причинам чисто экономического характера. Иногда это устаревшие модели или оборудование, ремонт которого потребует слишком высоких затрат.

Лучше хранить подобные платы, не демонтируя их, чтобы пользоваться ими по мере необходимости как банком деталей. Бессмысленно демонтировать все детали, если нет уверенности, что они когда-нибудь пригодятся. С другой стороны, если часть деталей снять, а другие выбросить вместе с платой, через некоторое время об этом можно пожалеть.

На практике допустимо использовать все, что расположено на печатной плате, а также внешние элементы: радиаторы охлаждения, вентиляторы, сетевые шнуры, разъемы и выключатели. Конечно, вряд ли стоит снимать резисторы и другие дешевые компоненты. Хотя каждому знакома ситуация, когда в воскресенье утром вдруг понимаешь, что не хватает резистора с номиналом 8,2 кОм, без которого невозможно закончить сборку схемы из любимого журнала или собрать устройство, которое в понедельник утром необходимо продемонстрировать клиенту.

При наличии защитного лака в схемах специального исполнения операция отпайки резисторов усложняется, как и для двусторонних печатных плат. В этих случаях при отсутствии панелей для вставки интегральных схем от утилизации компонентов лучше отказаться.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ**

При устранении неисправностей температура играет важную роль. Повышение температуры, с одной стороны, бывает причиной выхода прибора из строя, а с другой стороны – может помочь в выявлении причины неисправности.

Иногда схема теряет работоспособность, а посредством тестирования не удастся выявить никаких неполадок, и такую схему можно без риска подключить к источнику питания. В этом случае для проверки допустимо использовать термическое испытание. Иногда причину неисправности можно обнаружить, если подключать все компоненты один за другим на короткое время к источнику напряжения и прикладывать к ним палец, проверяя степень нагрева. При этом надо быть осторожным, чтобы не обжечься.

Существует и другой вариант проверки: струя воздуха от фена направляется на различные участки схемы. Это также позволяет выявить возможные неполадки. Таким способом можно проводить тестирование как на разогрев, так и на охлаждение. Если сузить отверстие для выхода воздуха, то его поток можно направлять с большей точностью.

## ТЕСТИРОВАНИЕ ВПАЯННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Чтобы не отпаивать некоторые особенно чувствительные к нагреву компоненты с целью их тестирования, можно рассечь дорожки металлизации, соединяющие этот компонент с другими (рис. 3.9). После этого, обеспечив электрическую изоляцию, можно провести тестирование таким же образом, как и при отпайке компонентов.

Не рекомендуется рассекать одновременно несколько дорожек, а сразу после окончания проверки исходное соединение следует восстановить.

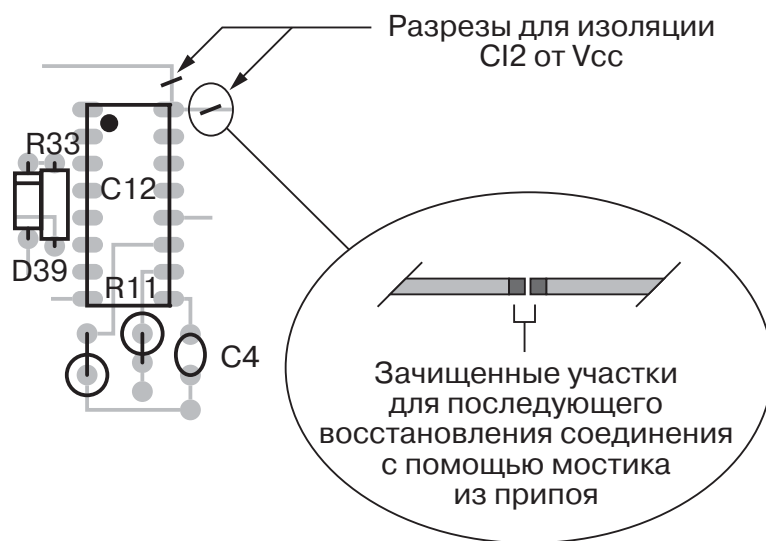


Рис. 3.9

## ТЕСТИРОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ И ДИОДОВ

Состояние транзистора, как правило, проверяют при помощи мультиметра, включенного по схеме омметра, или с помощью специального тестера с индикацией усиления транзистора. В первом случае прежде всего необходимо определить расположение выводов и тип транзистора. Если они неизвестны, нужно сравнить транзистор с другими моделями, описанными в многочисленных специализированных изданиях и справочниках. В наиболее трудных случаях приходится действовать на ощупь (при этом нет никакого риска повредить прибор), пока не обнаружится подходящая конфигурация. Если определить ничего не удалось, скорее всего, транзистор неисправен.

Сначала необходимо сопоставить цвета измерительных щупов с полярностью напряжения на гнездах мультиметра. Если проверяют транзистор  $p-n-p$  типа, то положительный щуп подключают



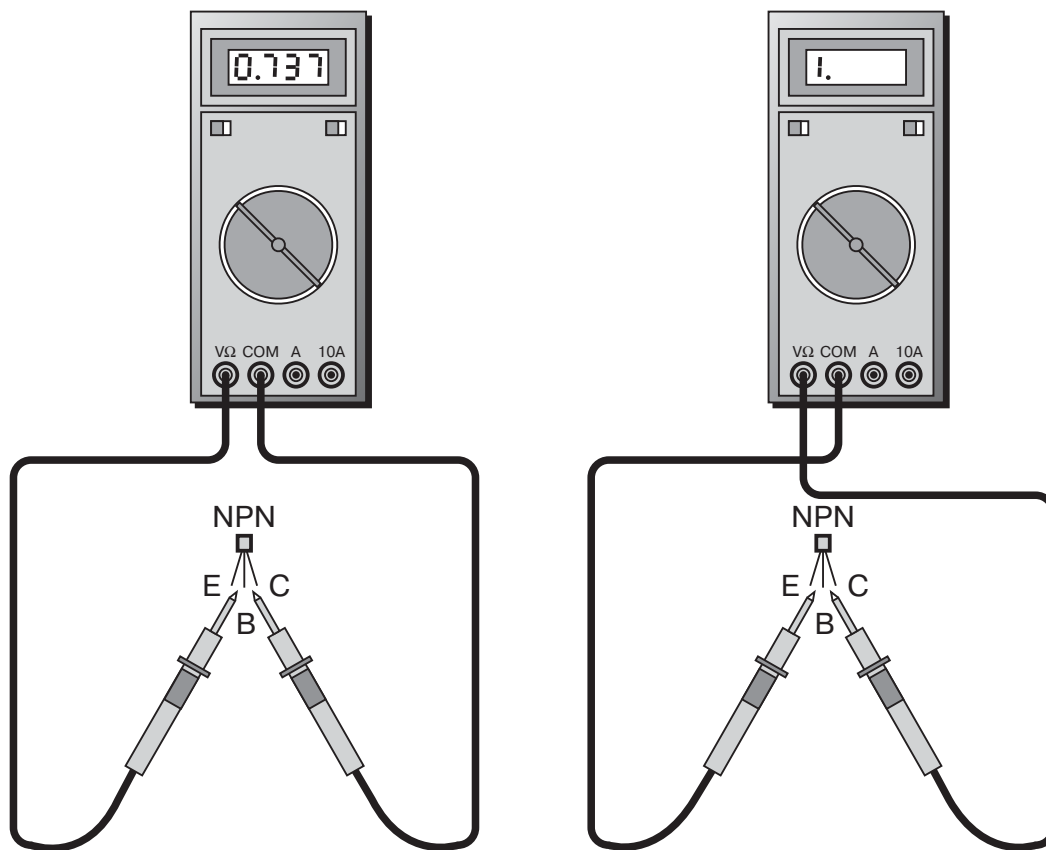


Рис. 3.10

к базе (рис. 3.10) и тестируют оба перехода: база–коллектор (В–С) и база–эмиттер (В–Е), которые должны пропускать ток (индикация в диапазоне между 0,600 и 0,800).

Аналогичная операция, на этот раз с отрицательным щупом, дает индикацию бесконечного сопротивления (переход не пропускает ток). С транзистором р–п–р типа производят те же действия, но тут они должны привести к противоположным результатам. Остается проверить переход коллектор–эмиттер, который не должен пропускать ток. Следует иметь в виду, что транзисторы Дарлингтона иногда имеют защитный диод. Переход, замкнутый накоротко, дает на индикаторе показание 0,00. Транзистор, не отпаянный от схемы, может выдать ошибочные показания из-за соединенных с ним компонентов. Если есть сомнения, лучше отпаять его полностью. Такую процедуру тестирования можно использовать для всех компонентов с полупроводниковыми переходами, например для диодов, светодиодов или оптопар (с обеих сторон).

Наконец, есть четырехэлектродные транзисторы, обычно имеющие два вывода базы. В этом случае применяется такая же процедура тестирования.

Диодный мост иногда нелегко протестировать из-за соединения с вторичной обмоткой трансформатора. В таком случае его необходимо предварительно демонтировать. При проверке диодных мостов надо присоединить один из измерительных щупов к отрицательному или положительному выходу моста и протестировать подключенные к этому выводу диоды.

Для проведения полной проверки необходимо выполнить восемь тестов. При этом полезно иметь под рукой эквивалентную схему, которая отражает внутреннее строение диодного моста.

## **ДОСТОИНСТВА ПРАКТИКИ УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ**

В настоящее время умение устранять неисправности в электронных схемах сходит на нет, хотя это занятие прекрасно помогает в освоении основных технологий и знакомит с процессом изготовления различных схем. Оно открывает возможность изучения методов работы опытных специалистов в различных областях техники, живущих в разных странах; такой опыт послужит ценным дополнением к другим формам повышения квалификации. Всегда стоит задуматься о том, какие причины побудили конструктора прибегнуть именно к данному, а не к какому-либо другому типу разработки схемы.

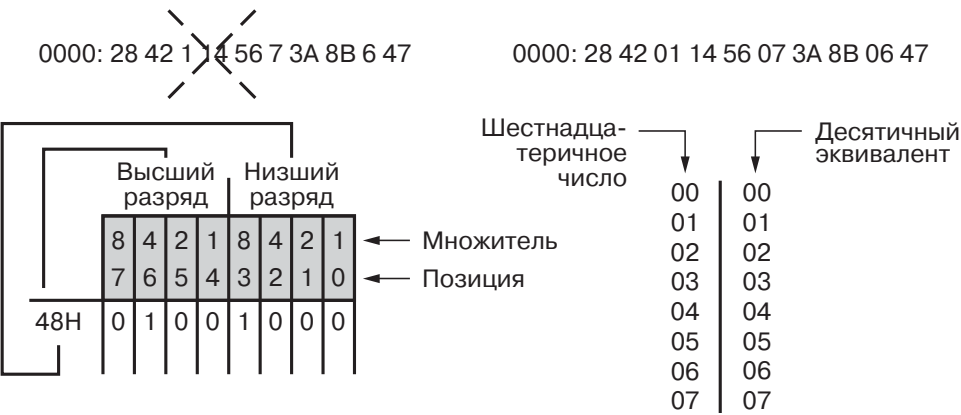
Эти причины могут быть как чисто техническими, так и экономическими. Иногда компонент используется неожиданным образом, выполняет совершенно не те задачи, для которых его создавали. Кроме того, применение оригинальной конструкции механических деталей может существенно снизить срок изготовления, а следовательно, и цену устройства.

Иногда на практике применяются подходы, которых теоретически следовало бы избегать, причем они работают, хотя и непонятно каким образом. Конечно, речь не идет о том, чтобы копировать устройства, созданные долгим трудом других людей, с целью извлечения из этого прибыли. Но возможность совершенствовать свои познания – это тоже прибыль, хотя и другого рода.

1	Конструирование и сборка электронных устройств	9
2	Разработка электронных схем	39
3	Тестирование. Измерения. Устранение неисправностей	135

4

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ.  
ИНФОРМАТИКА



5	Справочная информация	185
---	-----------------------	-----

Как известно, компьютер не может функционировать без электронных схем, но сегодня все более верным становится и обратное утверждение. С появлением новых совершенных систем симуляции многие электронные схемы можно реализовать исключительно виртуально. Подавляющее большинство печатных плат разрабатывается с помощью специальных программ компьютерного проектирования. Микропроцессоры и особенно микроконтроллеры все чаще используются в качестве стандартных компонентов даже в самых простых и недорогих схемах. Следует отметить, что при улучшении качества и увеличении возможностей стоимость этих компонентов снизилась (их изготовление стало проще и дешевле). Сегодня электронщик должен не только владеть своей специальностью, но и уметь правильно обращаться с новыми компонентами.

## СТАНДАРТ ЦИФРОВОГО КОДИРОВАНИЯ ASCII

Код ASCII (American Standard Code for Information Interchange – американский стандартный код для обмена информацией) представляет собой стандарт цифрового кодирования цифровых и буквенных символов. Он используется в файлах, а также при обмене данными между двумя компьютерами или между компьютером и периферийными устройствами. Принцип ASCII прост: прописной букве А, например, соответствует код 65, букве В – код 66 и т.д. При желании можно проверить этот код на компьютере, если при нажатой клавише **Alt** набирать нужный код на цифровом поле клавиатуры. Соответствующая буква при этом появится на экране. Коды ASCII для распространенных символов приведены в табл. 4.1. Справа от десятичного представления кода (первый столбец) дано его значение в шестнадцатеричной системе счисления.

Таблица 4.1

0	00		32	20	SP	64	40	@	96	60		128	80		160	A0	192	C0	224	E0
1	01		33	21	!	65	41	A	97	61	a	129	81		161	A1	193	C1	225	E1
2	02		34	22	«	66	42	B	98	62	b	130	82	é	162	A2	194	C2	226	E2
3	03		35	23	#	67	43	C	99	63	c	131	83	â	163	A3	195	C3	227	E3
4	04		36	24	\$	68	44	D	100	64	d	132	84	ä	164	A4	196	C4	228	E4
5	05		37	25	%	69	45	E	101	65	e	133	85	à	165	A5	197	C5	229	E5
6	06		38	26	&	70	46	F	102	66	f	134	86		166	A6	198	C6	230	E6
7	07		39	27		71	47	Q	103	67	g	135	87	ç	167	A7	199	C7	231	E7
8	08		40	28	(	72	48	H	104	68	h	136	88	ê	168	A8	200	C8	232	E8

Таблица 4.1 (окончание)

9	09		41	29	)	73	49	I	105	69	i	137	89	ë	169	A9	201	C9	233	E9
10	0A	LF	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j	138	8A	è	170	AA	202	CA	234	EA
11	0B		43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k	139	8B	ï	171	AB	203	CB	235	EB
12	0C		44	2C	'	76	4C	L	108	6C	l	140	8C	î	172	AC	204	CC	236	EC
13	0D	CR	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m	141	8D		173	AD	205	CD	237	ED
14	0E		46	2E	,	78	4E	N	110	6E	n	142	8E		174	AE	206	CE	238	EE
15	0F		47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o	143	8F		175	AF	207	CF	239	EF
16	10		48	30	0	80	50	P	112	70	p	144	90		176	B0	208	D0	240	F0
17	11		49	31	1	81	51	Q	113	71	q	145	91		177	B1	209	D1	241	F1
18	12		50	32	2	82	52	R	114	72	r	146	92		178	B2	210	D2	242	F2
19	13		51	33	3	83	53	S	115	73	s	147	93	ô	179	B3	211	D3	243	F3
20	14		52	34	4	84	54	T	116	74	t	148	94	ö	180	B4	212	D4	244	F4
21	15		53	35	5	85	55	U	117	75	u	149	95		181	B5	213	D5	245	F5
22	16		54	36	6	86	56	V	118	76	v	150	96	û	182	B6	214	D6	246	F6
23	17		55	37	7	87	57	W	119	77	w	151	97	ù	183	B7	215	D7	247	F7
24	18		56	38	8	88	58	X	120	78	x	152	98		184	B8	216	D8	248	F8
25	19		57	39	9	89	59	Y	121	79	y	153	99		185	B9	217	D9	249	F9
26	1A		58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z	154	9A		186	BA	218	DA	250	FA
27	1B		59	3B	;	91	5B		123	7B		155	9B		187	BB	219	DB	251	FB
28	1C		60	3C	<	92	5C		124	7C		156	9C		188	BC	220	DC	252	FC
29	1D		61	3D		93	5D		125	7D		157	9D		189	BD	221	DD	253	FD
30	1E		62	3E	>	94	5E		126	7E		158	9E		190	BE	222	DE	254	FE
31	1F		63	3F	?	95	5F		127	7F		159	9F		191	BF	223	DF	255	FF

**Примечание:** CR: *Carriage Return* – возврат каретки;  
 LF: *Line Feed* – следующая строка.

Пустые ячейки соответствуют символам, которые используются в некоторых специализированных системах (например, графические символы, буквы национальных алфавитов или управляющие коды).

