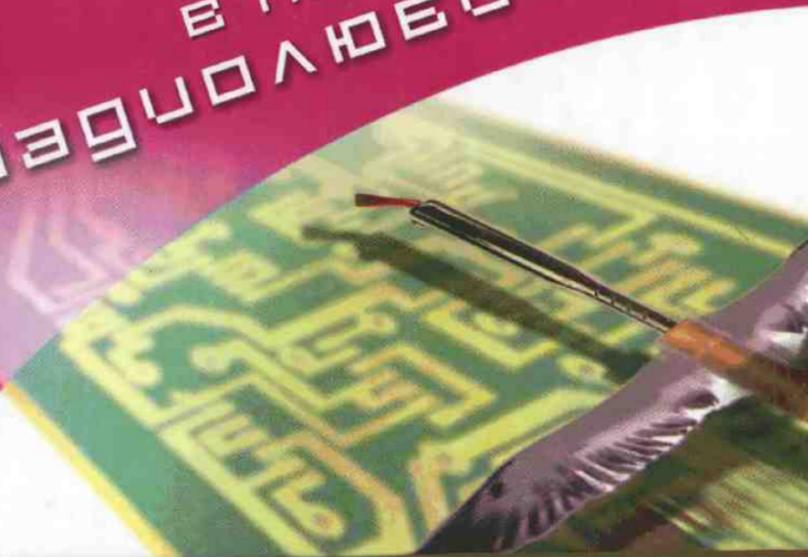


NT
PRESS

НИКОЛАЕНКО М.Н.

САМОУЧИТЕЛЬ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

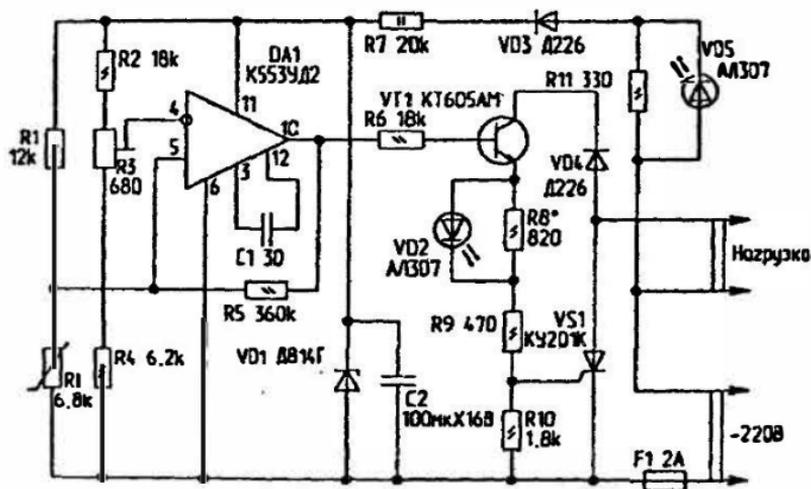
В ПОМОЩЬ
РАЗДОЛЖИТЕЛЮ



В помощь радиолюбителю

Николаенко М. Н.

**САМОУЧИТЕЛЬ
ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ**



NT Press
Москва, 2006

УДК 621.3
ББК 32.844
Н63

Подписано в печать с готовых диапозитивов заказчика 19.04.06.
Формат 84×108¹/₃₂. Гарнитура NewBaskervilleС. Бумага газетная.
Печать высокая с ФПФ. Усл. печ. л. 11,76. Тираж (пер.) 3000 экз. Заказ 1428.

Николаенко, М.Н.

Н63 Самоучитель по радиоэлектронике / М.Н. Николаенко. — М.:
НТ Пресс, 2006. — 224 с.: ил. — (В помощь радиолюбителю).

ISBN 5-477-00054-6 (обл.)

ISBN 5-477-00125-9 (пер.)

Вы держите в руках книгу, которая представляет собой сборник практических рекомендаций и советов по проектированию, изготовлению и наладке аналоговых и цифровых электронных устройств различного назначения.

Каждый читатель в соответствии со своим уровнем подготовки сможет почерпнуть в данной книге рекомендации по выбору и применению стандартных и специализированных радиоэлектронных компонентов, разработке и использованию электрических схем, советы по изготовлению и монтажу печатных плат. В книге приведены основные принципы конструирования и приемы сборки радиоэлектронных устройств, порядок тестирования компонентов, проведения измерений в электрических схемах и ремонта устройств.

Книга рассчитана на читателя с техническим складом ума, которому уже приходилось собирать электронные устройства, и адресована широкому кругу радиолюбителей, как профессионалам, так и начинающим.

УДК 621.3
ББК 32.844

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельца 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 985-13-7893-3
(ООО «Харвест») (пер.)

© Николаенко М. Н., 2005
© НТ Пресс, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
Глава ■ 1	
Применение компонентов	11
1.1. Использование резисторов	11
1.1.1. Выбор постоянного резистора	11
1.1.2. Нелинейный резистор	12
1.1.3. Температурный дрейф подстроечного резистора	13
1.1.4. Многооборотный потенциометр	13
1.1.5. Резисторная матрица	14
1.1.6. Прецизионный резистор	15
1.1.7. Рассеиваемая мощность резистора	15
1.1.8. Рабочее напряжение резистора	16
1.1.9. Переменный цифровой резистор	17
1.2. Применение конденсаторов	19
1.2.1. Выбор конденсатора	19
1.2.2. Электролитический конденсатор	19
1.2.3. Качество диэлектрика	20
1.2.4. неполярный конденсатор	20
1.2.5. Ионистор	21
1.3. Намоточные компоненты	22
1.3.1. Воздушный дроссель	22
1.3.2. Соединение обмоток трансформатора	23
1.3.3. Монтаж тороидальных трансформаторов	23
1.3.4. Крепление трансформатора	24
1.3.5. Особенности залитых трансформаторов	24
1.3.6. Маркировка отечественных трансформаторов	24
1.4. Полупроводниковые приборы	25
1.4.1. Охлаждение мощных приборов	25
1.4.2. Температурный дрейф параметров диода	26
1.4.3. Подключение светодиода к сети 220 В	26
1.4.4. Подбор яркости свечения светодиода	27
1.4.5. Применение светодиода в источнике тока	27
1.4.6. Обозначение выводов транзисторов	28
1.4.7. Защита управляющего транзистора	28
1.4.8. Транзистор Дарлингтона	29
1.4.9. МОП транзистор	29
1.4.10. Применение оптопар	33
1.4.11. Фотодиод ИК диапазона	34

1.5. Датчики	35
1.5.1. Датчик освещенности	35
1.5.2. Датчик уровня жидкости	36
1.5.3. Датчик температуры из транзистора	37
1.5.4. Датчик температуры на микросхеме	38
1.6. Механические и другие компоненты	39
1.6.1. Предохранитель	39
1.6.2. Герконовое реле	39
1.6.3. Реле с самоблокировкой	40
1.6.4. Применение пьезоэлементов	41
1.6.5. Компоненты с поверхностным монтажом	41

Глава ■ 2

Каскады электронных схем **43**

2.1. Простейшие схемы	43
2.1.1. Полярность питающего напряжения	43
2.1.2. Делитель напряжения	44
2.1.3. Дифференцирующая цепочка	45
2.1.4. Интегрирующая цепочка	45
2.1.5. Подавитель дребезга контактов	46
2.1.6. Частотные фильтры	46
2.1.7. Удвоитель напряжения	47
2.1.8. Каскады с открытым коллектором	48
2.1.9. Двухтактный каскад	49
2.1.10. Компаратор на транзисторе	50
2.1.11. Гистерезис в электронике	50
2.2. Операционные усилители	52
2.2.1. Присоединение неиспользуемых входов	52
2.2.2. Уровень выходного сигнала	52
2.2.3. Объединение выходов операционных усилителей	53
2.2.4. Буферный усилитель	53
2.2.5. Опорный уровень	54
2.2.6. Аналоговые сумматор и вычитатель	56
2.2.7. Подача звуковых сигналов	56
2.3. Световые индикаторы	57
2.3.1. Буквенная индикация из цифровой	57
2.3.2. Алфавитно-цифровые индикаторы на жидких кристаллах	57
2.3.3. Мультиплексирование многоразрядного индикатора	59
2.4. Цифровые схемы	60
2.4.1. Синхронизация от сети	60
2.4.2. Логические схемы, управляемые фронтом импульса	61
2.4.3. Классические импульсные устройства	62
2.4.4. Транзисторные матрицы	64
2.4.5. Согласование КМОП и ТТЛ схем	65

2.5. Триггеры и счетчики	67
2.5.1. Маркировка выводов	67
2.5.2. Двоичный счетчик как триггер	67
2.5.3. Блокировка счетчика микросхемы CD4060	68
2.5.4. Каскадирование счетчиков	69
2.5.5. Обнуление счетчиков	70
2.5.6. Сочетание счетчика с линейным индикатором	71
2.5.7. Высокоомное состояние	73
2.6. Применение генераторов	74
2.6.1. Генератор тока	74
2.6.2. Генератор, управляемый напряжением	75
2.6.3. Генератор напряжения с двоичным управлением	76
2.6.4. Фазовая автоподстройка частоты	77
2.7. Применение интерфейсов	79
2.7.1. Согласование TTL схемы с сигналом стандарта RS232	79
2.7.2. Согласование сигнала стандарта RS232 с TTL схемой	81
2.7.3. Генерирование импульса, совместимого со стандартом RS232	81
2.7.4. Использование стандартных соединительных элементов	83
2.8. Источники питания	84
2.8.1. Защита против инверсии полярности	84
2.8.2. Диодные выпрямители	84
2.8.3. Повышение выходного напряжения	85
2.8.4. Защитный диод	86
2.8.5. Стабилизатор напряжения в качестве генератора тока	87
2.8.6. Повышенное входное напряжение	87
2.8.7. Бестрансформаторный источник питания	88
2.8.8. Источник отрицательного напряжения	90
2.8.9. Источник аварийного питания	90
2.9. Управление двигателем	91
2.9.1. Изменение направления вращения двигателя	91
2.9.2. Полная мостовая схема управления вращением двигателя	92

Глава ■ 3

Конструирование и сборка электронных устройств ... 95

3.1. Пайка, и не только	95
3.1.1. Выбор и подготовка паяльника	95
3.1.2. Начинаем паять	96
3.1.3. Выбор припоя и флюса	97
3.1.4. Облуживание выводов	97
3.1.5. Красивая пайка	98
3.1.6. Пайка выводов	99
3.1.7. Пайка деталей на плату	99

3.1.8. Удлинитель жала	100
3.1.9. Пайка алюминия и его сплавов	100
3.1.10. Токопроводящий клей	101
3.1.11. Электросварка деталей	102
3.1.12. Выбор инструмента	104
3.1.13. Отвертка для настройки	104
3.2. Монтажные провода	105
3.2.1. Протягивание провода через отверстие	105
3.2.2. Выбор сечения провода	105
3.2.3. Выбор типа провода	106
3.2.4. Возможные повреждения провода	107
3.2.5. Облуживание провода	107
3.2.6. Сращивание проводов	108
3.2.7. Опасность некачественного соединения	108
3.2.8. Соединение проводов высокого сопротивления	109
3.2.9. Изготовление жгута	110
3.2.10. Медные обмоточные провода	110
3.2.11. Высокочастотные обмоточные провода	111
3.2.12. Диаметр провода	111
3.3. Изоляционные трубки	112
3.3.1. Трубка ПВХ	112
3.3.2. Термоусадочная трубка	112
3.4. Соединители	113
3.4.1. Коаксиальные соединители для аудиоаппаратуры	113
3.4.2. Байонетные коаксиальные соединители	113
3.4.3. Наконечники для шнуров	114
3.4.4. Монтаж соединителя ленточного кабеля	115
3.4.5. Телефонные соединители	115
3.5. Выключатели	116
3.5.1. Блок переключателей	116
3.5.2. Монтаж выключателя	116
3.5.3. Клавишные выключатели	116
3.6. Монтаж электрических схем	117
3.6.1. Использование разноцветных проводов	117
3.6.2. Порядок монтажа печатной платы	118
3.6.3. Монтаж мощных компонентов	119
3.6.4. Облегчение проверки схемы	120
3.6.5. Ориентация компонентов печатной платы	121
3.6.6. Пайка компонентов	122
3.6.7. Монтаж ЖКИ	123
3.6.8. Монтаж ИС	123
3.6.9. Помехозащищенность схем с ИС	124
3.6.10. Использование витой пары	125
3.6.11. Защита фотодиода от помех	125

3.7. Изготовление печатной платы	125
3.7.1. Камера для экспонирования	125
3.7.2. Подготовка топологии печатной платы	126
3.7.3. Предварительная разводка проводников	130
3.7.4. Предотвращение помех	130
3.7.5. Монтаж ИС с гибкими выводами	131
3.7.6. Установка контактных стоек	132
3.7.7. Двусторонняя плата	133
3.7.8. Использование макетной платы	134
3.7.9. Временная макетная плата	134
3.7.10. Размещение КГ на плате	135
3.7.11. Травление печатных плат	135
3.7.12. Изготовление фотошаблона	136
3.7.13. Перемычки на печатной плате	137
3.7.14. Распиливание платы с нанесенным рисунком	138
3.8. Источники питания	138
3.8.1. Формирование батареи аккумуляторов	138
3.8.2. Соединительный элемент для батарейки 9 В	139
3.9. Слесарно-монтажные работы	139
3.9.1. Выбор корпуса	139
3.9.2. Экранирование устройств	140
3.9.3. Крепление печатных плат	140
3.9.4. Стойка для крепления платы	141
3.9.5. Оформление лицевой панели	141
3.9.6. Сетка для громкоговорителя	143
3.9.7. Укорачивание корпуса прибора	144
3.9.8. Сверление отверстий в печатной плате	144
3.9.9. Сверление отверстий в металле	145
3.9.10. Сверление отверстий большого диаметра	145

Глава ■ 4

Тестирование и измерения	147
4.1. Подготовка к измерениям	147
4.1.1. Оснастка при измерениях	147
4.1.2. Искусственная нагрузка	148
4.1.3. Использование трансформатора тока	150
4.1.4. Измерение переменного тока или напряжения	151
4.1.5. Форма измеряемого сигнала	151
4.2. Работа с мультиметром	153
4.2.1. Аналоговые мультиметры	153
4.2.2. Цифровые мультиметры	154
4.2.3. Опасность появления ошибочных показаний	155
4.2.4. Измерения на разомкнутой цепи	155
4.2.5. Режим короткого замыкания	155
4.2.6. Мегаомметр	156
4.2.7. Измерение емкости и индуктивности	156

4.3. Использование осциллографа	157
4.3.1. Кабели для осциллографа	157
4.3.2. Измерение амплитуды	158
4.3.3. Измерение частоты	159
4.3.4. Проблема заземления	159
4.3.5. След луча	159
4.3.6. Влияние зонда на работу схем	160
4.4. Тестирование компонентов электрических схем	160
4.4.1. Проверка резисторов	160
4.4.2. Проверка конденсаторов	161
4.4.3. Проверка катушки индуктивности	163
4.4.4. Проверка трансформаторов и дросселей	163
4.4.5. Проверка полупроводниковых диодов	166
4.4.6. Проверка диодных мостов	168
4.4.7. Проверка впаянных компонентов	168
4.4.8. Проверка тиристоров	168
4.4.9. Проверка транзисторов	169
4.4.10. Проверка транзисторов без выпаивания	170
4.4.11. Проверка полевых транзисторов	171
4.4.12. Проверка элементов питания	172
4.5. Методы определения неизвестных параметров	172
4.5.1. Определение полярности электролитического конденсатора	172
4.5.2. Определение емкости конденсатора	173
4.5.3. Определение полярности выводов светодиодов	173
4.5.4. Определение цоколевки биполярного транзистора	174
4.5.5. Определение полярности источника постоянного тока	175
4.5.6. Определение параметров неизвестного трансформатора	177
4.5.7. Определение внутреннего сопротивления стрелочного прибора	178
4.5.8. Определение параметров коаксиального кабеля	179
4.5.9. Расчет волнового сопротивления линии	180

Глава ■ 5

Устранение неисправностей

5.1. Мелкий ремонт	183
5.1.1. Установка перемычки на плату	183
5.1.2. Ремонт галетного переключателя	183
5.1.3. Проблема старения конденсаторов	184
5.1.4. Замена конденсаторов с неизвестными параметрами	184
5.1.5. Очистка устройства от пыли	185

5.2. Демонтаж компонентов с печатных плат	186
5.2.1. Особенности демонтажа компонентов	186
5.2.2. Демонтаж крупных компонентов	186
5.2.3. Изготовление отсоса для припоя	187
5.2.4. Использование демонтажной трубки	188
5.2.5. Использование оплетки для удаления припоя	190
5.2.6. Замена компонентов	191
5.2.7. Демонтаж микросхем	191
5.3. Методика устранения неисправностей	192
5.3.1. Поиск тепловых неисправностей	192
5.3.2. Ремонт источника питания	193
5.3.3. Особенности проверки оптического детектора	195
5.3.4. Проверка логических состояний	196
5.3.5. Маркировка демонтируемых компонентов	197
Приложения	198
Приложение 1. Расположение и назначение выводов разъемов	198
Приложение 2. Химические источники тока	202
Солевые элементы и батареи	202
Щелочные (алкалиновые) элементы и батареи	203
Воздушно-цинковые элементы	204
Ртутно-цинковые элементы и батареи	205
Серебряно-цинковые элементы и батареи	206
Литиевые элементы и батареи	206
Особенности обозначений и надписей	208
Приложение 3. Зарядка аккумуляторов	211
Свинцовые аккумуляторы	211
Никель-кадмиевые аккумуляторы	211
Режимы зарядки аккумуляторов	212
Приложение 4. Список сокращений	215

Введение

Это издание содержит наиболее полную подборку материалов по различным аспектам радиолюбительской деятельности и предназначено для широкого круга читателей – как радиолюбителей, так и специалистов, занимающихся проектированием и изготовлением радиоэлектронной аппаратуры и приборов.

Основное назначение книги – дать читателю рекомендации по самостоятельному изготовлению радиоэлектронных приборов, начиная с выбора электронных компонентов и заканчивая сборкой готового устройства. Предлагаемая книга призвана устранить некоторые «белые пятна» в литературе по электронике и вооружить радиолюбителя самыми необходимыми сведениями.

Первая глава посвящена вопросам правильного выбора различных радиоэлектронных компонентов.

Во второй главе приведены рекомендации по применению как типовых, так и оригинальных электронных схем, описано их использование в готовых устройствах.

В третьей главе представлены рекомендации по правильному производству пайки, описаны особенности пайки различных металлов и сплавов, выполнение контактного соединения с помощью токопроводящего клея. Даны советы по изготовлению печатных плат, методы разработки рисунка и нанесения его на плату, рационального размещения на ней электронных компонентов.

Четвертая глава посвящена советам по грамотному использованию контрольно-измерительных приборов в радиолюбительской практике и проведению тестирования компонентов и схем, описан порядок проведения некоторых электрических измерений.

В пятой главе содержатся полезные советы и сведения по ремонту изготовленных приборов.

В приложении приведены справочные сведения по некоторым широко используемым разъемам, аккумуляторам и список наиболее часто встречающихся англоязычных сокращений.

Глава

1

Применение компонентов

1.1. Использование резисторов

1.1.1. Выбор постоянного резистора

При выборе резистора нужно учитывать как его параметры, так и условия среды, где он будет работать – температуру, влажность, вибрацию и т.д. Параметры резистора должны соответствовать условиям его применения по нагрузке и внешней среде. Следует также знать, что у резистора существует максимальная частота работы, при которой его сопротивление начинает меняться, и максимальное допустимое напряжение. Фактическая мощность, рассеиваемая на резисторе, и его рабочая температура должны быть ниже предельных значений по техническим условиям.

Резистор выбирают с учетом особенностей цепей, где он работает, учитывая величину отклонения сопротивления от номинального. Если большое отклонение сопротивления мало влияет на работу устройства, то можно применять резисторы с допуском 20%. Это могут быть резисторы в цепях управляющих сеток ламп, в цепи коллекторов транзисторов. Если от величины сопротивления зависит режим работы цепи, то следует применять резисторы с допуском 5 или 10%. К ним относятся резисторы в цепях эмиттера и базы транзистора. В цепях, где требуется постоянство сопротивления, применяются резисторы с допуском не более 2%.

Работа резистора в схеме проявляется его нагревом. Относительно сильный нагрев (до 300 °С) для резистора не опасен, но выделяющееся тепло может отрицательно повлиять на соседние детали. В таких случаях для уменьшения нагрева его нужно заменить на более мощный.

1.1.2. Нелинейный резистор

Полупроводниковый нелинейный резистор, в отличие от линейного, обладает способностью изменять свое сопротивление под действием управляющих факторов: температуры, напряжения, магнитного поля и др.

Термисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) бывают двух видов: стержневые (типа КМТ-1, СТЗ-1, ММТ-4) и дисковые (типа СТ1-2, КМТ-12, ММТ-12). Подобные чувствительные элементы используются для создания различных приборов – от электронных термометров до детекторов – в тех или иных промышленных системах управления, в которых должен осуществляться текущий контроль (мониторинг) и/или управление температурой.

Термисторы с положительным ТКС увеличивают свое сопротивление при возрастании температуры. При этом их сопротивление изменяется более резко и круто, чем у терморезисторов с отрицательным ТКС. Хорошим примером терморезистора с положительным температурным коэффициентом является нить лампы накаливания. Когда лампа выключена, нить накала имеет очень низкое сопротивление. Однако когда через лампу протекает ток, нить сильно накаляется и быстро нагревается до температуры белого каления. Это значительно увеличивает сопротивление нити. Например, стандартная лампа накаливания 100 Вт имеет в холодном состоянии сопротивление приблизительно 10 Ом. Когда же на лампу подается напряжение 120 В, нить нагревается с увеличением сопротивления до 144 Ом, то есть отмечается рост сопротивления более чем в 14 раз. Такая характеристика лампы накаливания может использоваться для целей регулирования в некоторых типах электрических и электронных схем.