## СТАНДАРТНЫЕ АТ-КОМАНДЫ

АТ-команды представляют собой стандартные команды, используемые в большинстве модемов. Возможности современных модемов огромны. Их стоимость относительно невелика, они все шире используются для связи между компьютерами, в частности через Internet. Используя АТ-команды, можно управлять модемом и без помощи такого совершенного логического интерфейса, как Windows. Электронная схема на базе микроконтроллера позволяет без труда

управлять телефонными соединениями. При этом полностью разрешаются проблемы создания интерфейса и стандартизации.

Модем представляет собой устройство сопряжения между блоком с последовательной передачей, соответствующей стандарту RS232, и телефонной сетью. Его назначение (хотя и не единственное) – это передача информации в двоичной форме. Часто модем выполняет функцию автоматического распознавания скорости передачи, что облегчает разработку программного обеспечения. С помощью сигнала длиной в несколько байтов можно включить телефонную линию, набрать номер, получить сообщение о звонках. Короче говоря, разрешается автоматически управлять большим количеством ситуаций. Ниже представлены часто используемые команды:

- Q0** – отображать сообщения о текущем состоянии;
- Q1** – не отображать сообщения о текущем состоянии;
- V0** – сообщения о состоянии в виде цифрового кода;
- V1** – сообщения о состоянии в явном виде;
- X4** – ожидание звукового сигнала перед набором номера и определение занятой линии;
- S0** – выбор режима автоматического ответа ( $S0 = 0$  – режим автоматического ответа отключен);
- M2** – постоянное включение динамика;
- D** – запрос на набор номера (за кодом запроса следуют определенные параметры и требуемый номер).

Эти компоненты всегда приводятся в технической документации к модемам. Принцип функционирования прост: команда или группа команд, разделенных пробелами (иногда другими символами), отправляется в форме последовательности ASCII кодов, которая начинается со слова AT. Например, последовательность AT Z возвращает модем в исходное состояние. По умолчанию модем отвечает отправкой идентичной последовательности, при условии что не должен выдать какую-либо дополнительную информацию. Если модем был сконфигурирован нужным образом, при каждом звонке телефонного аппарата автоматически отправляется слово RING («звонок», англ.).

Некоторые модемы имеют встроенные функции управления речевыми сообщениями, позволяющие выдавать предварительно записанные (в модеме, а не на компьютере) фрагменты и сохранять речевые сообщения заданной длительности (определенное число секунд).

Следовательно, модем способен работать как автоответчик. С его помощью можно также управлять отправкой и получением факсов.

Ниже приведены фрагменты из листинга программы на языке Basic, который легко переводится на машинный язык (язык микроконтроллера). Данная программа предупреждает абонента о том, что ему было оставлено сообщение на автоответчике. С этой целью выполняется вызов абонента по заданному номеру, который может быть номером мобильного телефона (или пейджера). Кроме того, программой выполняются некоторые другие операции, например ведется подсчет количества звонков (чтобы зафиксировать вызовы, которым не удалось запустить автоответчик), а также ограничивается время вызова абонента (чтобы тот не успел снять трубку и не пришлось платить за вызов).

Каждый пользователь может изменить приведенную ниже программу по своим потребностям. Например, удастся повысить надежность связи, если настроить модем так, чтобы номер абонента набирался несколько раз, до тех пор пока сообщение не будет получено. При необходимости можно задать условия выхода из программы (нажатие на определенную клавишу, заданное количество звонков и т.д.).

cls	' Очистка экрана
open «com2:2400, 0, 7 , 2» as #1	' Открытие последовательного порта
print#1, »AT Z»	' Инициализация модема
print#1, »AT &F F3 Q0 V1 X4 &C1 &D2 S0=0»	' Переход в стандартный режим
print#1, »ATM2»	' Динамик включен
start:	' Считывание из последовательного
	' порта (в первый раз)
If lof(1)<>256 then carrecus	' Ожидание передачи слов от модема
goto start	' Отсутствие слова => повторение
	' считывания
carrecus:	'
input#1, i\$	' Считывание из порта
if i\$=>»RING» then appel	' Есть звонок?
goto start	' Нет
appel:	'
appels=1	' Есть звонок =>
delay 300	' Ожидание 5 минут
	' после первого звонка
appel2:	' Следующий звонок через 5 минут
if lof(1)<>256 then traite	' Считывание поступивших слов
input#1, i\$	' в течение 5 минут
If i\$ =>»RING» then appels=appels+1	' Есть звонок?
goto appel2	' Да



traite:	,
if appels<3 then start	'Если число звонков меньше 3
if appels>3 then start	'или больше 3 => выход
print#1,»ATDTW0123456789,,,:H»	'Набрать 01 23 45 67 89, немного
	'подождать, затем положить трубку
	'(Команда H)
goto start	,

## СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

В информационной системе, сколь бы совершенной она ни была, результат выполняемой элементарной операции сводится к наличию или отсутствию на выходе напряжения заданного уровня (что интерпретируется как 1 или 0). Эти двоичные элементы соединяются с другими, образуя слово. Наиболее старые компьютеры, так же как и подавляющее большинство современных микроконтроллеров, манипулируют восьмибитными словами, которые также называются байтами. Новейшие системы работают с 32-битными словами, что наряду с очень высокими рабочими частотами резко расширяет их возможности. Но следует помнить, что даже в эпоху мультимедийных систем элементарные операции все равно сводятся к двоичным вычислениям.

Листинг (текст, написанный на специальном языке) любой программы содержит команды для микропроцессора, а также исходные данные и операторы. Как правило, во всех этих элементах программы используется шестнадцатеричная система счисления. Минимизированная форма записи одного байта состоит из двух знаков, за которыми следует буква H. Это правило должно строго соблюдаться во избежание путаницы с другими системами счисления. Таким образом, число 48 имеет совершенно другое значение, чем 48H. Кроме того, шестнадцатеричное число следует обозначать при помощи двух цифр. Например, числа 0H и 00H обозначают одну и ту же величину, но список, состоящий из множества чисел, написанных разными способами, при преобразованиях приобретает трудночитаемый вид (рис. 4.1).

Следует иметь в виду, что программисту иногда приходится манипулировать числами из разных систем счисления. К этому прибегают либо для облегчения считывания, либо по необходимости: например, нужно задать однобитный код входа/выхода (0 для входа и 1 для выхода). На рисунке показано, как преобразовать двоичное число в шестнадцатеричное, заполняя отдельные ячейки нулями или

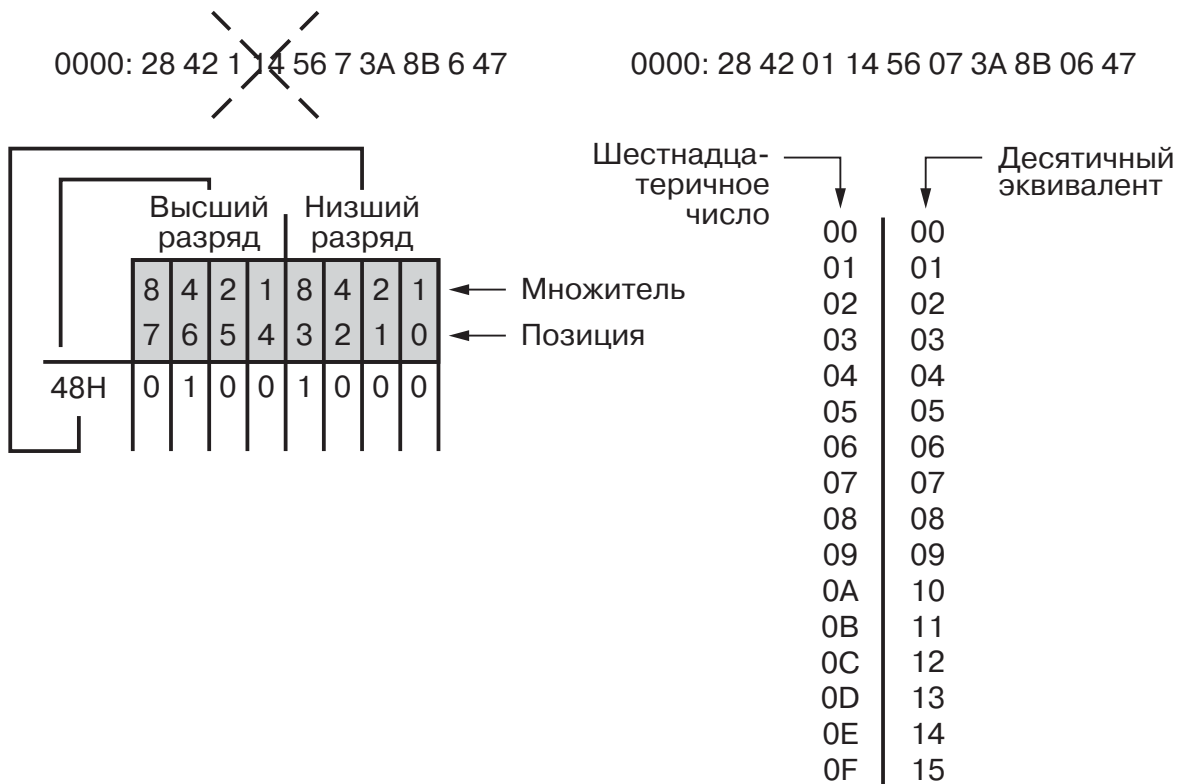


Рис. 4.1

единицами и присваивая затем каждой единице значение из соответствующего столбца.

Преобразование шестнадцатеричного числа в десятичное состоит в умножении десятичного эквивалента первого знака на 16 и добавлении к нему десятичного эквивалента второго знака. Таким образом, 48H равняется  $64 (4 \times 16) + 8$ , то есть 72. Для обратного преобразования (из десятичной системы в шестнадцатеричную) десятичное число нужно разделить на 16, вычесть первый знак (целую часть от деления) и умножить остаток на 16. Таким образом, десятичное число 249 в шестнадцатеричной системе записывается как F9H, поскольку  $249/16 = 15,5625$ , откуда вычитается первый знак (F, то есть 15 в десятичной системе), а затем остаток 0,5625 умножается на 16, что дает в результате 9.

Другие преобразования вытекают из основных операций, рассмотренных выше. Например, число 249 или F9H в двоичной системе принимает вид 11111001, поскольку F соответствует  $15 = 8 + 4 + 2 + 1$ , а 9 =  $8 + (0 \times 4) + (0 \times 2) + 1$ . Для тренировки можно поупражняться с таблицей преобразований, а также с таблицей кодов ASCII для наиболее распространенных символов.

## IBM-СОВМЕСТИМЫЕ ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

### Добавление микросхем ЗУ

Увеличить объем оперативной памяти IBM-совместимого компьютера несложно – достаточно добавить на его материнскую плату несколько колодок с микросхемами ЗУ (это небольшие печатные платы со специальным разъемом, к которым припаяны интегральные КМОП схемы).

Как правило, материнскую плату не оснащают одной колодкой и не добавляют их по одной. Например, увеличение памяти на 16 Мбайт необязательно будет успешным при добавлении одной колодки с микросхемами емкостью 16 Мбайт, так как одна колодка может быть не распознана компьютером. Лучше добавить две идентичные колодки по 8 Мбайт.

Убедиться в успешной установке можно во время тестирования памяти компьютером, что происходит сразу после включения. В случае неудачи прежде, чем разбирать схему, стоит проверить конфигурацию или попытаться настроить ее с помощью программы установки SETUP (войти в программу обычно можно на стадии загрузки операционной системы, нажав на клавишу **Delete**). Иногда для решения проблемы достаточно всего-навсего установить нужные значения.

### Звуковые сигналы при загрузке компьютера

При включении питания, если тестирование узлов не выявляет каких-либо неполадок, IBM-совместимый компьютер выдает одиночный звуковой сигнал. Если на этой стадии возникают проблемы, но устройство отображения (монитор и видеокарта) функционирует нормально, на экране появляется сообщение о причине сбоя.

Если изображение отсутствует, компьютер выдает код ошибки в виде ряда звуковых сигналов, состоящего из трех серий, причем каждая серия содержит в себе от одного до четырех сигналов. Например, код 1-3-3 означает, что подается один сигнал, далее следует пауза, затем звучат три сигнала друг за другом, пауза и снова три сигнала подряд.

Такие коды, как правило, не стандартизированы. Кроме того, в последних моделях компьютеров подобные сигналы используются реже. Поэтому рекомендуется еще до появления проблем ознакомиться с технической документацией или проконсультироваться с поставщиком компьютера. Ниже приведены примеры кодов некоторых часто используемых звуковых сигналов:

- 1 – тестирование прошло нормально, ошибок не обнаружено;
- 1-1-4 – ошибка в ПЗУ BIOS (серьезная);
- 1-3-1 – сбой в системе охлаждения ОЗУ (проверить колодку HS);
- 3-2-4 – ошибка при проверке драйвера клавиатуры (сменить клавиатуру?);
- 3-3-4 – сбой при проверке памяти монитора (неисправна видеокарта?);
- 3-4-1 – сбой при инициализации монитора (неисправна видеокарта?).

## Материнская плата с напряжением питания 5 В

Долгое время напряжение питания микропроцессоров, используемых в IBM-совместимых компьютерах, оставалось равным 5 В. Затем по некоторым причинам, главным образом для уменьшения мощности, потребляемой переносными компьютерами, это напряжение снизилось до 3,5, а потом и до 3,2 В. Иногда оно может принимать самые различные значения.

Разумеется, в соответствии с этими нововведениями были модифицированы и материнские платы. Некоторые из них оснастили надлежащим образом задолго до того, как низкие напряжения питания стали частым явлением. Однако многие платы (ради снижения стоимости) были рассчитаны только на напряжение 5 В и лишены стабилизатора для понижения напряжения.

Сегодня, когда встает необходимость обновить микропроцессор, возникают сложности с платами предыдущих поколений. Почти все современные процессоры работают при низком напряжении питания, которое указывается на корпусе. В противном случае поставщик обязан предупредить покупателя.

Прежде чем решиться на приобретение бывшей в использовании материнской платы с рабочим напряжением на 5 В, следует уточнить, есть ли на ней свободное место рядом с микропроцессором. Речь идет о серии контактных площадок, предназначенных для размещения микросхемы стабилизатора в корпусе типа TO220 (в горизонтальном положении), а также нескольких резисторов. Иногда удастся найти место и для колодки двухрядных разъемов, в которые можно вставить одну или несколько перемычек для выбора нужного напряжения питания. Модель LT1086CT, приведенная на рис. 4.2, принадлежит к категории стабилизаторов, способных обеспечить

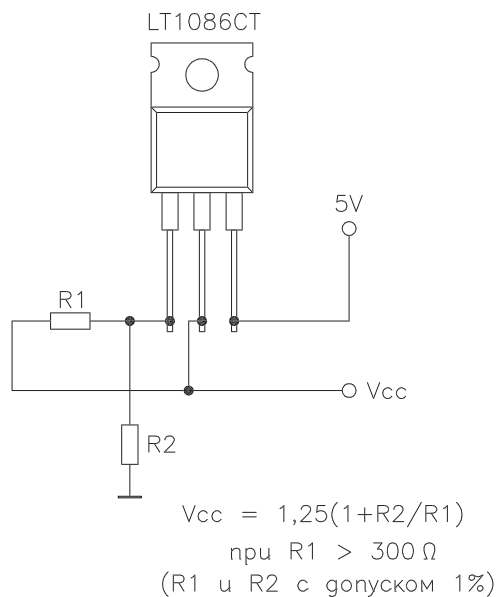


Рис. 4.2

требуемое выходное напряжение при входном напряжении 5 В.

Модель LM317 и ряд других не могут работать при столь низком напряжении на входе. Необходимо тщательно исследовать плату, чтобы точно определить нужный тип стабилизатора. Для его монтажа и настройки можно воспользоваться приведенной схемой. При необходимости допустимо изменять напряжение на выходе стабилизатора, переключая резисторы с помощью переключек. Правильность расчетов нужно обязательно проверить по имеющейся документации.

Напряжение должно соответствовать значению, установленному для данного микропроцессора. Рекомендуется испытать стабилизатор, собранный на экспериментальной плате, прежде чем приступить к его окончательному монтажу. Стабилизированное напряжение должно оставаться неизменным в режиме без нагрузки и с нагрузкой при токах порядка 1 А.

Имея дело со столь сложной печатной платой, все монтажные работы необходимо выполнять крайне осторожно (плату следует отключить и вынуть из корпуса). Первое включение материнской платы производят без микропроцессора, чтобы проверить работоспособность схемы. Если напряжение питания хотя бы незначительно отличается от нужного значения, это может затруднить доступ к некоторым периферийным устройствам (в частности, к монитору) после процедуры инициализации, выполняемой при включении компьютера.

## Жесткий диск

Современные материнские платы могут автоматически распознавать большинство периферийных устройств, подключенных к компьютеру, в частности жесткий диск (или диски). При обращении к программе SETUP (раздел, посвященный жесткому диску) можно увидеть, что жесткий диск обычно признается специальной моделью. Материнские платы типа «Plug and Play» («включай и работай») автоматически заполняют нужные рубрики, а для более ранних моделей выбор параметров диска производится вручную.

В любом случае полезно выписать параметры жесткого диска и наклеить памятку на корпус прибора.

Материнская плата и микропроцессор не вечны, и вполне возможно, что рано или поздно придется подключать старый жесткий диск к другому компьютеру. Без упомянутой предосторожности, особенно если жесткий диск распознавался автоматически, не останется практически никакой возможности определить его параметры. Крупные производители иногда указывают нужные показатели на корпусе прибора, но в подавляющем большинстве случаев эти данные на диске отсутствуют. Пример маркировки жесткого диска приведен ниже:

Cyln	Head	Wpcom	Lzone	Sect	Size
1057	16	65535	1057	63	520 Mb

## СТИРАЕМЫЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Работа некоторых устройств памяти, в которых информация стирается оптическим способом диапазона УФ, может нарушиться при наличии яркого света вблизи окна стирания. Это справедливо для стираемых программируемых постоянных ЗУ и для микроконтроллеров.

И солнечное, и искусственное освещение одинаково опасны, но чаще всего, особенно на стадии доводки устройства, рабочий стол ярко освещается искусственным светом. Поэтому из предосторожности следует всегда закрывать окно стирания непрозрачной наклейкой. Во время программирования достаточно прикрывать окно обычным ластиком. Некоторые полезные замечания по программированию ЗУ сделаны в главе 2, в разделе «Программируемое постоянное запоминающее устройство».

## ФОРМАТЫ ФАЙЛОВ

Программирование микроконтроллера или ПЗУ практически всегда проходит через стадию сохранения двоичного файла в одном из наиболее распространенных форматов.

Существует три таких формата, два из которых были разработаны производителями микропроцессоров. Самым простым является собственно двоичный формат, в котором байты сохраняются один за другим в форме последовательности. Он воспринимается многими программами, но для него не существует стандартного расширения, которое добавляется к имени файла при его сохранении. Часто используется расширение .bin, но оно не является универсальным. Два



другие распространенных формата, созданных компанией Motorola, – это формат S19 (расширение .s19) и так называемый формат Intel (расширение .hex). В этих форматах данные сохраняются в форме кода ASCII и обычно через каждые 16 байт добавляется контрольная информация (checksum – проверка суммы). Для ее формирования выполняется сложение этих байтов. Результат сложения, превышающий FFH, делится на 256 или 16 (в зависимости от формата) и в соответствующем виде сохраняется в начале или в конце строки. Каждая строка предваряется адресом, по которому байты строки будут располагаться в ЗУ. В этих условиях размер сохраняемого файла во многом зависит от структуры программы. Например, если объем ЗУ равен 8 Кб, то для сохранения 10 байт полезной информации при компактном размещении данных потребуются файл размером 8 Кб в двоичном формате и приблизительно 25 байт в других форматах. В этом случае файл будет содержать адрес, за которым следует 10 байт информации, предназначенной для хранения.

На практике обычно выбирают один из двух более совершенных форматов – скорее, по причине их стандартизации, а не из-за других свойств, которые в конечном итоге обеспечивают лишь незначительную экономию объема памяти при разработке небольших программ.

Рассмотрим представление информации в различных форматах. Пусть устройство памяти объемом 8 Кб должно содержать по адресу 0100H следующие 16 байт:

9B A6 FF B7 04 B7 05 A6 F7 B7 06 11 00 15 00 13

В двоичном формате файл займет 8192 байт, включая 256 (FFH) пустых байтов, после которых размещаются 16 байт данных, и затем опять 7920 пустых байтов.

В формате S19 файл будет записан таким образом:

S11130100		9BA6FFB704B705A6F7B706110015001		3A5
адрес		данные		контрольная сумма

В кодах ASCII получим последовательность, занимающую в шестнадцатеричной форме 43 байта:

53 31 31 31 33 30 31 30 30 39 42 41 36 46 46 42 37 30 34 42 37 30 35 41 36 46  
37 42 37 30 36 31 31 30 30 31 35 30 30 31 33 41 35



Эквивалентная запись в формате Intel имеет вид:

10010000	9BA6FFB704B705A6F7B706110015001	3A1
адрес	данные	контрольная сумма

Соответствующая последовательность кодов ASCII в шестнадцатеричной форме займет 42 байта:

```
31 30 30 31 30 30 30 30 39 42 41 36 46 46 42 37 30 34 42 37 30 35 41 36 46 37
42 37 30 36 31 31 30 30 31 35 30 30 31 33 41 35
```

## ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОЕ ОПЕРАТИВНОЕ ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Сохранение данных в устройстве памяти при отключении напряжения питания можно обеспечить путем использования специальных компонентов. В случае применения классических компонентов оперативной памяти тот же результат достигим при организации бесперебойного питания ЗУ.

В первом варианте используются постоянные ЗУ, представляющие собой программируемые устройства, в которых информация стирается не оптическим, а электрическим способом. Недостатками таких ЗУ являются относительная сложность их применения (требуется специальное программное обеспечение, рассматриваемое ниже), довольно большое время доступа, недостаточная емкость наиболее распространенных моделей и высокая стоимость.

Есть микросхемы энергонезависимых ОЗУ, которые в своем несколько увеличенном корпусе содержат статическую память и одну или две батарейки питания. В этом случае основным недостатком также является высокая стоимость и невозможность замены израсходованных батареек. Следует, однако, отметить, что батарейки теоретически имеют очень большой срок службы.

В технической документации указывается, что подобные ЗУ можно монтировать в существующие системы, но в действительности это достаточно рискованно, поскольку в момент снятия напряжения (или при его повторном включении) возможно появление ошибочной записи. Поэтому разумнее использовать классические схемы статических ЗУ на дискретных элементах или (что предпочтительнее) монолитные ИС.

Имеется много схем, контролирующих напряжение питания, которые при необходимости переключают устройства на питание от батарейки или аккумулятора, а также обеспечивают управление логическими сигналами, запрещающими некоторые операции в режиме автономного питания. На рис. 4.3 приведен пример использования одной из таких схем, а именно микросхемы MAX690.

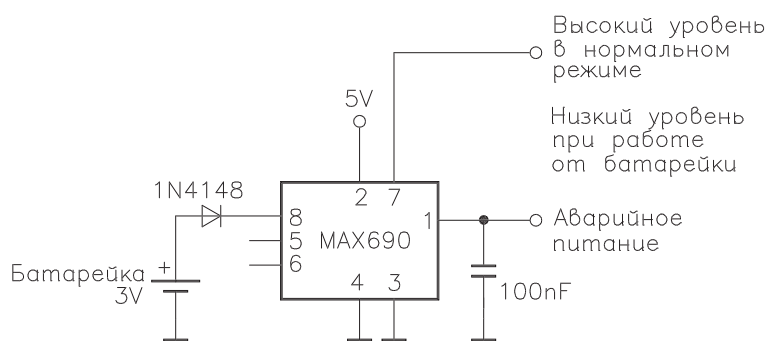


Рис. 4.3

При необходимости (если используется достаточно мощная батарейка) аварийным питанием можно обеспечить не только элементы памяти, но и все компоненты устройства. Микросхемы ОЗУ выбираются из многочисленных существующих типов (6116 и др.), изготовленных по КМОП технологии, с различными размерами корпуса. При переходе в режим питания от батарейки логический сигнал низкого уровня с вывода 7 микросхемы MAX690 поступает на определенный вход ЗУ и запрещает всякий доступ к нему. Имеется в виду вход выбора кристалла CS или соответствующий дополнительный вход при инвертировании сигнала. Для более сложных вариантов адресации иногда необходимо добавить нескольких логических вентилях.

Рассмотренная небольшая схема успешно обеспечивает бесперебойную работу встроенной энергонезависимой памяти. Если вместо батареек используется аккумулятор, потребуется дополнительное зарядное устройство.

## НАЧАЛЬНАЯ УСТАНОВКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Начальная установка микропроцессора или микроконтроллера – важная стадия работы, от которой зависит нормальное выполнение программы. Даже кратковременное отключение напряжения питания должно вызывать перезапуск устройства (если отсутствует резервное питание, например батарейное). Тогда схема типа MAX690,

как было показано выше, успешно генерирует управляющий импульс. Простой операционный усилитель, включенный по схеме компаратора напряжения (рис. 4.4), также может генерировать сигнал установки в исходное состояние.

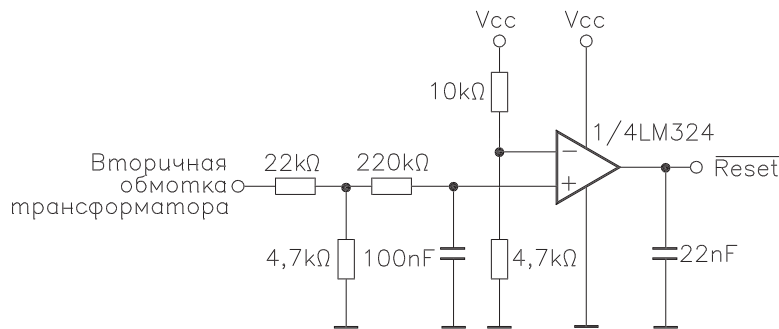


Рис. 4.4

На инвертирующий вход усилителя подано фиксированное опорное напряжение. К другому входу подключена интегрирующая цепочка, на которую подается переменный сигнал с выходной обмотки трансформатора источника питания. Как только отключается напряжение питания, потенциал на выходе схемы переключается от высокого уровня к низкому. Это переключение происходит за время полупериода сетевого напряжения, то есть задолго до того, как конденсаторы фильтра источника питания успеют разрядиться. Полученный таким образом управляющий сигнал обеспечит своевременную установку процессора в начальное состояние.

Параметры резисторов входных делителей, приведенные на рис. 4.4, соответствуют напряжению 9 В на выходе трансформатора и напряжению питания  $V_{cc} = 5$  В. Эти параметры корректируются в зависимости от характеристик реальной схемы.

## ТИПОВЫЕ ПОДПРОГРАММЫ

Ниже приводятся листинги нескольких подпрограмм, обеспечивающих взаимодействие между микроконтроллером и распространенными периферийными устройствами. Приведены также примеры протоколов коммуникаций и логических функций. При этом используется язык, разработанный фирмой Motorola. Он имеет высокую степень совместимости с программным обеспечением микроконтроллеров типа 6805 и 68HC11. Рекомендуется обратиться к справочному изданию производителя, что поможет лучше понять используемые команды.

Существуют эквивалентные команды и для других микроконтроллеров, что дает возможность «подгонять» программы для устройств различных типов. Для управления встроенными устройствами входа/выхода при необходимости применяются специальные команды в двоичных кодах. При использовании независимых периферийных устройств эти команды заменяются эквивалентными инструкциями, хранящимися в ячейках памяти по определенному адресу. Такие инструкции обычно представляют собой подпрограммы, заканчивающиеся командой возврата в точку основной программы, которая следует за точкой вызова.

Используемые переменные, указанные в начале листинга подпрограммы, должны быть объявлены в основной программе, как и функции управления для коммуникационных портов. Тактовая частота кварцевого генератора для модели 6805 составляет, как правило, 4 МГц.

### Последовательный ввод данных

Приведенная ниже подпрограмма позволяет принять байт информации в формате RS232, приведенном к уровню сигнала 0–5 В (5 В в режиме отсутствия сигнала), со скоростью 9600 бод. Особенности последовательной передачи данных также рассматриваются в главе 2, раздел «Последовательный интерфейс».