1.1.3. Температурный дрейф подстроечного резистора

У всех резисторов, в особенности у подстроечных, номиналы могут изменяться в зависимости от температуры. Необходимо учитывать это явление как при разработке, так и при изготовлении схемы. По обе стороны от подстроечного резистора следует поместить постоянные резисторы (рис. 1.1), а также расположить подстроечный резистор как можно дальше от всех источников тепла.



Рис. 1.1. Устранение температурного дрейфа подстроечного резистора

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.

1.1.4. 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

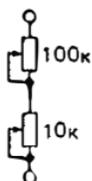


Рис. 1.2. Использование двух резисторов для грубой и точной регулировки

места. Есть простой и эффективный способ, позволяющий достичь точной и плавной регулировки: последовательное включение двух однооборотных переменных резисторов (рис. 1.2).

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).

1.1.5. Резисторная матрица

Резисторная матрица содержит несколько одинаковых резисторов. Любители используют этот компонент 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

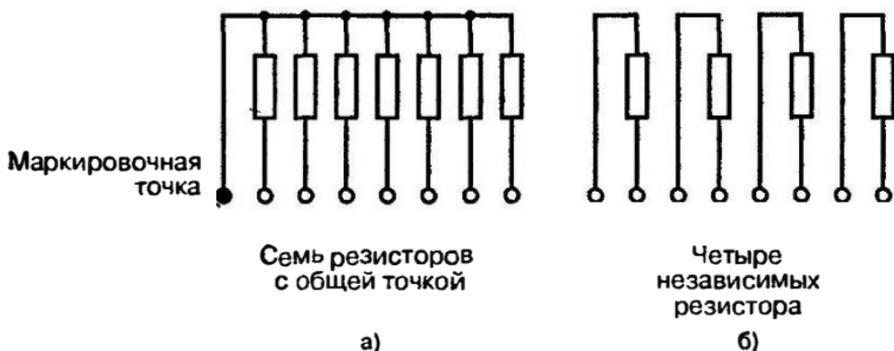


Рис. 1.3. Резисторная матрица с общей точкой (а) и с независимыми выводами (б)

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. 1.3). 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.

1.1.6. Прецизионный резистор

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

1.1.7. Рассеиваемая мощность резистора

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. Поэтому при

проектировании надо предусмотреть место на печатной плате для более мощного резистора.

При создании схем с мощными резисторами следует быть особенно внимательным. Необходимо учитывать, что допустимые значения мощности, указанные производителями, обычно гарантируются для рабочей температуры 25 °С. Но при работе мощного устройства эта температура может быть существенно выше. Бывает, что резистор с номинальной рабочей мощностью 10 Вт при 25 °С перегревается при рассеивании всего лишь 2,5 Вт, если температура окружающей среды составляет 70 °С. В подобных случаях следует выбирать резисторы в специальном корпусе, оснащенные 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.

1.1.8. Рабочее напряжение резистора

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 бестрансформаторные источники питания.

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 220 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

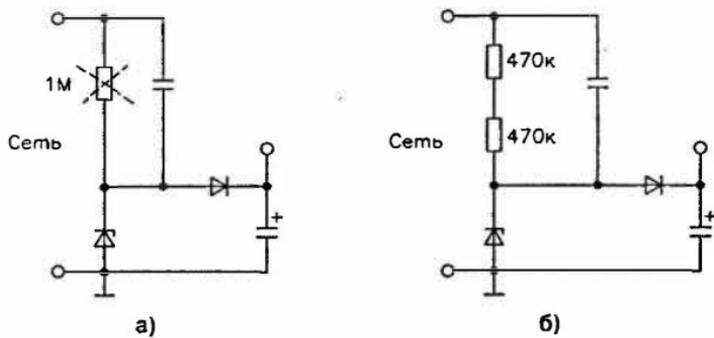


Рис. 1.4. Неправильное (а) и правильное (б) включение резисторов

(рис. 1.4). В противном случае возникает опасность его разрушения.

1.1.9. Переменный цифровой резистор

Часто регулирующие устройства должны имитировать изменяющееся сопротивление, для чего можно использовать 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. 1.5, позволяет имитировать переменный резистор, характеристики которого можно выбирать исходя из конкретных требований. Переключения выполняются с помощью контактов реле, что обеспечивает полную изоляцию управляющей (цифровой) части устройства от исполнительной (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

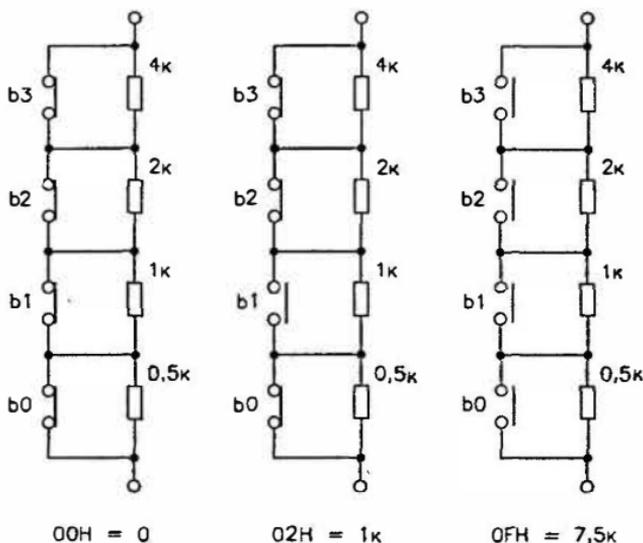


Рис. 1.5. Переменный управляемый резистор

сопротивление равно нулю. Появление управляющего сигнала, соответствующего единице младшего разряда, размыкает контакт, шунтирующий 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 разомкнуты), оно реализуется при подаче двоичного слова 0FH. Таким образом, получается переменный резистор 7,5 кОм с 16 дискретными значениями сопротивления с шагом 500 Ом.

Число разрядов и наименьшее сопротивление в наборе могут задаваться с учетом конкретных требований. Управление реле осуществляется с помощью дискретных транзисторов или микросхем. Подобный вариант схемы можно использовать в сочетании с двоичным счетчиком, реализующим счет вперед или назад, или с микроконтроллером. Очевидно, что при управлении с помощью механического реле выходное сопротивление будет изменяться сравнительно медленно.

1.2. Применение конденсаторов

1.2.1. Выбор конденсатора

В цепях с высокой стабильностью параметров, например в колебательных контурах, применяют керамические и воздушные конденсаторы с высоким классом точности. В цепях, к которым не предъявляются высокие требования по стабильности, например в цепях сглаживающих фильтров выпрямителей, фильтров развязки и блокировки, можно использовать электролитические бумажные конденсаторы. В этих цепях применяются также сегнетоэлектрические конденсаторы.

В цепях высокой частоты устанавливают конденсаторы с высокой предельной частотой, например керамические и вакуумные. Бумажные конденсаторы не применяют в цепях с частотой, превышающей единицы мегагерц.

В цепях при напряжении менее 10 В не рекомендуется применять конденсаторы с вкладными выводами, так как в них может нарушиться контакт с фольгой.

Герметизированные конденсаторы в металлическом корпусе имеют большую емкость на корпус. Если при монтаже ни один вывод конденсатора не соединяется с корпусом устройства, то его необходимо изолировать от шасси на опорах толщиной 0,5–1 см.

1.2.2. Электролитический конденсатор

Конденсаторы могут применяться в цепях как постоянного, так и переменного тока. Для цепей постоянного тока используют в основном электролитические конденсаторы. При монтаже конденсатора его плюсовой вывод присоединяют к положительному полюсу цепи с учетом соответствия напряжений участков цепи, а минусовой вывод (обычно корпус конденсатора) присоединяется к металлическому корпусу устройства. Следует учесть, что могут быть и неполярные электролитические конденсаторы.

Если полярный конденсатор включить в сеть переменного напряжения, то через него пойдет переменный ток, нагревая конденсатор, и он может выйти из строя. В крайнем случае при отсутствии нужного конденсатора на переменное

напряжение вместо него можно применить полярный конденсатор при условии, что его напряжение много больше напряжения сети. Например, полярный конденсатор с напряжением 250 В может работать в сети переменного напряжения 50 В при частоте 50 Гц.

1.2.3. Качество диэлектрика

Качество диэлектрика характеризует сопротивление изоляции или ток утечки. В некоторых цепях существуют высокие требования к сопротивлению изоляции, например к конденсаторам связи между соседними каскадами. Наиболее высокое сопротивление изоляции имеют фторопластовые, полистирольные и полипропиленовые конденсаторы, несколько ниже оно у слюдяных, керамических и поликарбонатных. Для электролитических конденсаторов задается ток утечки, значение которого пропорционально емкости и напряжению. Наименьший ток утечки имеют танталовые конденсаторы (от единиц до десятков микроампер), а у алюминиевых конденсаторов он на один-два порядка больше.

1.2.4. неполярный конденсатор

Довольно трудно найти неполярные конденсаторы (с изоляцией из слюды, бумаги или пленки) большой емкости с низким рабочим напряжением (менее 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.

Для формирования конденсатора большой емкости можно соединить два полярных (электролитических) конденсатора, чтобы получить один неполярный (рис. 1.6). При этом

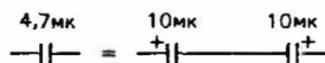


Рис. 1.6. Получение одного неполярного конденсатора из двух полярных

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

1.2.5. Ионистор

В последние годы появился новый класс приборов, функционально близких к конденсаторам очень большой емкости, по существу, занимающих положение между конденсаторами и источниками питания. Это – ионисторы, конденсаторы с двойным электрическим слоем.

Номинальное напряжение ионистора зависит от вида используемого в нем электролита и является для него максимально допустимым. Для получения более высокого рабочего напряжения ионисторы соединяют последовательно. Но делать это самостоятельно не рекомендуется – параметры ионисторов в такой связке должны быть очень близкими.

В принципе, ионистор – неполярный прибор. Вывод + (плюс) указывают для обозначения полярности остаточного напряжения после его зарядки на заводе-изготовителе.

Долговечность ионистора зависит от условий эксплуатации. Так, при работе под напряжением $U_{\text{НОМ}}$ при температуре окружающей среды $+70^\circ\text{C}$ гарантированная долговечность составит 500 ч. При работе под напряжением $0,8 U_{\text{НОМ}}$ она увеличивается до 5000 ч. Если же напряжение на ионисторе не превышает $0,6 U_{\text{НОМ}}$, а температура окружающей среды менее $+40^\circ\text{C}$, то ионистор будет исправно работать 40000 ч и более.

Важнейший параметр ионистора – ток утечки. Это особенно важно при использовании его в качестве резервного источника питания. Весьма перспективен ионистор в качестве накопителя энергии при работе совместно с солнечными батареями. Здесь особенно ценна его не критичность к режиму заряда, практически неограниченное число циклов заряд–разряд. Ионистор не требует ухода в течение всего срока службы.