Слово поступает на вход прерывания микроконтроллера, используемый в данном случае для считывания информации (при отключенном режиме прерывания). Результат операции содержится в переменной <pushrs>. Подпрограмма начинается с цикла ожидания (rsin1), из которого невозможно выйти без изменения состояния линии прерывания. Основными операциями являются задание длительности выполнения команд и логический сдвиг влево (lsl), позволяющий заполнять байт последовательно, бит за битом, по мере прихода сигналов. Подпрограмма temprs2 осуществляет задержку на 76,5 мкс, откалиброванную с помощью кварцевого генератора с рабочей частотой 4 МГц. Имеется возможность производить подстройку как по частоте кварцевого генератора, так и по скорости передачи данных. Ниже приведен листинг подпрограммы.

Используемые переменные: pushrs и pushrs2.

\* Подпрограмма для последовательного ввода int, 9600,n,8,2

\* Результат в pushrs

```
rsin      clr    pushrs      ;
rsin1     bih    rsin1       ;Ожидание запуска
```

```

        jsr     temprs2    ;Задержка запуска + половина
        jsr     temprs2    ;от b0
        nop
        nop
        ldx     #01        ;Подготовить b0
rsin2    stx     pushrs2    ;
        bil     rsin4       ;bx = 0?
        lda     pushrs      ;Здесь bx в 1=> ряд
        add     pushrs2     ;
        sta     pushrs      ;
rsin3    jsr     temprs2    ;
        jsr     temprs22    ;Вызов от 2RTS
        jsr     temprs22    ;
        nop               ;Задержка
        lslx          ;Следующий бит
        cpx     #00        ;Последний ?
        bne     rsin2       ;Нет=>цикл
        rts              ;Да=>конец
rsin4    bra     rsin5       ;Здесь бит x в 0=>
rsin5    nop               ;Задержка
        nop
        bra     rsin3       ;Цикл
temprs2  lda     #016       ;Задержка 76,5 мкс
temprs21 decb             ;
        bne     temprs21    ;
        decb             ;
        nop              ;
        nop              ;
temprs22 rts               ;

```

## Последовательный вывод данных

Подпрограмма предназначена для вывода в форме последовательности байта, содержащегося в переменной `pushrs`. Характеристики передачи те же, что и в предыдущем случае.

Выходная последовательность передается по одной из линий встроенного порта входа/выхода, соответствующей в данном случае седьмому биту порта С (что легко изменить). В режиме молчания линия находится в состоянии с высоким потенциалом и должна оставаться в нем до вызова подпрограммы. Основные операции те же: задание длительности выполнения команд и сдвиг влево. Дополнительным регистром (`x` или `index`) ведется подсчет числа отправленных битов, его содержимое следует сохранить до вызова подпрограммы (если это важная информация). Нужно также иметь в виду, что исходное значение переменной `pushrs` изменится, его нельзя

будет восстановить. Ниже приведен листинг рассмотренной подпрограммы.

Используемая переменная: pushrs.

\* Подпрограмма для последовательного вывода 9600, n, 8, 2 по PC7

\* ! PC7 в 1 в 1'Init

```

rsout      sta      pushrs      ;
           cirx      ;
           bclr      7, portc    ; Пуск
           bsr       temprs      ; 92,5 мкс
           bclr      7, portc    ; +2
           bra       rsout1      ; +2
rsout1     brclr     0, pushrs, rsout2 ;
           bset      7, portc    ;
           bra       rsout3      ;
rsout2     bclr      7, portc    ;
           bra       rsout3      ;
rsout3     bsr       temprs      ;
           ror        pushrs     ;
           incx      ;
           cpx       #08         ;
           bne       rsout1      ;
           bset      7, portc    ; Стоп
           bsr       temprs      ; 92,5
           bsr       temprs      ; +92,5
           bsr       rsout4      ; +6
           bsr       rsout4      ; +6
           bsr       rsout4      ; +6
           bset      7, portc    ; +2,5
           bset      7, portc    ; +2,5=208 мкс
rsout4     rts          ;
temprs     lda #10         ; Задержка 92,5 мкс
temprs1    deca          ;
           bne       temprs1     ;
           deca          ;
           rts          ;

```

Следует отметить, что в двух рассмотренных выше случаях подпрограммам не всегда нужна адаптация к уровням напряжения, соответствующим стандарту RS232, особенно когда они должны лишь обеспечить коммуникацию между двумя процессорами, расположенными на одной плате. Однако в этом случае могут понадобиться дополнительные линии для ведения диалога, чтобы четко определить, какой из процессоров ведущий, какой – ведомый или они равноправны.

## Аналого-цифровой преобразователь с РС-цепочкой

Эта короткая подпрограмма необходима для работы аналого-цифрового преобразователя, описанного в главе 2, раздел «Аналого-цифровое преобразование».

Выход компаратора соединен со входом прерывания, в то время как по линии, соответствующей седьмому биту порта А, выдается импульс переменной ширины. Здесь для увеличения ширины импульса снова используется длительность выполнения команд `add #0` и `bra in1`. При появлении ошибки измерения (слишком высокое напряжение) выдается сообщение в виде кода FFH. Результат преобразования помещается в регистр А. Ниже приведен листинг подпрограммы.

Используемая переменная: А (имя регистра).

```
In      clra          ;Обнуление результата
In1     bset          7,porta ;Фронт импульса
        bil          in2     ;Компаратор переключен?
        add          #01     ;Нет
        bcs          in3     ;Результат>255?
        bra          in1     ;
in2     bclr          7,porta ;Здесь конец=>
        rts          ;Импульс≠0
in3     lda          #0FF    ;Ошибка
        bra          in2     ;
```

## Управление символьным индикатором

Речь идет об управлении алфавитно-цифровым индикатором с одной или двумя строками с помощью восьмибитного сигнала. Различные специальные команды уже рассматривались в главе 2.

Контроль за тремя управляющими сигналами Е, RW и RS обеспечивается по линиям 0, 1 и 2 порта В, в то время как данные проходят через порт А. Последовательность поступления сигналов соответствует инструкциям разработчиков. Для некоторых команд она имеет увеличенную временную задержку. Код отправляемой команды должен быть размещен в регистре А перед вызовом подпрограммы. Ниже приведен листинг подпрограммы.

Используемая переменная: `push3`.

```
Commande  bclr          2,portb ;RS в 0
          bset          0,portb ;Е в 1
          sta          porta    ;Данные на ЖКД
```



```

        bclr      0,portb      ;Е в 0
        bsr       sl20         ;Задержка 120 мкс
        cmp       #02         ;Если команда<=1=>5 мс
        bhi       commande2   ;
        lda       #29         ;29H=41D
commande1 bsr       sl20         ;41 × 120 мс = 5 мс
        decr      ;
        bne       commande1   ;
commande2 rts                ;
sl20      stx      push3       ;
        ldx      #28         ;Задержка ~120 мкс
sl201     decr      ;
        bne sl201           ;
        ldx push3           ;
        rts                ;

```

Эта подпрограмма предназначена для отправки единичного символа, а не команды.

```

car       bset     2,portb     ;RS в 1
        bset     0,portb     ;Е в 1
        sta      porta        ;Символ на ЖКД
        bclr     0,portb     ;Е в 0
        bsr      S120         ;Задержка 120 мкс
        rts                ;

```

Данная подпрограмма, напротив, нужна для отправки целого слова, в конце которого стоит код FFH.

```

mot       bset     2,portb     ;RS в 1
        lda      table1,x     ;Захват символа
        cmp      #0FF         ;FF?
        beq      mot1         ;Да =>конец
        bset     0,portb     ;Е ≠ 1
        sta      porta        ;Символ на ЖКД
        bclr     0,portb     ;Е в 0
        bsr      S120         ;Задержка 120 мкс
        incx     ;Следующий символ
        bra mot         ;Цикл
mot1      rts                ;

```

На данном этапе полезно возвратиться к разделу «Световые индикаторы» главы 2, чтобы просмотреть список наиболее распространенных команд управления алфавитно-цифровым индикатором.

## Цифровая система фазовой автоподстройки частоты

Данная подпрограмма прекрасно иллюстрирует возможности информатики: она используется для решения схемотехнической задачи скорее аналоговой, чем цифровой по своей сути.

Задача состоит в генерировании прямоугольного сигнала частотой 50 Гц, синхронизированного с внешним опорным сигналом (с напряжением сети) или, если опорный сигнал отсутствует, не синхронизированного. Для этого каждый полупериод сетевого напряжения длительностью 10 мс делится на 16 частей по 625 мкс. Основная программа представляет собой последовательность временных задержек на 625 мкс, в которую вставлены импульсы, управляющие счетчиком генерирования сигнала. Временная задержка может изменяться в пределах  $625 \pm 10$  мкс с шагом 2 мкс. Каждые 20 мс на спаде опорного сигнала генерируется импульс прерывания. В этот момент счетчик (переменная *per*) должен находиться в 16-й позиции. Таким способом корректируется длительность задержки для синхронизации сигнала генератора с напряжением сети.

Используемые переменные: *Push2*, *per*, *echant*.

Ниже приведен листинг подпрограммы прерывания, вызываемой каждые 20 мс.

```

inter    sta     push2      ;
         lda     per        ; Обнуление выборки
         cmp     #10        ; Синхронизация?
         beq     inter3     ; Да=>выход
         blo     inter1     ;
inter4    lda     echant     ; Восстановление выборки
         cmp     #00        ; 00?
         beq     inter2     ; Да=>выход
         dec     echant     ; Сокращение задержки
         bra     inter2     ; Цикл
inter1    lda     echant     ; Восстановление выборки
         cmp     #0A        ; 10?
         bhs     inter2     ; Да=>выход
         inc     echant     ; Увеличение задержки
inter2    rti              ; Конец
inter3    lda     push2      ;
         beq     inter2     ;
         bra     inter1     ;

```

Далее приведена часть подпрограммы формирования временной задержки. В начале основной программы переменная `echant` имеет значение 5. При выполнении программы она изменяется в диапазоне от 0 до 0АН (10D), что соответствует значениям частоты от 49,2 до 50,8 Гц с минимальной длительностью удержания частоты 400 мс.

```

ldx      echant      ;
jmp      tempol3,x   ;
tempol3  nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс (Здесь серия 50 Гц)
          nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс
          nop          ;2 мс
          rts         ;

```

## Умножение и деление в микроконтроллерах

В список выполняемых команд для некоторых микроконтроллеров входят умножение и деление. Их выполнение сводится к логическому сдвигу вправо или влево, иногда при необходимости также производится сложение или вычитание. Если регистр А содержит величину 08Н, то она удвоится (то есть достигнет 10Н) после выполнения следующей операции:

```
lsla      ;a x 2
```

Второй сдвиг влево приведет к новому умножению на 2 и, следовательно, к умножению на 4.

По аналогии с этим деление содержимого регистра А на 2 сводится к сдвигу вправо с помощью следующей команды:

```
lsra      ;a / 2
```

Если второй операнд является нечетным, то основную операцию необходимо дополнить сложением или вычитанием. Например, выражение  $8 \times 5$ , можно преобразовать следующим образом:  $8 \times (4 + 1)$  или  $(8 \times 4) + (8 \times 1)$ . Эти действия выполняются простым циклом операций:

```
lsla      ;a x 2
lsla      ;a x 4
inca      ;a x 5
```

В рассмотренных процедурах необходимо использовать логические операции не циклического, а линейного сдвига состояний в регистре. При каждой операции сдвига на одном конце регистра происходит выход бита, а на другом конце – вход. При этом значение входящего бита должно всегда равняться 0.

## Использование 16-битных адресов

Восьмибитные микропроцессоры и микроконтроллеры по определению могут оперировать только байтами и не способны использовать более длинные слова. Расширение их возможностей обеспечивает так называемый индексный регистр, который в сочетании с накопителем позволяет осуществлять перемещение по устройству памяти, ограниченному 256 адресами. Иногда этот предел достигается очень быстро, когда необходимо найти одно значение или блок данных в большой таблице. Однако обычно в оперативной памяти существует свободная область. В нее можно записать подпрограмму, один из параметров которой в нужный момент будет изменяться.

Применение команды `lda table` в расширенном виде позволяет считывать содержимое любого адреса размером 16 бит. Для ее записи требуется три байта. Первый байт задает код команды (записанный в регистре A), в данном случае D6H на языке Motorola. Два других байта содержат собственно адрес (в первом указывается старший разряд адреса, во втором – младший или наоборот, согласно стандартам изготовителя). Подпрограмма считывания адреса, расположенного в ячейке с именем `Rout`, имеет следующую структуру:

```
Rout      lda      Table
           rts
```

Если адресуемая ячейка расположена в ОЗУ, необходимо предварительно заполнить соответствующую область памяти. Данная процедура выполняется следующими командами:

```
lda      #D6
sta      Rout
lda      #00
sta      Rout+1
sta      Rout+2
```

```
lda    #81
sta    Rout+3
```

Эти команды записываются в программу инициализации устройства. В дальнейшем их использование сводится к вызову подпрограммы с нужными параметрами. Например, при считывании содержимого адреса 0178H процедура будет иметь следующий вид:

```
lda    01
sta    Rout+1
lda    78
sta    Rout+2
jsr    Rout
```

После возврата в основную программу регистр A содержит требуемые данные. При считывании таблицы нужно давать приращение сначала младшему разряду адреса, а затем, если нужно, старшему (при обнулении младшего разряда). Такую процедуру может существенно облегчить использование команды с переменным индексом типа `lda table + x`.

### **Контроль за нажатием клавиши**

В электронике при обработке операции нажатия на клавишу обычно принимаются меры против возможных сбоев, связанных с неполным (слишком кратковременным) нажатием. Аналогичный подход используется и в микропроцессорах.

Когда нажатие зафиксировано, запускается временная задержка порядка 20 мс, за которой следует новый тест состояния клавиши. Если она остается нажатой, выполняется соответствующая процедура и устройство «ждет», когда клавиша будет отпущена, чтобы продолжить выполнение программы. Если результат теста оказался противоположным, последующие действия зависят от того, какое нажатие предусмотрено для данной клавиши: длительное или кратковременное. В первом случае процедура, вызываемая нажатием, отменяется. Во втором случае она выполняется (по истечении времени задержки), после чего устанавливается режим ожидания нового нажатия.

В следующем примере по одной из линий коммуникационного порта (бит 0 порта A) выполняется считывание. При отсутствии сигнала линия имеет высокий потенциал. Предполагается, что считывание продолжается, пока не будет нажата клавиша и не выполнится подпрограмма, обеспечивающая заданное время задержки (20 мс).

```

appui    brset    0, porta, appui    ; Ожидание нажатия
          jsr      20 ms             ; Задержка 20 мс
          brset    0, porta, appui    ; Нажатие недействительно
appui1    brclr    0, porta, appui1   ; Ожидание отпускания

```

## Подпрограмма подачи звуковых сигналов

Обычно звуковой сигнал привлекает внимание сильнее, чем зажигание светового индикатора, поэтому звук часто используют для сообщения о сбоях в работе системы или о других событиях.