1.3. Намоточные компоненты

1.3.1. 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.

На приложенных ниже чертежах (рис. 1.7) представлены воздушные (то есть не имеющие ферромагнитного стержня) дроссели, которые достаточно просто изготовить самостоятельно.

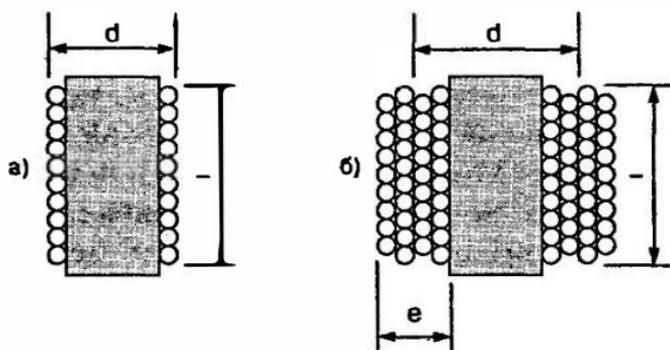


Рис. 1.7. Изготовление дросселя с однослойной (а) и многослойной (б) намоткой

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.

1.3.2. 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 обмоток выполняется по схеме, приведенной на рис. 1.8.

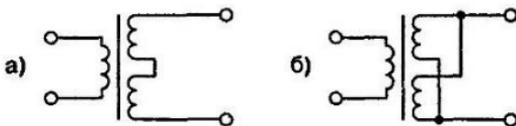


Рис. 1.8. Последовательное (а) и параллельное (б) соединение вторичных обмоток трансформатора

Для некоторых моделей (например, сториоидальным сердечником) при отсутствии документации необходимо с помощью осциллографа исследовать напряжения на обмотках во избежание соединения их в противофазе. Иначе возникает риск перегрева и выхода из строя трансформатора и находящихся рядом деталей (не говоря уже об отсутствии напряжения на выходе).

1.3.3. Монтаж тороидальных трансформаторов

Тороидальные трансформаторы обычно используются в устройствах высокой мощности, поскольку занимают значительно меньше места, чем классические модели с Ш-образным сердечником. 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 в целом.

1.3.4. Крепление трансформатора

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. 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.

1.3.5. 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.

1.3.6. Маркировка отечественных трансформаторов

При выборе необходимого трансформатора радиолюбители иногда сталкиваются с проблемой маркировки магнитопроводов. Некоторые особенности обозначений типоразмеров приведены ниже.

Магнитопровод трансформатора из тонких штампованных металлических пластин обозначают как Ш20×15. Это значит, что ширина средней части Ш-образной пластины должна быть 20 мм, а толщина стопки сложенных вместе

пластин должна составлять 15 мм. Малогабаритные трансформаторы имеют обозначение ША8×10 или ШВ3×4.

Типоразмер ленточного броневых магнитопровода обозначается так же, как и пластинчатого, например ШЛ12×16, ШЛМ16×25, ШЛО8×10. Обозначение тороидального магнитопровода несколько иное, например ОЛ20/32–16, где 20 – внутренний диаметр, 32 – внешний диаметр, 16 – ширина ленты (размеры в миллиметрах).

Обозначение типоразмера Ш-образного ферритового сердечника совпадает с маркировкой магнитопровода из штампованных металлических пластин и имеет вид Ш8×8. Кольцевой ферритовый сердечник имеет маркировку К10,0×6,0×4,5, где 10,0 – внешний диаметр, 6,0 – внутренний диаметр, 4,5 – ширина кольца (размеры в миллиметрах).

1.4. Полупроводниковые приборы

1.4.1. Охлаждение мощных приборов

Для увеличения пропускаемого тока безопасного перегрева применяется охлаждение приборов. Охлаждение предусматривается для силовых диодов и тиристоров в энергетике и для мощных диодов, транзисторов и тиристоров в электронике. Воздушное охлаждение осуществляется путем присоединения к прибору радиатора. Радиаторы могут быть медными или алюминиевыми.

Большое значение имеет проблема контакта прибора с радиатором. При этом должно быть плотное затягивание резьбы, но без ее повреждения. В случае применения алюминия для радиаторов проблема контакта заключается в том, что имеется большая электрохимическая разность потенциалов медь–алюминий – около 1,8 В. Попадание влаги вызывает коррозию алюминия, поэтому применяется гальваническое покрытие основания прибора. Ясно, что без охлаждения, если оно предусмотрено конструкцией, полупроводниковый прибор не сможет обеспечить необходимый режим работы и выйдет из строя.

1.4.2. Температурный дрейф параметров диода

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, приведенный на рис. 1.9, является примером схемы, очень чувствительной к температуре.

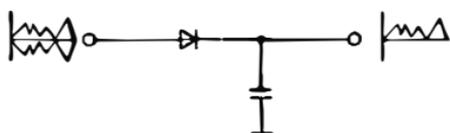


Рис. 1.9. Диодный детектор пиков

1.4.3. Подключение светодиода 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. 1.10), представляющей собой упрощенный вариант источника питания, в котором для понижения напряжения используется конденсатор.

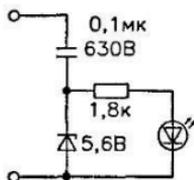


Рис. 1.10. Схема включения светодиода в цепь переменного напряжения

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.).

1.4.4. Подбор яркости свечения светодиода

Прежде чем фиксировать величину резистора, ограничивающего ток в цепи питания светодиода, желательно испытать светодиод, который будет использоваться, при различных токах (не допуская превышения предельного значения тока). 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.

1.4.5. Применение светодиода в источнике тока

Светодиод имеет весьма стабильные электрические характеристики и используется не только в качестве светового индикатора.

Например, он может применяться в прецизионном усилителе 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.

1.4.6. Обозначение выводов транзисторов

Для обозначения выводов биполярных транзисторов, относящихся к базе, эмиттеру и коллектору, применяют буквы кириллицы или латиницы Б (В – Base), Э (Е – Emitter) и К (С – Collector) соответственно. На значке схемного обозначения транзистора стрелка указывает условное направление тока в эмиттере от плюса к минусу (рис. 1.11а).

Для обозначения выводов полевых транзисторов, относящихся к затвору, стоку и истоку, применяют буквы кириллицы или латиницы З (G – Gate), С (D – Drain) и И (S – Source) соответственно (рис. 1.11б).

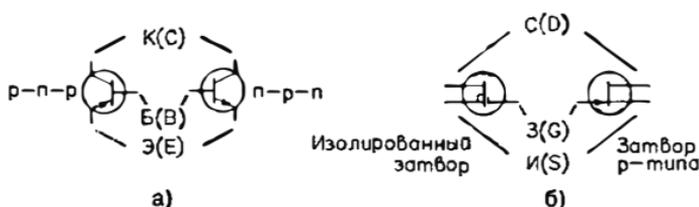


Рис. 1.11. Обозначение выводов биполярных (а) и полевых (б) транзисторов на электрической схеме

1.4.7. Защита управляющего транзистора

Для управления реле обычно используются дискретные транзисторы или микросхемы, содержащие матрицу транзисторов. Параллельно обмотке реле всегда включается защитный диод (рис. 1.12). При протекании тока управления

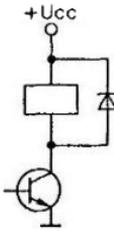


Рис. 1.12. Схема защиты управляющего транзистора

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.

1.4.8. Транзистор Дарлингтона

Интегральный транзистор Дарлингтона обладает весьма привлекательными характеристиками: очень высоким усилением по току (порядка 1000), значительной допустимой рассеиваемой мощностью и малыми размерами. Некоторые типы содержат также защитный диод, включенный между эмиттером и коллектором (рис. 1.13). Это удобно для непосредственного управления индуктивной нагрузкой, например реле. Однако при проведении проверки транзистора с помощью тестера необходимо помнить о существовании диода.

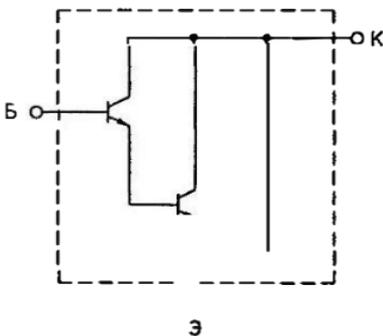


Рис. 1.13. Структура транзистора Дарлингтона с защитным диодом

1.4.9. МОП транзистор

Полевые транзисторы с изолированным затвором (МОП транзисторы) отличаются по характеристикам от биполярных

транзисторов. Как правило, они используются в качестве переключателей, хотя 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 мало-мощных приборов и порядка 0,1 Ом для 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 регулятором 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. 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 встроенного в него 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.

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 большие 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).

Для наиболее распространенной схемы включения с общим истоком управляющим напряжением является $U_{зи}$, а выходным напряжением – $U_{си}$ (рис. 1.14а). 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 отдельному резистору (рис. 1.14б). Примеры управления МОП транзистором с помощью логического инвертора и каскада на биполярных транзисторах показаны на рис. 1.14в,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 затвор фактически изолирован