Простой зуммер (без встроенной электроники) в сочетании с несложной подпрограммой дает возможность генерировать большой набор различных сигналов. Вместо зуммера можно применять динамик, но он сложнее в обращении и занимает больше места. Генератор обеспечивает изменение уровня логического сигнала со звуковой частотой.

Некоторая сложность состоит в обеспечении (при необходимости) постоянной длительности звукового сигнала наряду с изменением частоты следования импульсов. В таком случае нужно задать общее число генерируемых импульсов в зависимости от частоты. Эту проблему можно обойти с помощью специально созданной таблицы длительностей. Если генерируемый сигнал соответствует стандарту RS232, его можно передать другому устройству через один из портов. При этом кроме подачи звукового сигнала появляется возможность предупредить внешнее устройство информационной системы о сбое.

В приведенной ниже подпрограмме для создания временных задержек в очередной раз используется длительность выполнения команд. Информация хранится в регистрах A и X; выходной сигнал подается на линию, соответствующую биту 1 порта A. Его частота составляет приблизительно 1000 Гц при длительности 250 мс.

```

grave     lda      AA              ; Установка длительности
grave1     bset     1, porta        ; Бит в 1
          jsr      0, 12 ms        ; Задержка
          jsr      0, 12 ms        ; Задержка
          bclr     1, porta        ; Бит в 0
          jsr      0, 12 ms        ; Задержка
          jsr      0, 12 ms        ; Задержка
          deca                     ; Длительность-1
          bne      grave1          ; Цикл
          rts                     ;

```

## Формирование временной задержки

Во многих приложениях в процессе работы используются подпрограммы временной задержки. Выполнение заданной задержки – обычная задача для микропроцессора, обладающего скоростью вычислений, которая значительно превосходит скорость протекания многих физических явлений.

Можно привести много примеров использования этой подпрограммы: задание частоты мигания светодиода, счет времени в часах или генерация калиброванных по длительности импульсов для самых различных целей – от запуска серводвигателя и до создания последовательности двоичных слов. При этом можно задавать различные временные промежутки: от нескольких микросекунд до многих часов.

Однако во всех случаях применяется принцип повторения (нередко многократного) одной или нескольких команд, задающих калиброванную базовую задержку. Таким образом, чтобы обеспечить ожидание в течение 20 мс, нужно 20 раз выполнить подпрограмму задержки на 1 мс или 200 раз повторить подпрограмму задержки на 100 мкс.

Многие процессоры содержат на кристалле таймер, обычно построенный на каскадном соединении делителей частоты. На его вход подается сигнал тактовой частоты. Управление таймером может включать разнообразные опции, например установку заданного начального значения, автоматический запуск по сигналу прерывания в конце счета или при подаче внешнего управляющего сигнала и др. Специальные функции таймера предназначены в основном для фиксации отрезков относительно большой длительности и не всегда просты в реализации. Поэтому разработчику часто приходится искать другие способы для осуществления нужных временных задержек.

В этих случаях очень важно иметь точные характеристики микропроцессора, чтобы знать длительность выполнения каждой из команд. Данные величины указываются в виде числа машинных циклов, равных, как правило, части периода тактового генератора. Так, для некоторого цикла в документации может быть указано время:  $t_{cycl} = 2t_{osc}$ . Это означает, что при рабочей частоте кварцевого генератора 2 МГц данный цикл будет длиться 1 мкс ( $2 \times 0,5$  мкс). Если команда `lda 48` выполняется за два цикла, она длится 2 мкс. Повторяя команду  $n$  раз, можно обеспечить временную задержку  $n \times 2$  мкс. Теперь следует вставить ее в цикл, который увеличит задержку



в нужное число раз. Поскольку речь идет о подпрограмме, продолжительность операций вызова и возвращения должна входить в общую временную задержку, как показано на рис. 4.5.

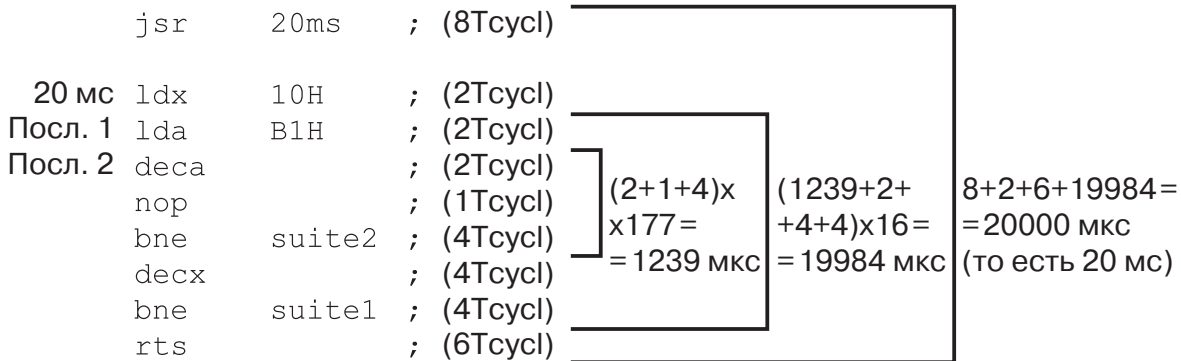


Рис. 4.5

Команда `nop` (операция без какого-либо действия) обеспечивает дополнительную задержку (1 мкс) с целью получения нужного результата. Наконец, следует добавить, что для формирования некоторых нестандартных длительностей можно воздействовать на частоту кварцевого тактового генератора, которая лежит в основе всех расчетов времени задержки.

## ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛА СИНХРОНИЗАЦИИ

Иногда для синхронизации операций измерения или счета необходимо использовать внешнее задающее устройство. Обычно опорный сигнал подается на вход прерывания микропроцессора. При этом не всегда нужно выполнять прерывание, иногда можно обойтись операцией простого программного считывания. Достаточно дождаться изменения состояния на входе и убедиться в том, что счетчик в этот момент показывает заданное значение.

Электрическая сеть – довольно точный источник задающего сигнала. При ее использовании обычно удастся исключить ошибки считывания, вызываемые внешними помехами. В регулирующих устройствах с широтно-импульсной модуляцией (см. главу 2, раздел «Широтно-импульсная модуляция») при наличии счетчика, синхронизированного с напряжением сети, можно управлять симистором в нужный момент без создания дополнительной схемы синхронизации.

Принцип запуска схемы синхронизации от сети подобен принципу генерации сигнала установки системы в исходное состояние

(см. раздел «Начальная установка микроконтроллера»). Отметим, что обе схемы могут сосуществовать в одном устройстве. Используемый в схеме стабилитрон ограничивает сверху напряжение, снятое с выхода трансформатора (перед диодным мостом), до величины, приемлемой для микроконтроллера (рис. 4.6).

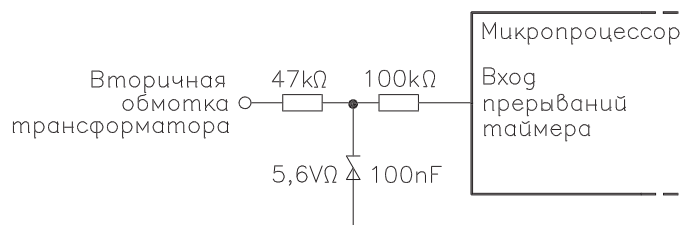


Рис. 4.6

Полученный прямоугольный сигнал подается на вход прерывания (или на другой вход) через резистор ограничения тока. При необходимости этот сигнал можно использовать в качестве опорного для внутреннего таймера.

## ОХЛАЖДЕНИЕ АППАРАТУРЫ

Современные микропроцессоры и микроконтроллеры потребляют значительно меньше энергии, чем модели предыдущих поколений. В некоторых случаях мощность уменьшилась в 50–100 раз. Одновременно с этим можно наблюдать впечатляющий рост возможностей и быстродействия электронных устройств.

Тем не менее мощность, рассеиваемая процессором, продолжает оставаться его важной характеристикой. Особенно это касается материнских плат IBM-совместимых компьютеров.

Часто вентилятор охлаждения закрепляется на корпусе процессора, который снабжен пластинчатым радиатором. В некоторых моделях предыдущих поколений (процессоры типа 486) для размещения вентилятора были предусмотрены только направляющие. Цена вентилятора сравнительно невелика, поэтому обычно его ставят на все микропроцессоры, работающие при напряжении питания 5 В. Рекомендуется регулярно чистить вентилятор и проверять его состояние. Во всяком случае, эти операции следует выполнять, если издаваемый вентилятором шум усиливается.

## СТОРОЖЕВАЯ СХЕМА

Сторожевая схема (Watch-dog – дословно «сторожевая собака») представляет собой устройство, контролирующее работу микропроцессора и вызывающее его перезагрузку при возникновении сбоя. Речь может идти о бесконечном программном цикле, вызванном ошибкой программирования, о сбоях, связанных с нестандартными обстоятельствами или с неисправностью (помехи, отказ источника питания и др.).

Как правило, сторожевая схема вводится в аппаратуру, когда сбой может привести к серьезным последствиям (например, при управлении силовыми элементами). Многие современные микроконтроллеры содержат устройство слежения, активизирующееся по запросу.

Принцип работы сторожевой схемы достаточно прост и требует минимального программного обеспечения. На одном из выходов микропроцессора должен быть сформирован одновитный сигнал, который может использоваться и для других целей. Для этого в ключевую точку программы нужно вставить подпрограмму, генерирующую в нормальном режиме непрерывную последовательность импульсов, которая прерывается при возникновении сбоя. Эти импульсы управляют работой одновибратора, выход которого соединен со схемой перезагрузки процессора. Постоянная времени одновибратора определяется параметрами RC-цепи и рассчитывается так, что превышение заданного временного промежутка между двумя импульсами вызывает переключение выходного сигнала. Таким образом, важна именно длительность временного промежутка, а не ширина импульса. Это обеспечивает определенную свободу выбора при создании программы.

Источником сигнала может служить любой генератор импульсов, которые вырабатываются в ходе нормальной работы процессора и следуют с регулярными интервалами (например, импульсы активизации индикатора или опроса клавиатуры). В период инициализации процессора сторожевая схема блокирована, пока не установится рабочий режим.

На рис. 4.7 представлена простая схема одновибратора, содержащая два транзистора, несколько резисторов и конденсаторов. Цепь R2/C2 соединена со схемой, обеспечивающей начальную установку процессора. Параметры элементов цепи должны соответствовать

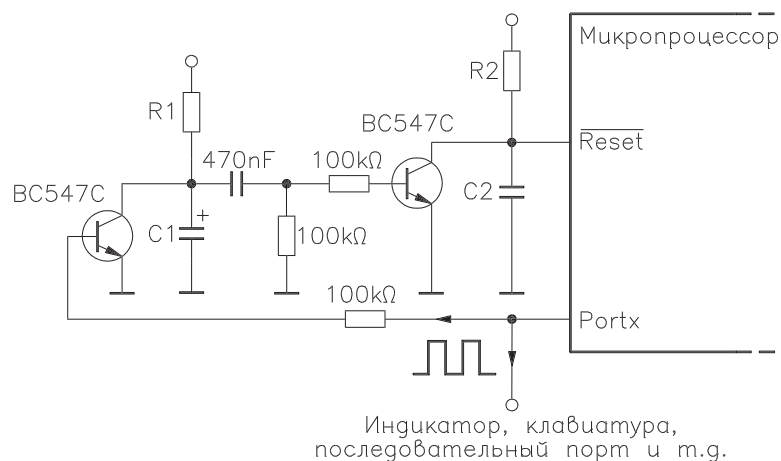
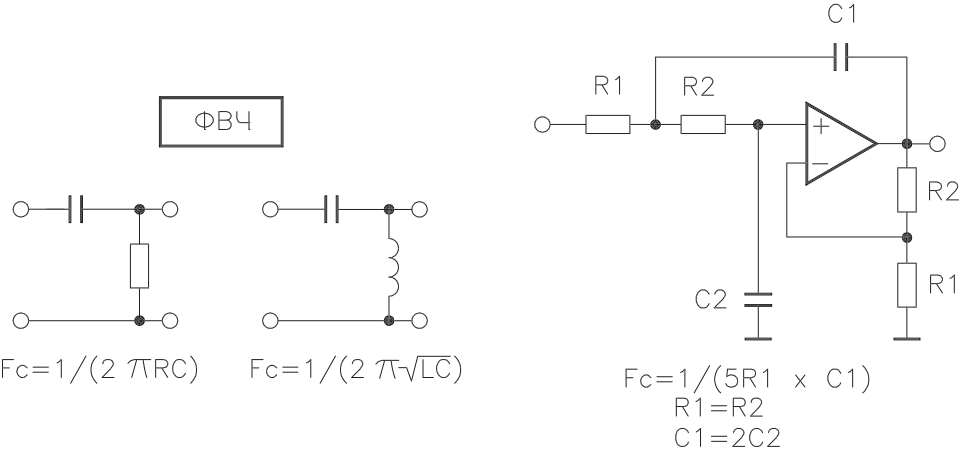


Рис. 4.7

техническим характеристикам процессора. Когда процессор запущен, транзистор Т1 замыкает конденсатор С1 с частотой поступающих на него импульсов. Если импульсы прекращаются, конденсатор заряжается через резистор R1, что вызывает повышение напряжения на базе транзистора Т2. При определенном уровне входного напряжения транзистор открывается, и конденсатор С2 быстро разряжается. Это приводит к появлению на выходе отрицательного сигнала, вызывающего перезагрузку процессора. Величины R1 и С1 рассчитываются так, чтобы их произведение значительно превышало период следования импульсов на входе схемы.

1	Конструирование и сборка электронных устройств	9
2	Разработка электронных схем	35
3	Тестирование. Измерения. Устранение неисправностей	67
4	Микроконтроллеры. Информатика	101

# 5 СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



## РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЫВОДОВ

- стандарт RS232: см. главу 2, раздел «Последовательный интерфейс»;
- разъем Centronics: см. главу 2, раздел «Цифро-аналоговое преобразование»;
- соединитель Peritel (он же SCART): рис. 5.1.

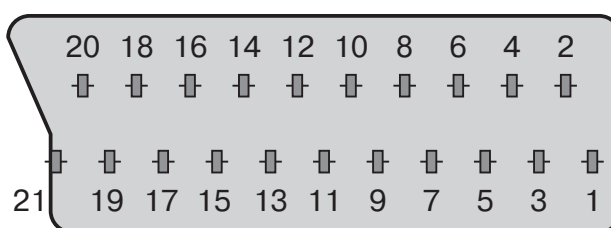


Рис. 5.1

Назначение выводов и уровень сигналов представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Номер вывода	Принадлежность	Сигнал
1	Аудиовыход, правый канал	0,5 В (эфф)
2	Аудиовход, правый канал	0,5 В (эфф)
3	Аудиовыход, левый канал	0,5 В (эфф)
4	Общий аудиоканала	
5	Общий синего канала	
6	Аудиовход, моно или левый канал	0,5 В (эфф)
7	Вход синего канала	75 Ом / 0–2 В
8	Вход медленного гашения	0 В = TV 12 В = Peritel
9	Общий зеленого канала	
10	Тактовый генератор	
11	Вход зеленого канала	75 Ом / 0–2 В
12	Дистанционное управление	
13	Общий красного канала	
14	Общий дистанционного управления	
15	Вход красного канала	75 Ом / 0–2 В
16	Вход быстрого гашения	
17	Общий видеоканала	
18	Общий быстрого гашения	
19	Видеовыход	75 Ом / 0–2 В
20	Вход видео или синхросигнала	75 Ом / 0–2 В
21	Экран	

## ТОКИ И НАПРЯЖЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

На рис. 5.2 представлены формулы для определения действующих (эффективных) значений сигналов различной формы. Эти формулы действительны как для токов, так и для напряжений. В них используются пиковые (максимальные) значения сигналов и коэффициент заполнения (величина, обратная скважности). Напомним, что при измерении синусоидального напряжения или тока индицируется действующее значение.

## СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ТЕЛЕФОННОЙ ЛИНИИ

Схема, представленная на рис. 5.3а, позволяет определить наличие вызова в телефонной линии. Варистор подавляет возможные помехи (перенапряжения), а конденсаторы отсекают постоянную составляющую напряжения.

При наличии звонка на выводах стабилитрона появляется переменный сигнал с амплитудой, достаточной для зажигания светодиода оптопары, подключенного через резистор 220 Ом. Выходной транзистор повторяет на эмиттере сигналы, которые поступают на вход. При этом гальваническая связь между телефонной линией и остальной частью схемы отсутствует. На интегрирующую цепочку 100 кОм / 4,7 мкФ подаются серии импульсов, которые она трансформирует в постоянное напряжение. Состояние на выходе операционного усилителя изменяется каждый раз, когда потенциал на его неинвертирующем входе превышает потенциал на инвертирующем входе. Таким образом, каждый звонок сопровождается переходом в состояние высокого выходного напряжения.

Несложно произвести подсчет звуковых сигналов, чтобы при заданном их числе занять линию, зажечь сигнальную лампу или подключить более мощный звонок. Операция занятия линии сопровождается пропусканием по ней тока определенной величины. К линии можно подключиться через резистор, однако на практике предпочитают использовать специальный трансформатор. Передаваемые по линии речевые сигналы или двоичные коды снимают с его вторичной обмотки.

С помощью трансформатора можно также выполнить обратную функцию, то есть ввести в линию НЧ или импульсные сигналы. Трансформатор подключается к линии через контакты реле, которым управляет внешняя логическая схема. Это подключение показано на рис. 5.3б. Операционные усилители служат для определения



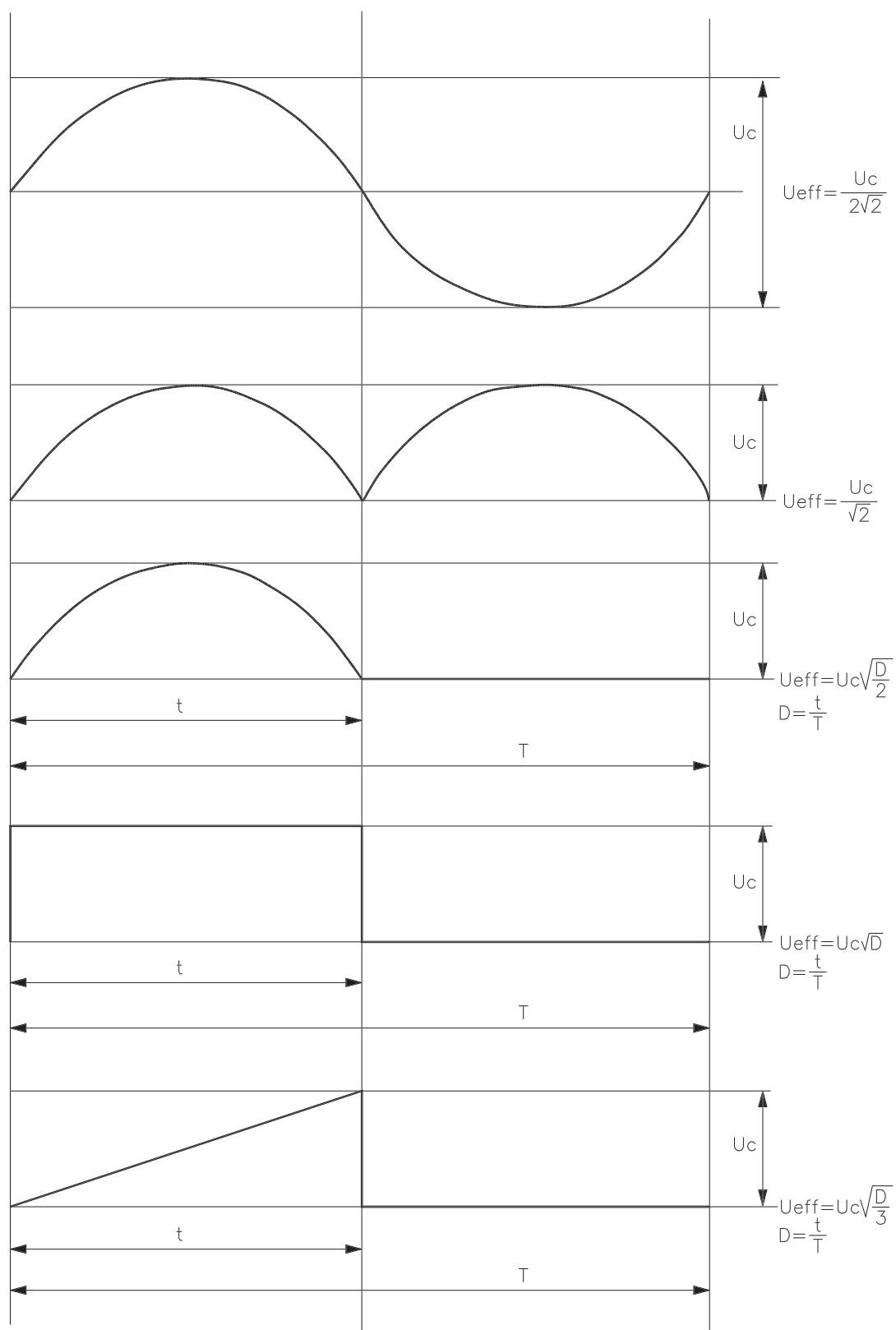


Рис. 5.2

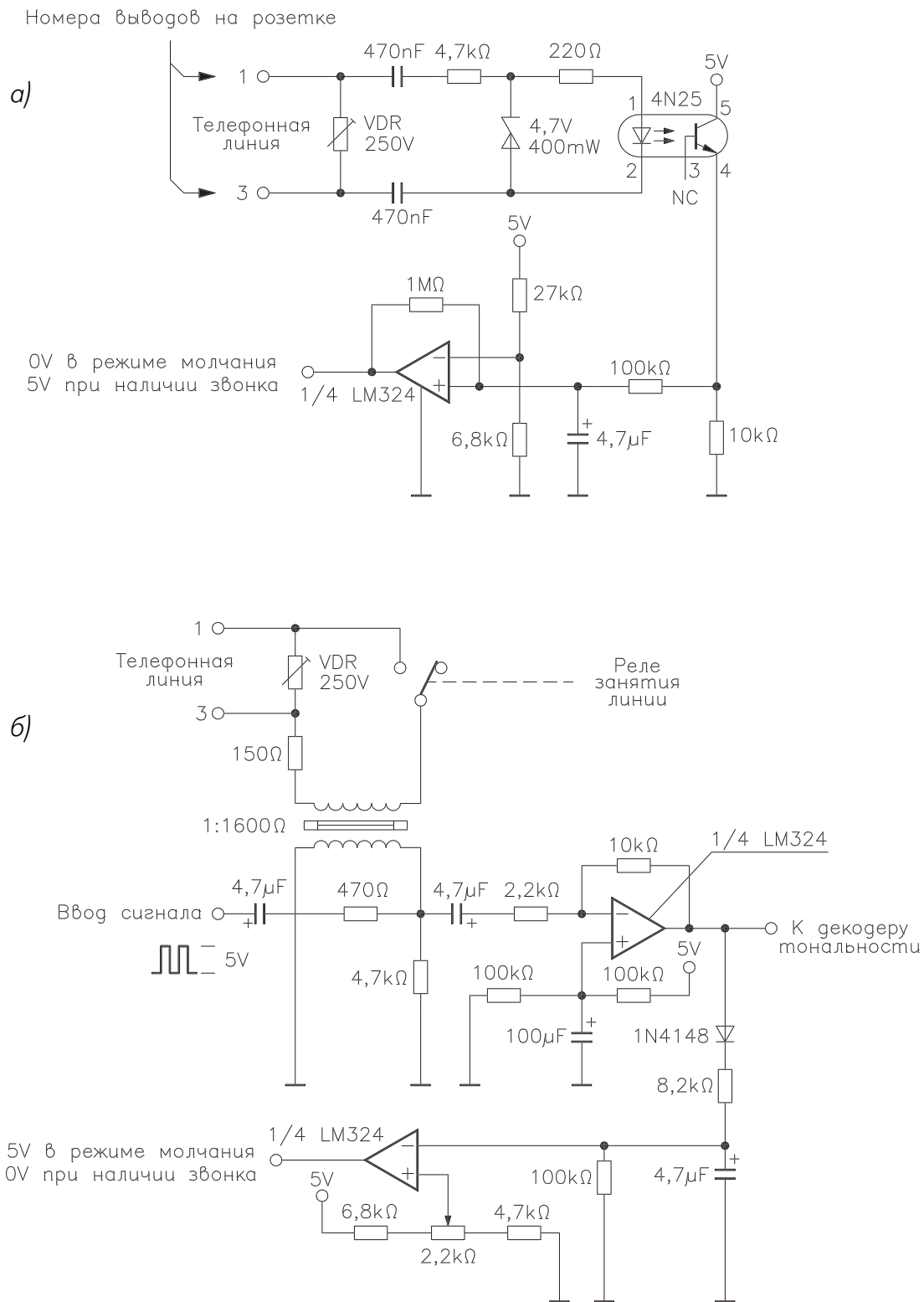


Рис. 5.3

того, нажата ли кнопка (любая) на аппарате звонящего. Чтобы можно было идентифицировать каждую из 12 или 16 имеющихся кнопок, понадобится специализированная интегральная схема (например, микросхема типа SSI202).

При самостоятельном изготовлении рассматриваемой схемы трансформатор можно снять с любого телефонного аппарата, даже неисправного. В таком случае до отпайки следует промаркировать первичную и вторичную обмотки. Для подключения к линии может с успехом применяться малогабаритное герконовое реле. Цепочка  $470\text{ Ом} / 4,7\text{ мкФ}$ , расположенная в левой части схемы, позволяет ввести в телефонную линию сигнал с амплитудой 5 В. Это могут быть как сигналы звонка, так и речевые сигналы.

Объединение двух рассмотренных частей образует полную схему подключения к телефонной сети, гальванически изолированную от линии. Несмотря на все ее достоинства, такую схему нельзя подключать к телефонной сети без необходимого разрешения и проверки на соответствие стандартам. Поэтому ее можно испытать на частной телефонной линии. Среди распознаваемых команд следует упомянуть команду, позволяющую занять телефонную линию. Однако определить наличие звукового сигнала невозможно. Для этого требуется устройство, содержащее микрофон, усилитель, компаратор напряжения и счетчик.

## КЛАССИЧЕСКИЕ ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА

Схемы, приведенные на рис. 5.4, представляют собой классические одновибраторы и мультивибраторы (генераторы прямоугольных импульсов).

В одновибраторах (рис. 5.4а,б) длительность выходного импульса не зависит от длительности импульса на входе. Первый одновибратор запускается положительным перепадом напряжения на входе, а второй – отрицательным. На рис. 5.4в представлен обычный мультивибратор, а на рис. 5.4г – мультивибратор с регулируемой длительностью импульсов. В схемах, представленных на рис. 5.4д,е, колебания возникают при подаче на вход логического сигнала соответственно низкого и высокого уровня. Мультивибратор на двух транзисторах (рис. 5.4ж) используется в низкочастотных устройствах. Такая схема может непосредственно управлять элементами со значительным потребляемым током, например лампочками или реле, которые

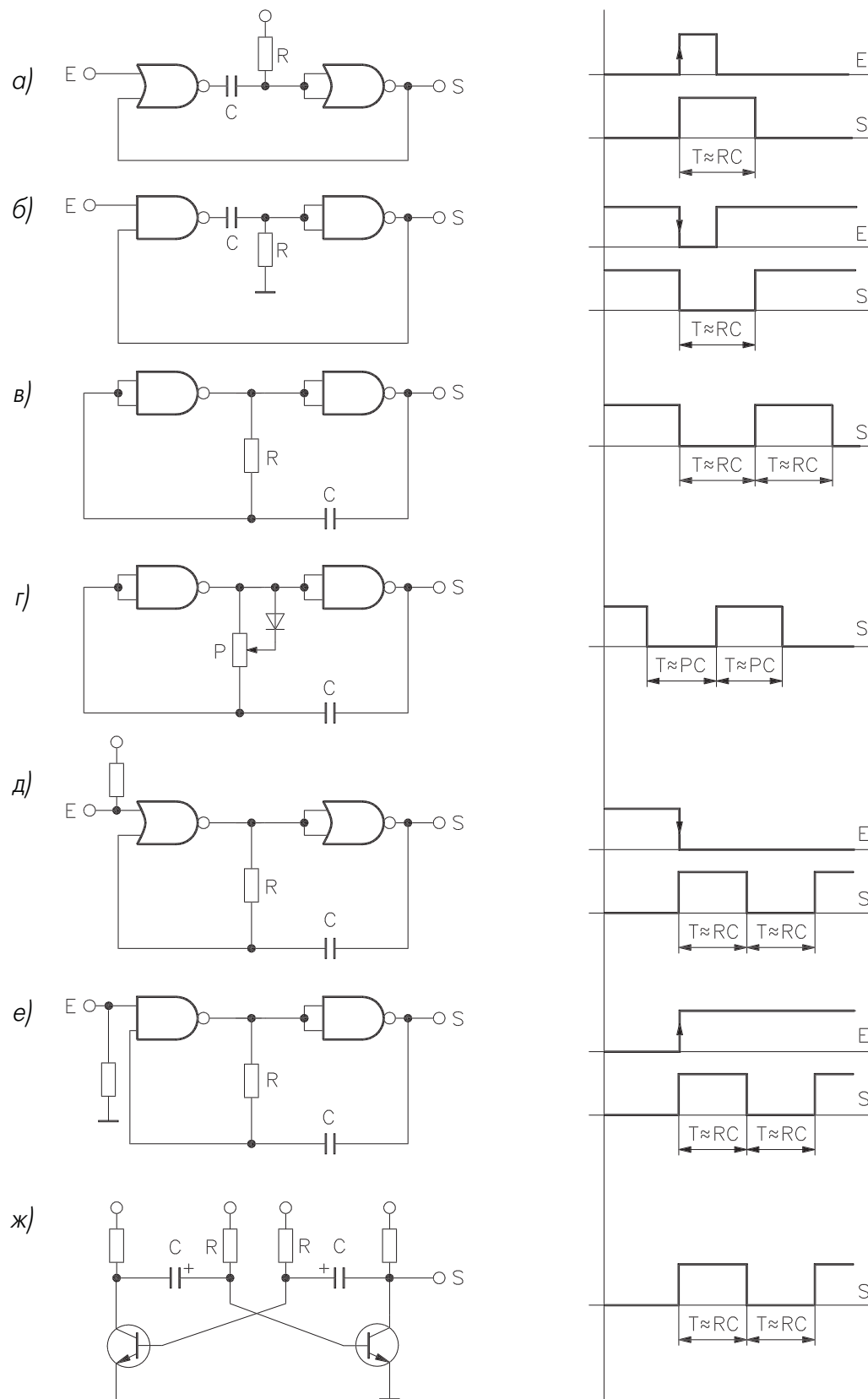


Рис. 5.4

подключаются к одному из коллекторов (или к каждому коллектору) вместо резистора. В остальных схемах применяются КМОП вентили, рассчитанные на широкий диапазон напряжений питания.