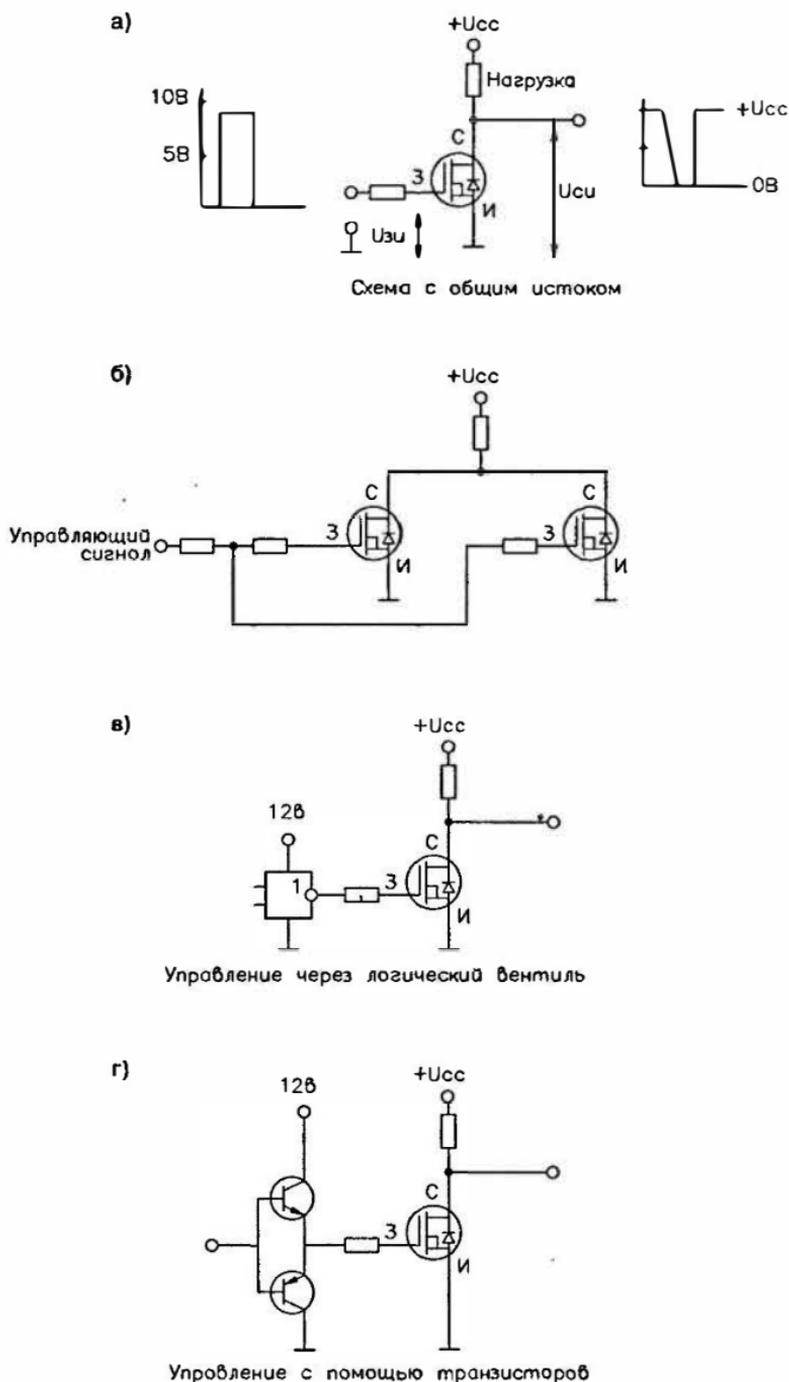


Рис. 1.14. Схемы включения МОП транзистора: схема с общим истоком (а), параллельное включение МОП транзисторов (б), управление через логический вентиль (в) и управление с помощью транзисторов (г)

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 принимать любое значение, что, в частности, может вызвать открывание 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).

1.4.10. 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).

Отличительной особенностью оптопар является значительный разброс параметров от одного экземпляра к другому. Для проверки их характеристик достаточно построить небольшую схему, показанную на рис. 1.15.

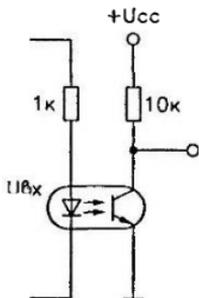


Рис. 1.15. Схема включения оптопары

Уровень входного напряжения, нужного для переключения выходного транзистора в режим насыщения (низкоомное состояние), может изменяться на несколько вольт для разных экземпляров прибора одного типа. В цифровой электронике

этот разброс не играет существенной роли при правильном выборе входного напряжения $U_{вх}$ и сопротивления в цепи светодиода (чтобы переключение на выходе осуществлялось одинаково для всех приборов). В аналоговых схемах дело обстоит иначе, поэтому для обеспечения надежной работы необходимо предусмотреть ручную регулировку входного напряжения $U_{вх}$ в достаточно широких пределах.

Наиболее распространенные оптопары имеют корпус DIP6. Два вывода относятся к светодиоду, а три – к транзистору, один вывод не задействован. Имеющийся вывод базы транзистора используется очень редко. Если этот вывод остается свободным, он, подобно антенне, 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 DIP4, не имеющей вывода базы фототранзистора или включающей фотодиод. Следует иметь в виду, что для таких корпусов предусмотрены различные варианты расположения выводов. Некоторые типы оптопар исполняются в двух вариантах, единственное различие между которыми заключается в инверсном расположении выводов, соответствующих коллектору и эмиттеру фототранзистора.

1.4.11. Фотодиод 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 видеотехника. Кодирование управляющих 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. 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 попадать на прибор.

1.5. Датчики

1.5.1. 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. 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. 1.16). Аналогичный эксперимент можно провести и с диодом.

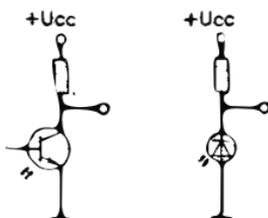


Рис. 1.16. Датчик освещенности

1.5.2. 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 лишенное изящества решение (рис. 1.17).

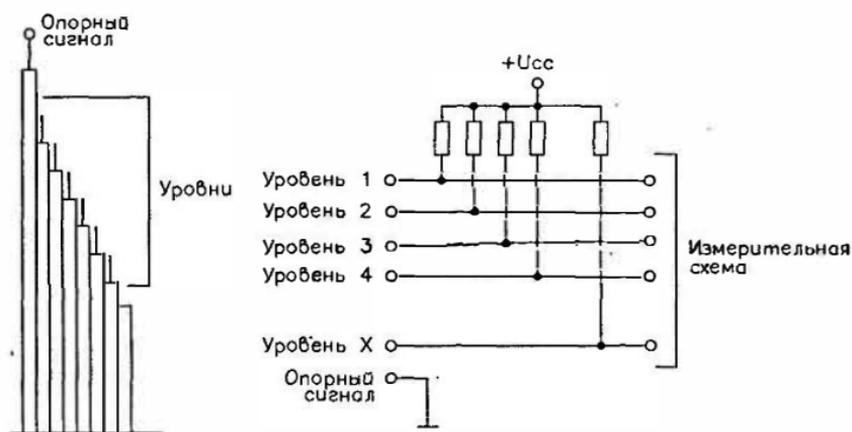


Рис. 1.17. Датчик уровня жидкости

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 хомутки 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.

1.5.3. Датчик температуры из транзистора

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, необязательно специализированные. Измерить температуру можно и с помощью обычного транзистора, как это сделано в схеме на рис. 1.18.

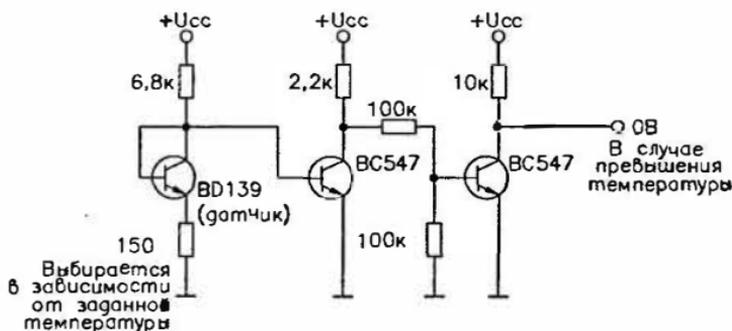


Рис. 1.18. Измеритель температуры на транзисторном датчике

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 80–100 °С). 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.

1.5.4. Датчик температуры на микросхеме

Широко распространенная микросхема типа DS1620 принадлежит к новому поколению специализированных схем, выполняющих широкий диапазон функций. Она размещена в простом корпусе DIP8. Однако для работы с микросхемой требуется микроконтроллер. 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 $+125$ °C. Результат измерения представляется в виде девятибитного сигнала с точностью $0,5$ °C.

Для управления ИС микроконтроллером требуется три линии. Одна из них должна быть двунаправленной. Последнее требование выполняется редко. Чтобы его обойти, можно использовать простой каскад на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером (рис. 1.19).

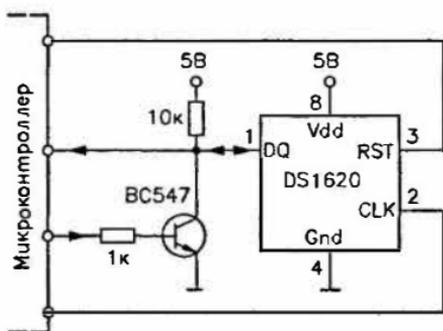


Рис. 1.19. Датчик температуры на микросхеме

Это позволяет заменить одну двунаправленную линию двумя обычными линиями, соединенными с входом и выходом каскада. Следует напомнить, что такая схема инвертирует сигналы, поступающие от микроконтроллера. Поэтому необходимо либо добавить инвертор, либо соответствующим образом изменить программу. Достаточно простой вариант программы обычно приводится в технической документации, которую рекомендуется приобрести вместе с микросхемой.

1.6. Механические и другие компоненты

1.6.1. Предохранитель

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 основании в виде вилочной части стандартного двухконтактного разъема, розеточную часть которого можно припаять непосредственно к печатной плате.

1.6.2. 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, поэтому любой намагниченный элемент, расположенный вблизи реле, может нарушить его работу. Возможной причиной сбоя может стать, например, громкоговоритель, содержащий сильный магнит. При этом иногда возникает непростая для анализа ситуация: сбой проявляется только тогда, когда устройство находится на своем рабочем месте.

1.6.3. Реле с самоблокировкой

В электротехнике широко используется реле с самоблокировкой, у которого питание обмотки осуществляется через одну из пар контактов. Такая схема имеет ряд достоинств по сравнению со схемами, содержащими только выключатели. В частности, она позволяет избежать ситуации, когда нагрузка, отключившаяся из-за снятия напряжения питания, неожиданно включается снова при возобновлении питания. Используя реле, 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. 1.20а,б, показаны два упомянутых варианта применения реле с самоблокировкой. Кроме этого, представлена схема включения индикатора отсутствия напряжения сети (рис. 1.20в).

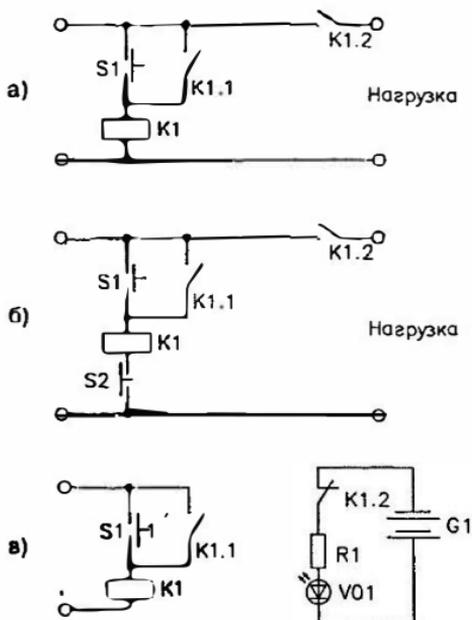


Рис. 1.20. Варианты включения реле с самоблокировкой

Индикаторный светодиод подключен к батарейке 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 отпущания 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.

1.6.4. Применение пьезоэлементов

В небольшом плоском пьезоэлементе возбуждаются механические колебания на звуковой частоте, равной частоте поданного на его контакты напряжения. Это позволяет использовать такой 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 с номиналом порядка 1 МОм.

1.6.5. Компоненты с поверхностным монтажом

Компоненты с поверхностным монтажом (КПМ) в основном применяются для серийного изготовления электронной аппаратуры. В литературе также встречается название «компоненты SMD», заимствованное из иностранных источников. 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 бывают ситуации, когда КПМ могут понадобиться любителю. Во-первых, иногда их приходится применять из-за дефицита доступной поверхности платы (использование ИС в корпусах FLAT, LCC, PLCC, SO, FP, VSO). 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.

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. Что касается логических микросхем, то здесь 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 или справочной литературы от применения КПМ лучше отказаться. Тем более что обозначения аналогичных компонентов от разных производителей могут не совпадать. Расположение выводов приборов также может оказаться нестандартным.

Глава **2**

Каскады электронных схем

В данной главе рассматриваются общие вопросы разработки электронных схем. Каждый читатель в соответствии со своим уровнем подготовки сможет почерпнуть в данном разделе новые знания об 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.

2.1. Простейшие схемы

2.1.1. Полярность питающего напряжения

В отечественной литературе по электронике часто приводятся электрические схемы из зарубежных источников

в оригинальном исполнении, без учета требований ЕСКД. И если с графическими и буквенными обозначениями электрорадиоэлементов начинающий радиолюбитель еще может разобраться, то определение полярности питающего напряжения вызывает определенную трудность. Этот вопрос особенно актуален, когда осуществляется питание от двуполярного источника и на схеме имеется обозначение как V_{CC} , так и V_{SS} . Неопытного любителя такая ситуация может завести в тупик. В такой ситуации надо четко запомнить: для питания схем с полупроводниковыми элементами $p-n-p$ типа используется положительное напряжение $+U_{CC}$ (в иностранных источниках V_{CC}), а для схем с элементами $n-p-n$ типа – отрицательное напряжение $-U_{CC}$ (в иностранных источниках V_{SS}).

2.1.2. 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 полезно задать ток, потребляемый делителем. Данный параметр часто важен и сам по себе, особенно когда схема работает от батарейки и желательно обеспечить минимальную потребляемую мощность.

На рис. 2.1 представлен делитель с тремя резисторами, один из которых является потенциометром. Допустим, необходимо получить регулятор напряжения от 1,5 до 2,5 В.

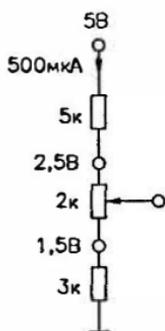


Рис. 2.1. Делитель напряжения

Вначале зададим максимальный ток, который будет протекать по делителю, равным 500 мкА при напряжении питания 5 В. Отсюда сразу можно определить номинал потенциометра. Он равен 2 кОм (при условии падения напряжения на нем 1 В 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.

2.1.3. 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, поступающие на дифференцирующую цепочку, преобразовываются в импульсы различной полярности, которые при необходимости легко разделить (рис. 2.2). Параметры резистора и конденсатора выбирают с учетом нужной длительности выходных импульсов τ в соответствии с соотношением $\tau \approx RC$.

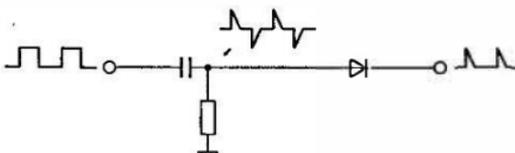


Рис. 2.2. Дифференцирующая цепочка

2.1.4. 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. 2.3). Их номиналы выбираются в зависимости от минимальной

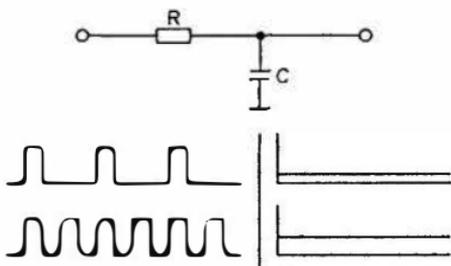


Рис. 2.3. Интегрирующая цепочка

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 кГц . Если взять более низкое значение RC , на постоянное выходное напряжение будут накладываться заметные колебания пилообразной формы, искажающие преобразованный сигнал.

2.1.5. Подавитель дребезга контактов

Часто бывает так, что при нажатии на кнопку замыкание ее контактов происходит несколько раз из-за так называемого дребезга. В цифровых схемах это приводит к неправильной работе устройства. Устранить этот недостаток способна простая схема, использующая RS-триггер (рис. 2.4), например К555ТР2. Такой компонент может служить полезным дополнением к кнопочному выключателю, расположенному на лицевой панели.

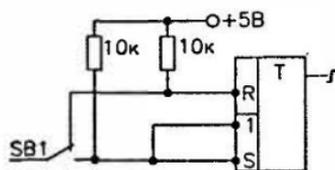


Рис. 2.4. Подавитель дребезга контактов

2.1.6. Частотные фильтры

На рис. 2.5 приведено несколько классических схем пассивных и активных фильтров низких и высоких частот. Они используются в разнообразных устройствах, начиная с НЧ усилителей и заканчивая цифро-аналоговыми преобразователями. На каждой схеме указаны формулы для вычисления частоты среза фильтра F_c .

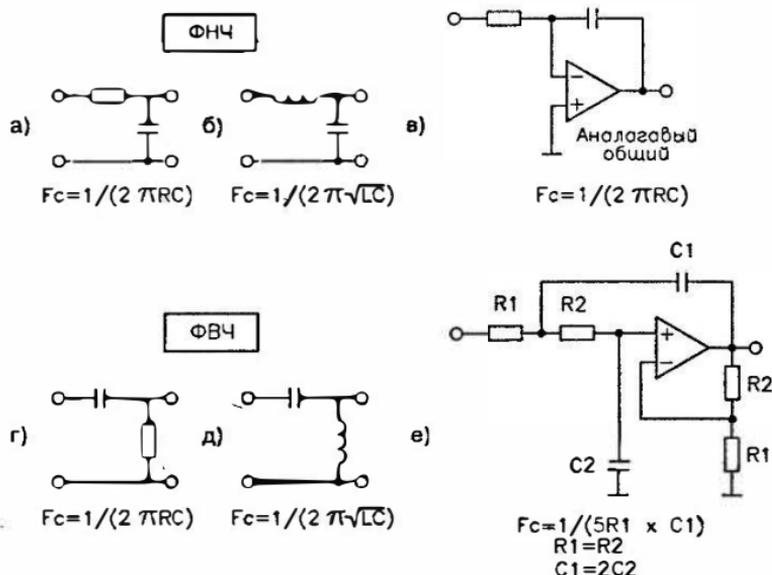


Рис. 2.5. Простые схемы ФНЧ (а, б, в) и ФВЧ (г, д, е)

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 двухполярным питанием можно создать искусственную точку опорного уровня. В устройствах, работающих на частотах ниже 100 кГц, можно использовать операционный усилитель любого типа.

2.1.7. Удвоитель напряжения

Удвоитель напряжения (в общем случае множитель напряжения) представляет собой определенное соединение диодов и конденсаторов. Этот принцип построения давно используется для получения очень высоких напряжений, например, в телевизорах или в устройствах для ионизации газа. Небольшая схема, представленная на рис. 2.6, применяется для получения постоянного напряжения, приблизительно вдвое превышающего напряжение на входе.

Для работы схемы необходим сигнал прямоугольной формы низкой частоты. В данной схеме используются только

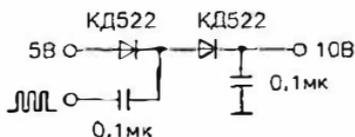


Рис. 2.6. Удвоитель напряжения

положительные импульсы, что отличает ее от классических удвоителей, работающих от сети или от синусоидального напряжения, снимаемого с вторичной обмотки трансформатора.

2.1.8. 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 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. 2.7а,б).

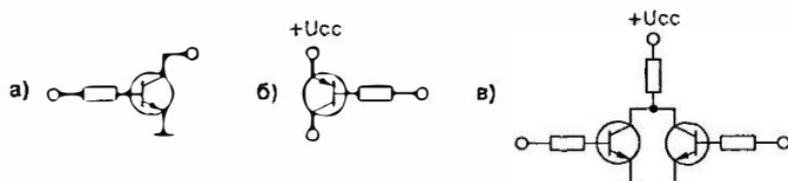


Рис. 2.7. Схемы с открытым коллектором

Выше уже описывалось одно из преимуществ этой концепции – возможность параллельного соединения нескольких идентичных схем. Выходы элементов с открытым коллектором соединяются, на этом основано построение логических устройств с тремя состояниями.

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 $+U_{cc}$ или $-U_{cc}$ (для

транзисторов типа $n-p-n$ или $p-n-p$ соответственно). Он фактически выполняет функцию нагрузочного резистора в цепи коллектора. При параллельном включении двух или более каскадов достаточно будет одного общего резистора (рис. 2.7в). Его номинал определяется в зависимости от токов, которые должны протекать по коллекторным цепям транзисторов.

2.1.9. 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. 2.8а): у двух комплементарных транзисторов, включенных по схеме с общим коллектором, соединены эмиттеры и базы.

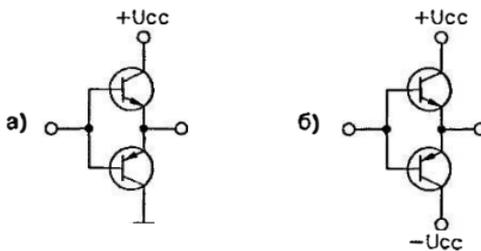


Рис. 2.8. Двухтактный каскад

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 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 важен для выходных каскадов. С целью устранения описанной проблемы необходимо обеспечить симметричное питание двухтактного каскада, то есть применить дополнительный источник отрицательного напряжения (рис. 2.86).

2.1.10. Компаратор на транзисторе

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. 2.9.

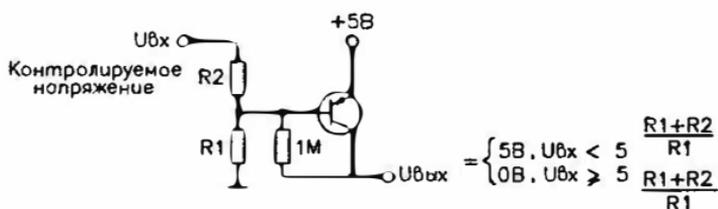


Рис. 2.9. Компаратор на транзисторе

Транзистор р-п-р типа сравнивает опорное напряжение на эмиттере с частью контролируемого напряжения, поданной на базу через резистивный делитель R_1R_2 . 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 питания.

2.1.11. 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°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 приведет к быстрому износу контактов. В действительности регулятор включается при 19°C , а выключается примерно при 21°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. 2.10а).

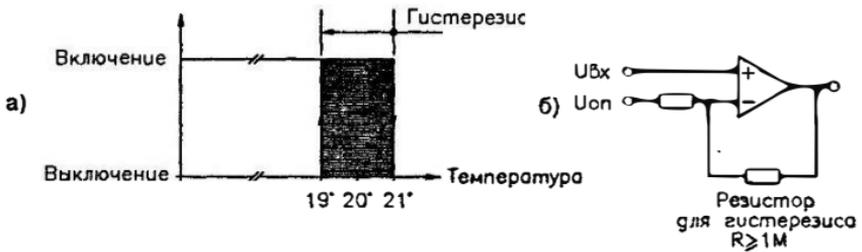


Рис. 2.10. Схема реализации гистерезиса

В электронике все процессы развиваются гораздо быстрее, и нередко приходится искусственно создавать задержку для снижения частоты переключения. В качестве примера на рис. 2.10б приведена схема компаратора на базе операционного усилителя.