При вычислении длительности импульсов определяющую роль играет произведение  $RC$ . Приведенные на рисунке формулы являются весьма приближенными, окончательный результат зависит от частоты, от типа вентилях, а также от напряжения питания. Применяются логические вентили, включенные по схеме инвертора (входы соединены между собой), типа ИЛИ–НЕ или И–НЕ. Их можно также заменить простыми инверторами, например входящими в микросхему типа CD4049 или CD4069.

Для формирования периодов большой длительности (значительного времени задержки) предпочтительнее использовать мультивибраторы со средней или высокой рабочей частотой в сочетании с двоичным счетчиком. Наиболее удобны в этом случае микросхемы генератора-счетчика типа CD4060 и т.п.

## ЧАСТОТНЫЕ ФИЛЬТРЫ

На рис. 5.5 приведено несколько классических схем пассивных и активных фильтров низких и высоких частот. Они используются в разнообразных устройствах, начиная с НЧ усилителей и заканчивая

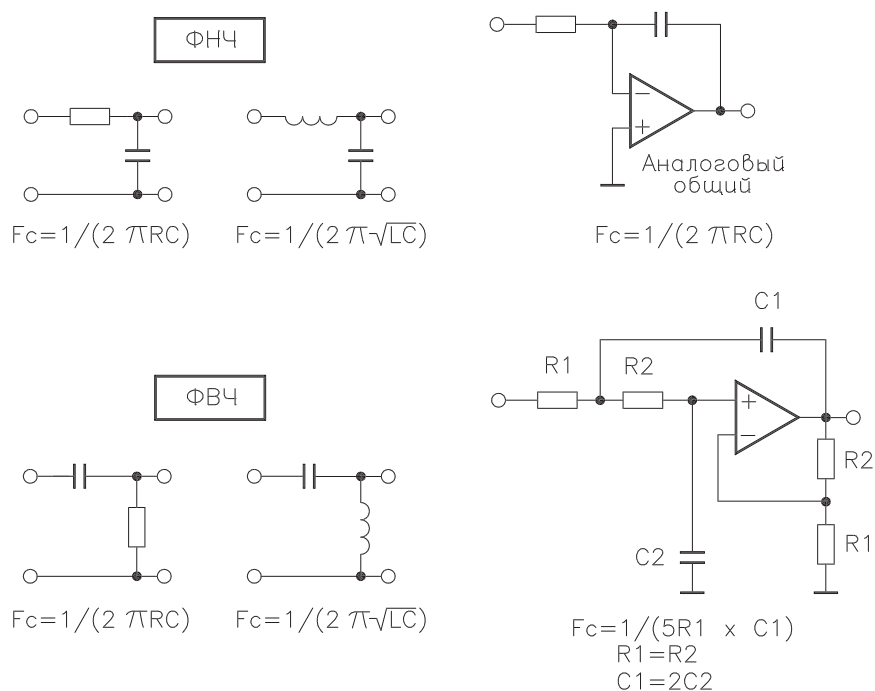


Рис. 5.5

цифро-аналоговыми преобразователями. На каждой схеме указаны формулы для вычисления частоты среза фильтра  $F_c$ .

Приведенные схемы справедливы для операционных усилителей, которые питаются однополярным отрицательным напряжением. При этом напряжения на входах и выходах отсчитываются относительно общей точки источника питания. Для схем с двуполярным питанием можно создать искусственную точку опорного уровня (см. главу 2, раздел «Аналоговый общий»). В устройствах, работающих на частотах ниже 100 кГц, можно использовать операционный усилитель любого типа (LM324, LM358, TL084 и т.д.). См. также главу 2, разделы «Дифференцирующая цепочка», «Интегрирующая цепочка», «Сумматор и вычитатель».

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Ниже приведен список некоторых сокращений, которые часто встречаются в технической литературе и в периодических изданиях. Однако их значение или перевод, возможно, не всем известны.

**ASCII** – *American Standard Code for Information Interchange* (американский стандартный код для обмена информацией). Набор восьмибитных кодов, которые присваиваются каждому знаку, распознаваемому компьютером (см. главу 4).

**BCD** – *Binary Coded Decimal* (двоично-десятичное число). Система гибридного двоичного счисления, кодирующая каждый десятичный разряд с помощью четырех бит.

**BIOS** – *Basic Input/Output System* (базовая система ввода/вывода, БСВВ). Независимая от операционной системы программа взаимодействия с периферийными устройствами; при включении компьютера выполняет начальные тесты и инициализирует процессор.

**CPU** – *Central Processor Unit*. Главная часть микропроцессора, в широком смысле – сам микропроцессор.

**CS** – *Chip Select* (выбор кристалла). Вход интегральной схемы, предназначенный для ее активации при низком или высоком уровне сигнала. Этот вход имеется у всех ЗУ, у которых к выходной шине подключаются ячейки с тремя возможными состояниями.

**DIP** – *Dual-in-line Package* (корпус с двухрядным расположением выводов). Термин для обозначения двухрядного расположения выводов интегральной схемы. Например, микросхема CD4011 размещена в корпусе DIP14.

**DIN** – *Deutch International Normalization* (промышленный стандарт Германии). Стандарт для некоторых электрических соединительных элементов (разъемы DIN, шина DIN и т.д.).

**EEPROM** – *Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory*. Электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (ЭСПЗУ), аналогичное ППЗУ, но с электрическим стиранием при помощи программируемых процедур.

**EPROM** – *Erasable and Programmable Read Only Memory*. Программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ), стираемое при помощи ультрафиолетовых лучей (UV). Часто во избежание путаницы его называют UV-EPROM.

**FE** – *Falling Edge*. Спад (задний фронт) импульса.

**GAL** – *Generic Array Logic*. Типовые матричные логические схемы со стиранием.

**IR** – *Infra-red*. Инфракрасное (ИК) излучение, используемое в устройствах дистанционного управления. IR – это также инициалы фирмы International Rectifier, производящей полупроводниковые приборы.

**LCD** – *Liquid Crystal Display*. Дисплей на жидких кристаллах.

**LED** – *Light Emitting Diode*. Светодиод (электролюминесцентный).

**LIFO** – *Last In First Out* («последним пришел – первым обслужен»). Принцип функционирования устройства, согласно которому в первую очередь обрабатывается элемент блока данных, поступивший последним.

**LSB** – *Least Significant Bit*. Младший бит, например D0.

**LSI** – *Large Scale Integration* (БИС, *большая интегральная схема*). Интегральная схема с высокой степенью интеграции (большое число транзисторов).

**MCU** – *Microcontroller Unit*. Микроконтроллер, микропроцессор в сочетании с разными периферийными устройствами (ЗУ, устройства входа/выхода и т.д.) на одном кристалле.

**MODEM** – *Modulator-demodulator*. Модем (сокращение от термина модулятор-демодулятор) – устройство, преобразующее цифровые сигналы в аналоговые аудиосигналы, передаваемые другим компьютерам и принимаемые от них по телефонным линиям связи.

**OE** – *Output Enable* (*разрешение выхода*). Вход микросхемы, аналогичный CS, который активизирует не сам компонент, а только его выход или выходы (при считывании данных из ЗУ).

**PAL** – *Programmable Array Logic* (*программируемые матричные логические схемы*). Комплект логических элементов на кристалле, программируемый аналогично ППЗУ.



**PCB** – *Printed Circuit Board*. Печатная плата.

**PROM** – *Programmable Read Only Memory*. Программируемое постоянное (нестираемое) запоминающее устройство (ППЗУ).

**PWM** – *Pulse Width Modulation*. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

**RAM** – *Random Access Memory* (*оперативное запоминающее устройство, ОЗУ*). Энергозависимая память (содержимое теряется при отключении питания). Называется также оперативной памятью с произвольным доступом. Выполняется на элементах статической или динамической памяти (часто требует охлаждения).

**RE** – *Rising Edge*. Фронт импульса.

**ROM** – *Read Only Memory* (*постоянное запоминающее устройство, ПЗУ*). ЗУ только для считывания (программируемое при изготовлении).

**RW** – *Read/Write* (*считывание/запись*). Вход/выход интегральной схемы, обычно запоминающего устройства, которое работает в режиме считывания или записи в зависимости от уровня управляющего логического сигнала. Одна из двух используемых букв имеет сверху черту (обозначающую логическое отрицание), что указывает на реализацию соответствующей функции при низком уровне сигнала.

**SIL** – *Single In Line* (*однорядное размещение выводов*). Размещение выводов в один ряд, как в матрице резисторов.

**SMD** – *Surface Mount Device*. Компоненты с поверхностным монтажом (на печатную плату).

**VCO** – *Voltage Controlled Oscillator* (*генератор, управляемый напряжением, ГУН*). Генератор синусоидального или импульсного сигнала, частота которого регулируется путем изменения управляющего напряжения.

**VDR** – *Voltage Dependent Resistor* (*резистор, сопротивление которого зависит от напряжения*). Варистор, обычно используемый для фильтрации сетевых помех. Часто включается перед трансформаторами и «гасит» кратковременные перенапряжения.

**VLSI** – *Very Large Scale Integration* (*СБИС, сверхбольшая интегральная схема*). ИС со степенью интеграции большей, чем в БИС.

**АНАЛОГИ ЗАРУБЕЖНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

	<b>Аналоги</b>	
<b>Тип прибора</b>	<b>Отечественные (СНГ)</b>	<b>Зарубежные</b>
<b>Диоды</b>		
1N4148	КД522	1N914
<b>Транзисторы</b>		
2N2222	КТ3117	BSW64, 2N4014
2N1711	КТ630Г	2N1613, BFY51, 2N2297
2N3055	КТ819ГМ	BDY20, 2N3713
<b>Микросхемы</b>		
CD4001	КР561ЛЕ5	MC14001
CD4011	КР561ЛА7	
CD4511	КР1564ИД23	MC14511
LM358	КР1040УД1, КР1053УД2, КР544УД8	AN1358, BA728, LA6358, LM2904D, NJM2904D, TA7538P

# ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

---

## А

Аккумулятор 40  
Аналоговый общий 87

## Б

Бестрансформаторный  
источник питания 61  
Буферный усилитель 49

## В

Вентиль  
    И 106  
    ИЛИ 105  
    Исключающее ИЛИ 70  
Временная задержка 179  
Выключатель 27  
Высокоомное состояние 74  
Вычитатель 123

## Г

Генератор тока 72, 109  
Генератор, управляемый  
напряжением 133  
Гистерезис 75

## Д

Датчик  
    освещенности 50  
    температуры 51  
    уровня жидкости 50

Двоичный счетчик 48, 54  
Двоичный файл 165  
Двухполупериодное  
выпрямление 107  
Двухтактный каскад 106  
Делитель напряжения 104  
Дискретизация аналоговых  
сигналов 64  
Дроссель 33

## Ж

Жесткий диск 164

## З

Зуммер 49

## И

Измерение  
    переменного сигнала 143  
    температуры 125  
    тока 139  
Изоляционная трубка 26  
Индикатор  
    на жидких кристаллах 45  
    семисегментный 44  
Искусственная нагрузка 136

## К

Клавишные выключатели 12  
Код ASCII 156  
Команды AT 157

Компаратор 54

Корпус 21

## Л

Ленточный кабель 34

Лицевая панель 24

## М

Материнская плата 163

Матрица

резисторная 117

транзисторная 127

Матрицирование сигналов 86

Многооборотный

потенциометр 105

Мультивибратор 193

Мультиметр 148

## Н

Наконечник типа «банан» 25

## О

Облуживание провода 23

Одновибратор 193

Одножильный провод 15

Операционный усилитель 43

Оптический детектор 146

Оптопара 96

Осциллограф 149

Открытый коллектор 52

Охлаждение 181

## П

Перемычка 34

Плата макетная 37

Пневматические устройства 101

Поворотный переключатель 137

Полевой транзистор 90

Полная мостовая схема 102

Последовательный  
интерфейс 77

Предохранитель 71

Преобразование

аналого-цифровое 58

цифро-аналоговое 60

Программируемое постоянное  
запоминающее устройство 66

Пьезоэлемент 98

## Р

Резисторы

подстроечные 48

прецизионные 117

цифровые 119

Реле 116

## С

Светодиод 84

Серводвигатель 122

Симистор 128

Синхронизация

измерений 180

от сети 124

Система счисления 160

Стабилизатор

импульсный 110

напряжения 108

тока 114

Стираемые компоненты 165

Сторожевая схема 182

Сумматор 123

## Т

Телефонная линия 191

Тестирование

впаиваемых компонентов 152

источника питания 144

транзисторов и диодов 152

Тиристор 132

Транзистор

Дарлингтона 63

Трансформатор 36

Трехфазная сеть 131

Триггер 48

## У

Удвоитель напряжения 64

## Ф

Фазовая автоподстройка

частоты 99

Фильтр 195

Фотодиод 31

Фотошаблон 18

## Ц

Цепочка

дифференцирующая 64

интегрирующая 76

## Ш

Шаговый двигатель 94

Широтно-импульсная

модуляция 89

Шифратор 95

Шнуры 138

## Э

Экранирование 11

Электролитические

конденсаторы 137

Энергонезависимое ОЗУ 167



# НОВИНКА

## Электронные системы охраны

**Автор:** Эрве Кадино  
**Формат:** 60×88 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
**Объем:** 256 с.  
**ISBN:** 5-94074-047-8



Цель настоящего издания – дать детальное представление обо всех звеньях охранной системы как с теоретической, так и с практической точек зрения. Элементарных радиолюбительских навыков вполне достаточно, чтобы воплотить в домашних условиях любую из описанных конструкций, создать собственную электронную систему охраны или улучшить уже имеющуюся.

В книге подробно рассматривается широкий спектр устройств охраны и сигнализации, разнообразных по принципу действия и областям применения. Индивидуальные схемотехнические решения, предлагаемые автором, могут оказаться лучшей защитой от профессиональных воров, хорошо изучивших имеющиеся в продаже коммерческие системы.