Устройство сравнивает регулируемое напряжение $U_{вх}$ с опорным $U_{оп}$, 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.

2.2. Операционные усилители

2.2.1. 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 дешевле, чем вдвоенный аналог LM358. В этом случае возникают проблемы паразитных колебаний и избыточного потребления тока. Для их разрешения неиспользуемые входы следует соединить по схеме повторителя напряжения, то есть вход + (плюс) с общей точкой, а вход – (минус) с выходом (рис. 2.11).

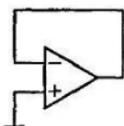


Рис. 2.11. Присоединение неиспользуемых входов ОУ

2.2.2. Уровень выходного сигнала

Операционный усилитель может с одинаковым успехом использоваться как в аналоговых приложениях (в усилителях и генераторах), так и в цифровых. В его характеристиках среди прочих 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. В этом случае включение реле на 5 В становится ненадежным. Светодиод никогда полностью не погаснет, а будет гореть с меньшей интенсивностью. В подобных случаях на выходе операционного усилителя рекомендуется поставить буферный каскад на транзисторе.

2.2.3. 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 $p-p-n$ транзисторе 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. 2.12). Оба усилителя включены по схеме компаратора, один для верхнего порога, другой – для нижнего.

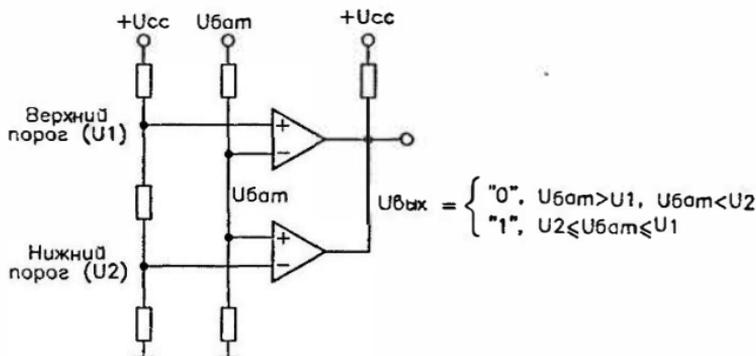


Рис. 2.12. Объединение выходов ОУ

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 одного из ОУ изменяется на противоположное. Не следует забывать о подключении нагрузочного резистора, общего для всех компараторов, к положительному выводу источника питания.

2.2.4. Буферный усилитель

Микросхема CD4050 содержит шесть буферных усилителей, функция которых состоит в повышении мощности слабых

сигналов до той величины, которая 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 также часто используется для управления мощными МОП транзисторами или источниками звуковых сигналов (рис. 2.13).

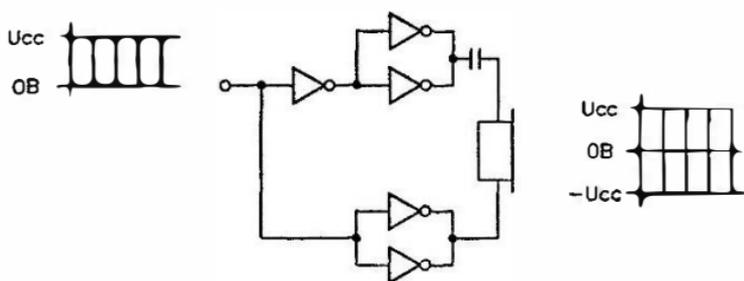


Рис. 2.13. Буферный усилитель

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

2.2.5. Опорный уровень

Операционные усилители часто используют для усиления переменного сигнала. Однако для усиления отрицательной полуволны нужно создать положительный опорный уровень напряжения. Такую опору, равную $U_{CC}/2$, формируют с помощью резистивного делителя $R1R2$ в сочетании с фильтрующим конденсатором $C2$ (рис. 2.14а).

В этом случае 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 на выходе усилительной цепи ставят разделительный конденсатор $C3$, устраняющий постоянную составляющую напряжения.

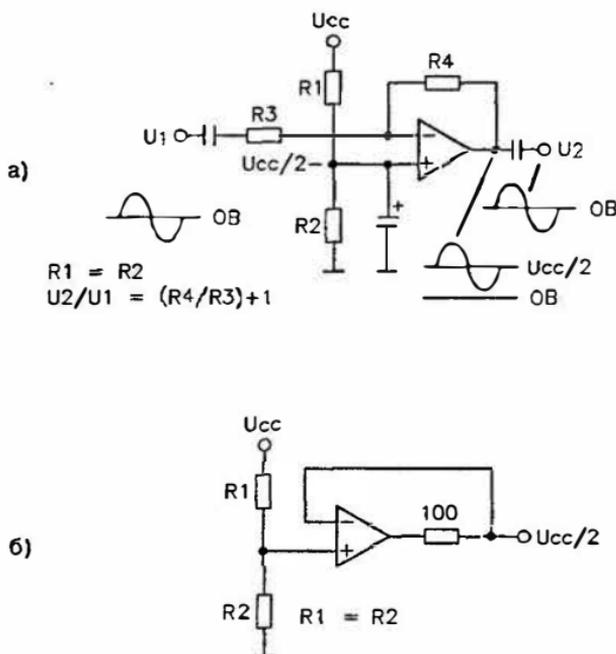


Рис. 2.14. Включение ОУ для получения опорного уровня (а) и стабилизированный источник опорного напряжения (б)

Опорный 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. 2.14б).

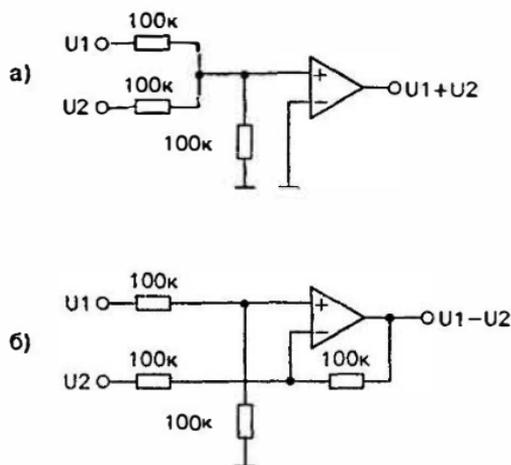


Рис. 2.15. Схемы аналоговых сумматора (а) и вычитателя (б)

2.2.6. Аналоговые сумматор и вычитатель

Сумматор и вычитатель напряжений входят в число базовых аналоговых схем на операционных усилителях (рис. 2.15). Они находят широкое применение, особенно для обработки и усиления сигналов, поступающих от датчиков физических величин, например температуры, механической нагрузки или показателя кислотности воды. Чтобы достичь нужной точности, следует соблюдать идентичность парных резисторов. Это требование играет более важную роль, чем точный подбор абсолютных значений сопротивлений.

2.2.7. 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 для их включения достаточно подать питание. 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 случае появляется возможность регулировать тональность звучания. С точки зрения схемотехники зуммер можно считать емкостной нагрузкой, поэтому во многих случаях параллельно ему следует подключать резистор (рис. 2.16).

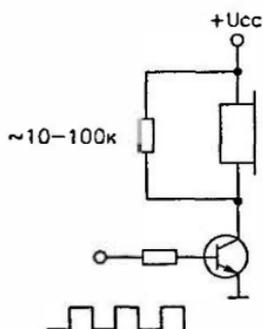


Рис. 2.16. Простой зуммер

2.3. Световые индикаторы

2.3.1. Буквенная индикация из цифровой

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 зависеть только от возможностей индикатора. На рис. 2.17 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. 2.17. Буквенная индикация на семисегментных индикаторах

2.3.2. Алфавитно-цифровые индикаторы на жидких кристаллах

Кроме классических семисегментных индикаторов имеется семейство так называемых алфавитно-цифровых индикаторов. Они могут отображать цифры, буквы и некоторые другие символы на одной или двух строках из 8 или 16 знаков с фоновой подсветкой или без нее. Такие модули имеют довольно сложную электронную начинку и управляются микроконтроллером через стандартный параллельный интерфейс в сочетании с тремя дополнительными управляющими вводами (рис. 2.18).

Выводы E и RS постоянно используются при работе, а вывод R/W, если он не используется для считывания содержимого внутренней памяти, должен быть заземлен через резистор.

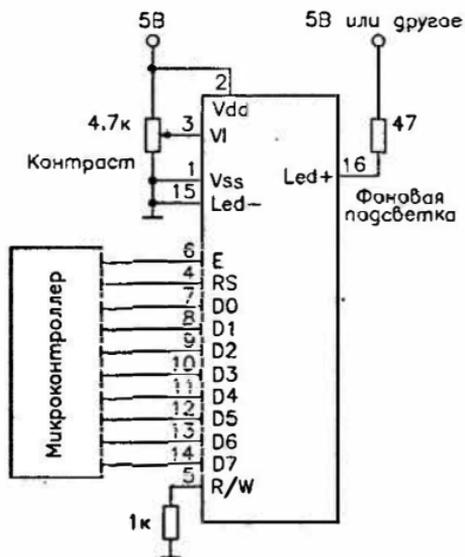


Рис. 2.18. Алфавитно-цифровой индикатор

Отметим, что индикатором можно управлять с помощью четырех битов вместо восьми. В этом случае, как ни странно, некоторые модели со строкой из 16 знаков начинают функционировать как двустрочные индикаторы, содержащие по восемь знаков на строку (реально же они остаются однострочными). 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 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.

2.3.3. Мультиплексирование многоразрядного индикатора

Как правило, семисегментным индикатором управляют посредством специализированной микросхемы декодирования (например, CD4511), включающей в себя четырехбитный дешифратор и несколько буферных каскадов для запуска каждого светодиода. Если для индикации необходимо использовать ряд цифр, задача существенно усложняется, поскольку при этом нужны схемы декодирования для каждой цифры (рис. 2.19а).