\* Цена указана  
без стоимости  
доставки

**Издательство «ДМК Пресс»  
высылает книги почтой  
наложенным платежом**

**Заказы присылайте по адресу:**

107014, Москва, а/я 468

**Оптовые закупки:**

тел. (095) 264-7536  
264-2074  
264-5065

E-mail: [info@dmk.ru](mailto:info@dmk.ru)

**Интернет-магазин:**

<http://www.dmk.ru>



# НОВИНКА

## Справочник по микросхемам том 2

**Автор:** Герман Шрайбер  
**Формат:** 60×88 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>  
**Объем:** 208 с.  
**ISBN:** 5-94074-073-1



Справочник представляет собой уникальное практическое пособие для тех, кто профессионально занимается ремонтом телевизионной техники или решил самостоятельно собрать комплект для приема спутникового и кабельного телевидения. В основу книги положена документация производителей ИМС, наглядно представляющая всю необходимую информацию: внутреннее строение микросхем и назначение выводов, напряжения, токи, формы колебаний, органы подстройки.

\* Цена указана  
без стоимости  
доставки

**Издательство «ДМК Пресс»  
высылает книги почтой  
наложенным платежом**

**Заказы присылайте по адресу:**

107014, Москва, а/я 468

**Оптовые закупки:**

тел. (095) 264-7536  
264-2074  
264-5065

E-mail: [info@dmk.ru](mailto:info@dmk.ru)

**Интернет-магазин:**

<http://www.dmk.ru>





# НОВИНКА

## Введение в электронику

**Автор:** Бернар Фигьера, Робер Кноэр  
**Формат:** 60×88 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
**Объем:** 208 с.  
**ISBN:** 5-94074-061-8



По мнению авторов, лучший способ познакомиться с электроникой, не имея специальных знаний, – начать с монтажа простых и полезных устройств. Книга предлагает тридцать протестированных схем, отобранных по принципу практичности и оригинальности. Представлены почти все разделы любительской электроники. Подробные объяснения и многочисленные рекомендации, которыми сопровождается каждая схема, позволят новичку быстро изготовить любое из предложенных устройств: выключатели с сенсорным, дистанционным и звуковым управлением, тестер батареек, цветовой индикатор уровня сигнала для автомагнитолы, сетевой программируемый таймер, термостат и даже некоторые игры.

\* Цена указана  
без стоимости  
доставки

**Издательство «ДМК Пресс»  
высылает книги почтой  
наложенным платежом**

**Заказы присылайте по адресу:**

107014, Москва, а/я 468

**Оптовые закупки:**

тел. (095) 264-7536  
264-2074  
264-5065

E-mail: [info@dmk.ru](mailto:info@dmk.ru)

**Интернет-магазин:**

<http://www.dmk.ru>



# НОВИНКА

## 400 новых радиоэлектронных схем

**Автор:** Герман Шрайбер  
**Формат:** 60×88 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
**Объем:** 368 с.  
**ISBN:** 5-94074-063-4



Книга содержит множество разнообразных схем приемников и передатчиков, усилителей, модуляторов, демодуляторов и стереодекодеров, умножителей и делителей частоты, выпрямителей и радиоизмерительных приборов. Даны технические характеристики рассматриваемых устройств; на схемах указаны номиналы используемых элементов или приведены формулы, необходимые для их расчета. Все предлагаемые схемы проверены на практике.

Издание снабжено удобным рубрикатом, позволяющим без труда отыскать нужную схему.

Книга предназначена для радиолюбителей средней квалификации, но может быть рекомендована и инженерам – разработчикам электронной аппаратуры.

\* Цена указана  
без стоимости  
доставки

**Издательство «ДМК Пресс»  
высылает книги почтой  
наложенным платежом**

**Заказы присылайте по адресу:** 107014, Москва, а/я 468

**Оптовые закупки:** тел. (095) 264-7536  
264-2074  
264-5065  
E-mail: [info@dmk.ru](mailto:info@dmk.ru)

**Интернет-магазин:** <http://www.dmk.ru>



# НОВИНКА

## Схемы синтезаторов речи

**Автор:** Кристиан Тавернье  
**Формат:** 60×88  $\frac{1}{16}$   
**Объем:** 176 с.  
**ISBN:** 5-94074-113-4



В книге представлено описание и принципиальные схемы некоторых устройств, таких как блок музыкальной паузы для телефонного ожидания, голосовой сигнал тревоги или бескассетный телефонный автоответчик. Наряду с этим здесь можно найти и автономные модули, предназначенные для работы в составе других схем и устройств, которые необходимо озвучить. Для изготовления предложенных схем не требуется ни специальных систем разработки, ни компьютера, поэтому рекомендации, приведенные в данном издании, будут полезны не только специалистам в области речевого синтеза, но и радиолюбителям.

\* Цена указана  
без стоимости  
доставки

**Издательство «ДМК Пресс»  
высылает книги почтой  
наложенным платежом**

**Заказы присылайте по адресу:** 107014, Москва, а/я 468

**Оптовые закупки:** тел. (095) 264-7536  
264-2074  
264-5065  
E-mail: [info@dmk.ru](mailto:info@dmk.ru)

**Интернет-магазин:** <http://www.dmk.ru>

## Ваше мнение важно!

Вы держите в руках книгу издательства «ДМК Пресс». Для того чтобы в будущем мы могли предоставлять Вам более полную информацию, просим Вас высказать мнение о нашем издании. Заполнив и отправив анкету, Вы приобретаете право на разовое приобретение любого количества книг нашего издательства с 10% скидкой. Более подробную информацию об ассортименте и наличии книг (более 700 наименований) вы можете получить на сайте [www.dmk.ru](http://www.dmk.ru). Благодарим за сотрудничество.

**1. Как часто Вы покупаете книги издательства «ДМК Пресс»?**

- ☐ впервые ☐ регулярно  
☐ эпизодически

**2. Вы приобрели эту книгу:**

- ☐ на выставке ☐ в книжном магазине  
☐ по подписке ☐ в Internet-магазине  
☐ в книжном киоске / на лотке ☐ другим образом

**3. Каковы, по Вашему мнению, основные достоинства книги?**

- ☐ широкий спектр тем ☐ структура книги  
☐ актуальность информации ☐ качество издания  
☐ лаконичность изложения ☐ стоимость  
☐ конкретные способы решения проблем

**4. Каковы, по Вашему мнению, основные недостатки книги?**

- ☐ \_\_\_\_\_  
☐ \_\_\_\_\_  
☐ \_\_\_\_\_

**5. Книги на какие темы Вы хотели бы прочитать? (см. перечень тем на обороте)**

- ☐ \_\_\_\_\_  
☐ \_\_\_\_\_  
☐ \_\_\_\_\_

**6. Издательство «ДМК Пресс» планирует создание клуба читателей.  
Хотели бы Вы стать его членом?**

- ☐ да ☐ нет

**7. Какого типа книги Вы предпочитаете покупать?**

- ☐ профессиональные / ☐ познавательные  
☐ толстые / ☐ тонкие  
☐ справочники / ☐ учебники

**8. Заинтересует ли Вас получение информации о выходе новых книг?**

- ☐ да ☐ нет

**9. Сообщите, пожалуйста, некоторые сведения о себе:**

- ☐ \_\_\_\_\_  
Ф.И.О. \_\_\_\_\_  
☐ \_\_\_\_\_  
специальность \_\_\_\_\_  
☐ район \_\_\_\_\_ город \_\_\_\_\_

072-3 Полезные советы по разработке и отладке электронных схем

**Заполненную анкету Вы можете отправить по почте:  
Москва, 107014, а/я 468  
Или передать ее по факсу: (095) 369-78-74**



# КУПОН

Серия M01

Клод Галле

## «ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ ПО РАЗРАБОТКЕ И ОТЛАДКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ»

При заполнении анкеты Вы получаете право на разовое приобретение книг издательства «ДМК Пресс» со скидкой 10% при заказе наложенным платежом в течение трех месяцев со дня отправки купона.

Для этого вырежьте анкету и пришлите ее по указанному адресу.

СКИДКА  
10%

### Темы книг по компьютерам и электронике

#### Учебник (в помощь пользователю)

Самоучитель IBM PC  
Шифрование (алгоритмы)  
Алгоритмы сжатия (компрессии) данных  
Спецификации AGP, PCI и т.п.  
Локальные сети  
Материнские платы  
Пакеты компьютерной верстки  
(Adobe FrameMaker 5.5, Corel Ventura 8.0, MS Publisher)  
WinFaxPro и другие «маленькие помощники»  
Совместная работа Macintosh+Windows  
Системы и протоколы безопасных транзакций  
через Internet, ID-systems  
DVD  
E-commerce, E-marketing, E-business  
Novell Netware 5.0

#### Ремонт бытовой и радиоаппаратуры

Модернизация и ремонт ПК  
Ремонт устройств бытовой техники  
Мини-АТС  
Охранные системы для автомобилей  
Справочник по бытовой радиотехнике  
и радиодеталям  
СВ радиосвязь  
Миноискатели  
Радиопередатчики  
СВЧ схемотехника

#### Для программиста

C++, Pascal, Delphi, FoxPro, ...  
Отладка программ (дебаггеры)  
Программирование игр для PC  
Программирование  
для приложений распознавания речи

OpenGL, DirectX –  
программирование приложений  
VBA for Office 2000  
Oracle 8i, Solaris, Clarion 5.0  
Программы компании «1С»  
ASP, HTML, XML, Java, JavaScript  
SQL, SQL Server 2000

#### Операционные системы

Windows, UNIX, Linux, EPOC, Palm OS,  
Mac OS, ...

#### Компьютерная графика и анимация

Adobe InDesign, Adobe Photoshop 6.0, 3D MAX,  
Fractal Design Painter 5.0,  
LightWave, Corel Draw 10.0, Maya 3, SoftImage 3D,  
Macromedia Flash, Bryce ...

#### В помощь проектировщику

Пакеты схемотехнического моделирования  
и проектирования печатных плат  
(Workbench, Accel Eda 14.0, ORCAD, ...)  
Различные пакеты САПР  
(Mechanical Desktop, Real Architect 3.8, ...)  
Системы архитектурного проектирования  
(ArchiCAD, ...)  
CASE-средства (ErWin, BpWin, Rational Rose)

#### В помощь радиолюбителю

Электронные охранные устройства  
Справочник по радиолампам  
Автомобильная электроника  
Акустика и акустические системы  
Книги для начинающих радиолюбителей  
Микроконтроллеры и ОЭВМ  
(программирование)  
Радиолюбительские конструкции  
Спутниковое телевидение





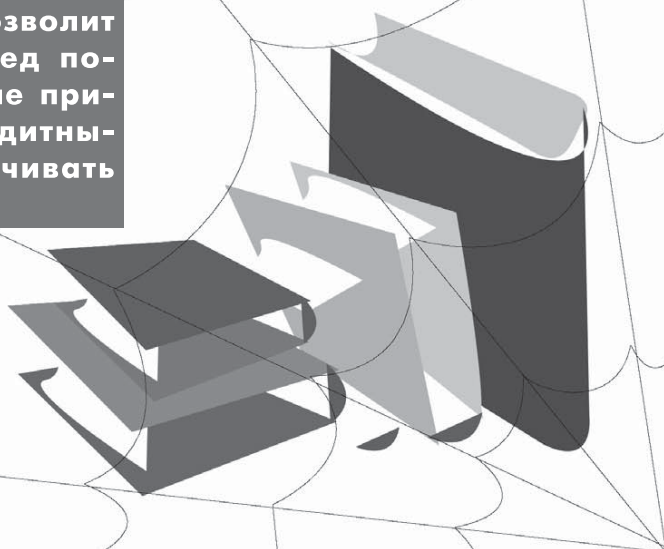
## ИЗДАТЕЛЬСТВО **DMK**Press ПРЕДОСТАВЛЯЕТ ВАМ

возможность приобрести интересующие Вас книги, посвященные компьютерным технологиям и радиоэлектронике, самым быстрым и удобным способом. Для этого Вам достаточно всего лишь посетить Internet-магазин «ДМК Пресс» по адресу **www.dmk.ru**. Вашему вниманию будет представлен самый полный перечень книг по программированию, компьютерному дизайну, проектированию, ремонту радиоаппаратуры, выпущенных в нашем и других издательствах. В Internet-магазине Вы сможете приобрести любые издания, не отходя от домашнего компьютера: оформите заказ, воспользовавшись готовым бланком, и мы доставим Вам книги в самый короткий срок по почте или с курьером.

**Internet-магазин на [www.dmk.ru](http://www.dmk.ru)**

- экономит Ваше время, позволяя заказать любые книги в любом количестве, не выходя из дома;
- избавляет Вас от лишних расходов: мы предлагаем компьютерную и радиотехническую литературу по ценам значительно ниже, чем в магазинах;
- дает возможность легко и быстро оформить заказ на книги — как новинки, так и издания прошлых лет, пользующиеся постоянным спросом.

**Если Вы живете в Москве, то доставка с курьером позволит Вам увидеть книгу перед покупкой. При этом Вам не придется пользоваться кредитными картами или оплачивать почтовые услуги.**



Клод Галле

**Полезные советы  
по разработке и отладке  
электронных схем**

Главный редактор	<i>Захаров И. М.</i>
Перевод	<i>Сомова Н. О.</i>
Научный редактор	<i>Шнитников А. С.</i>
Выпускающий редактор	<i>Петроградская А. В.</i>
Технический редактор	<i>Прока С. В.</i>
Верстка	<i>Тарасов С. А.</i>
Графика	<i>Бахарев А. А.</i>
Дизайн обложки	<i>Панкусова Е. Н.</i>

ИД № 01903 от 30.05.2000

Подписано в печать 30.04.2001. Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Гарнитура «Петербург». Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 13. Тираж 3000 экз. Зак. №

Издательство «ДМК Пресс», 105023, Москва, пл. Журавлева, д. 2/8.  
Отпечатано в типографии № 9. Волочаевская, 40.



# Полезные советы по разработке и отладке электронных схем



**Клод Галле**

**Internet-магазин:**

[www.allians-kniga.ru](http://www.allians-kniga.ru)

**Книга – почтой:**

Россия, 123242,

Москва, а/я 20

Тел.: (495) 258-9194, -9195

e-mail: [books@allians-kniga.ru](mailto:books@allians-kniga.ru)

**Оптовая продажа:**

«Альянс-книга»

Тел./Факс: (495) 258-9195

e-mail: [books@allians-kniga.ru](mailto:books@allians-kniga.ru)

ISBN 5-94074-072-3



9 785940 740728

[www.dmk-press.ru](http://www.dmk-press.ru)



Любители электроники всегда интересуются оригинальными решениями и приемами, которые делают их хобби еще более увлекательным. Профессионалы также высоко ценят маленькие хитрости, позволяющие упростить некоторые схемы или ускорить их настройку.

Настоящее издание справочного типа содержит множество оригинальных решений и приемов работы с электронными схемами, собранными автором за время практической деятельности в исследовательском институте и на производстве. Рассмотрены многочисленные темы: аналоговая и цифровая схемотехника, основные логические функции и микроконтроллеры, макетирование и промышленное производство.

Книга будет интересна как любителям, начинающим или опытным, так и профессионалам. Подобную литературу необходимо всегда иметь под рукой наряду с конструкторской документацией и паяльником!

Клод Галле

Полезные советы по разработке и отладке электронных схем

**ETSF**

**DUNOD**

**DMK**  
PRESS