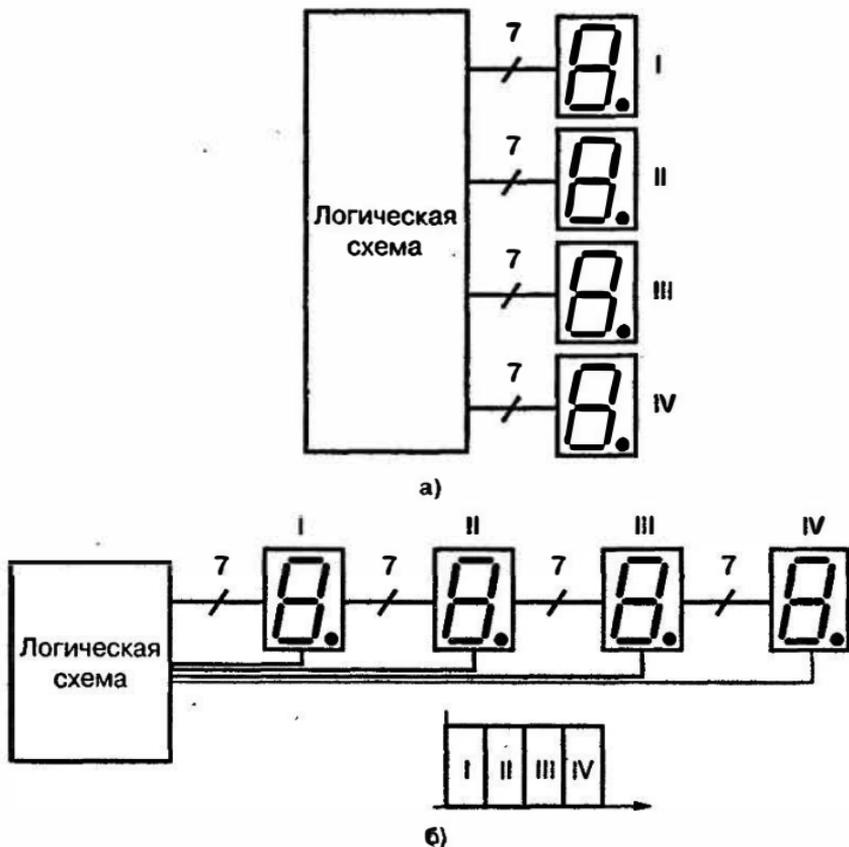


Рис. 2.19. Схема мультиплексирования индикатора

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 повторений слишком высока, яркость свечения снижается, при слишком низкой частоте появляется заметное мелькание. Подобная техника существенным образом упрощает электрические соединения и сокращает общее потребление энергии, поскольку в каждый момент времени горит только один индикатор.

На схеме, показанной на рис. 2.19б, 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.

2.4. Цифровые схемы

2.4.1. Синхронизация от сети

Напряжение электрической сети часто используется в электронных схемах в качестве опорного сигнала для генераторов тактовых импульсов или для синхронизации измерительных приборов. При измерении напряжений, содержащих остаточные пульсации на сетевой частоте, иногда проще произвести замер в

определенный момент, чем выполнять тщательную фильтрацию сигнала (рис. 2.20а). При выполнении дискретных измерений через заданные промежутки времени на вход прерывания микроконтроллера часто подают прямоугольный сигнал, синхронизированный с напряжением сети. В этом случае обычно создаются оптимальные условия для снижения погрешностей измерения, связанных с различными помехами и наводками.

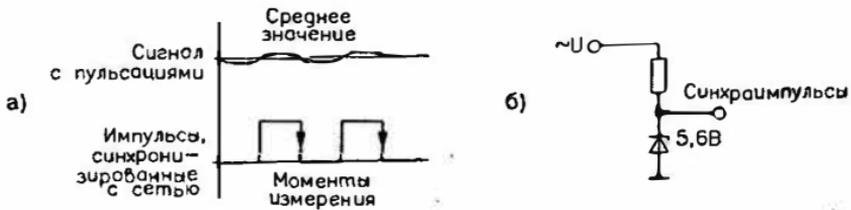


Рис. 2.20. Синхронизация от сети (а) и простая схема генератора синхроимпульсов (б)

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. 2.20б). Величина сопротивления рассчитывается на основании максимального потенциала в выбранной точке относительно общей точки схемы, а не на основании эффективного значения напряжения.

2.4.2. 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 низкого уровня к высокому или наоборот. В этом случае говорят о логическом элементе, управляемом передним или задним фронтом импульса. Схемы, реагирующие на положительный фронт, то есть на переход от логического нуля к единице, называют положительной логикой, а на переход от 1 к 0 – отрицательной. Эта характеристика всегда приводится в справочной документации на микросхему. Вход, рассчитанный на управление отрицательным фронтом, маркирован чертой сверху, обозначающей отрицание (рис. 2.21).

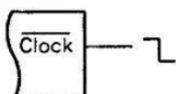


Рис. 2.21. Вывод ИС, реагирующий на отрицательную логику

В некоторых случаях, в частности для микросхемы CD4042 (четыре D-триггера), пользователь может сам выбрать тип запуска, подключая определенный вход к положительному или отрицательному напряжению. 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 D-триггера приведен на рис. 2.22.

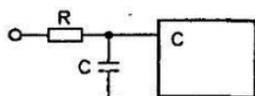


Рис. 2.22. Использование RC-цепочки в логических схемах

2.4.3. Классические импульсные устройства

Схемы, приведенные на рис. 2.23, представляют собой классические одновибраторы и мультивибраторы (генераторы прямоугольных импульсов).

В одновибраторах (рис. 2.23а,б) длительность выходного импульса не зависит от длительности импульса на входе. Первый одновибратор запускается положительным перепадом напряжения на входе, а второй – отрицательным. На рис. 2.23в представлен обычный мультивибратор, а на рис. 2.23г – мультивибратор с регулируемой длительностью импульсов. В схемах, представленных на рис. 2.23д,е, колебания возникают при подаче на вход логического сигнала соответственно низкого и высокого уровня. Мультивибратор на двух транзисторах (рис. 2.23ж) используется в низкочастотных устройствах. Такая схема может непосредственно управлять элементами со значительным потребляемым током, например лампочками или реле,

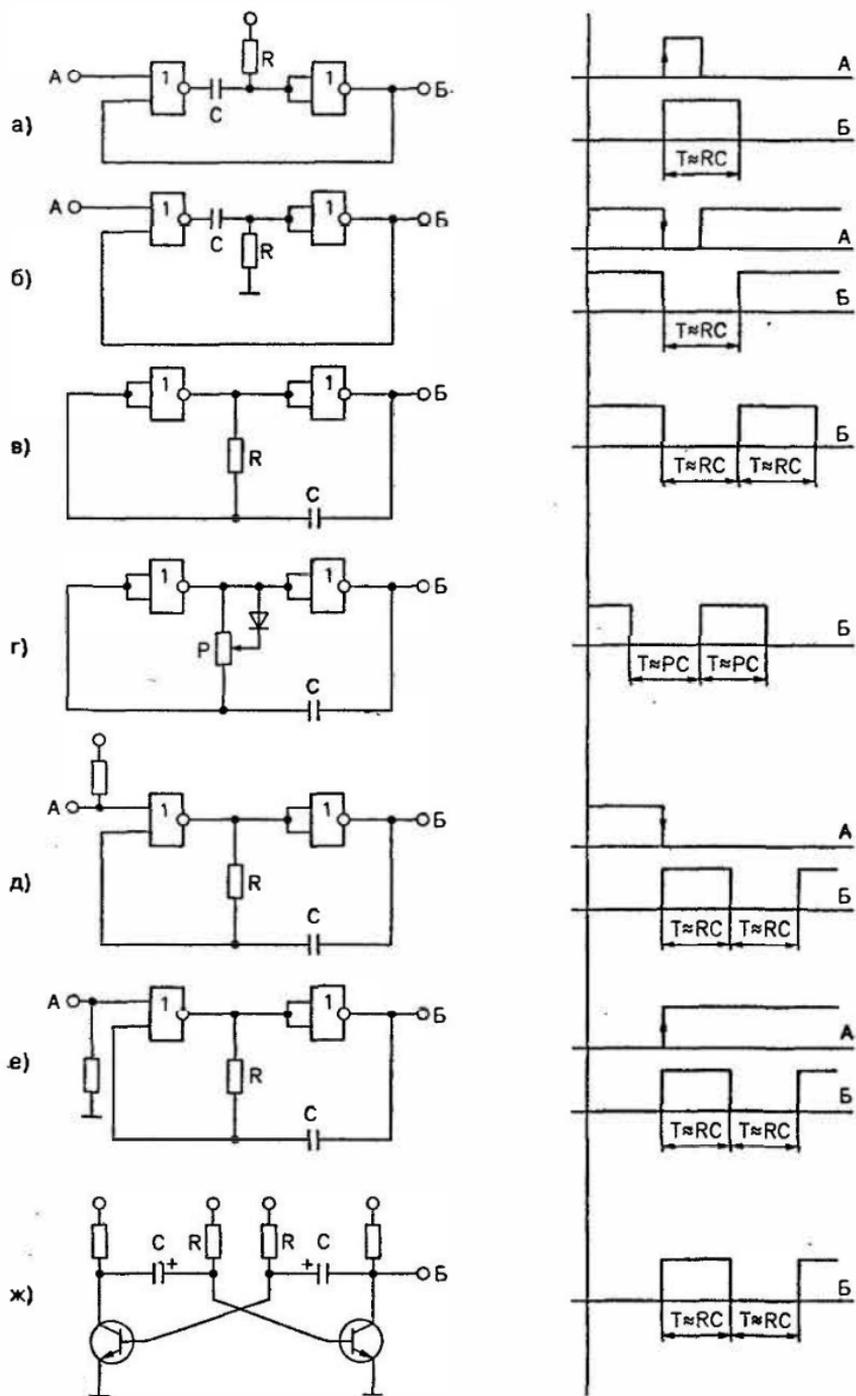


Рис. 2.23. Импульсные схемы

которые 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 приближенными, окончательный результат зависит от частоты, от типа вентиля, а также от напряжения питания. Применяются логические вентили, включенные по схеме инвертора, типа ИЛИ-НЕ или И-НЕ. Их можно также заменить простыми инверторами.

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 типа CD4060 и т.п.

2.4.4. Транзисторные матрицы

Управление несколькими светодиодами или реле осуществляется, как правило, с помощью нескольких одинаковых транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером. К каждому транзистору обычно 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. 2.24).

К каждому из транзисторов подключены защитный диод в цепи коллектора и резистор в цепи базы, позволяющий осуществлять непосредственное управление транзисторным ключом как в TTL 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,

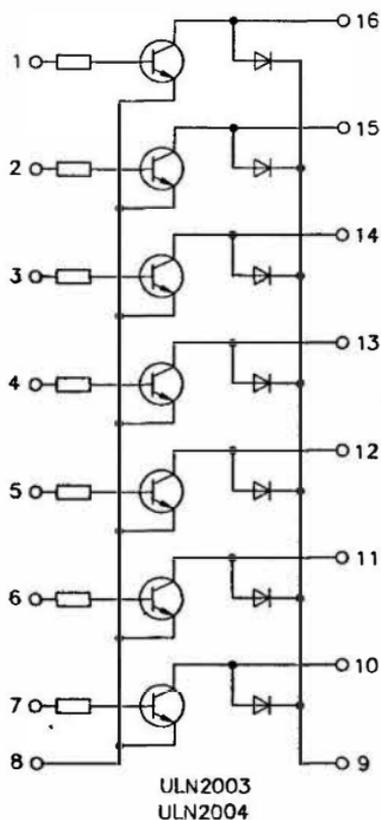


Рис. 2.24. Транзисторная матрица

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 восьмитранзисторных матриц – ULN2803 и ULN2804.

2.4.5. Согласование КМОП и ТТЛ схем

Еще совсем недавно все логические интегральные схемы принадлежали к семейству ТТЛ (транзисторно-транзисторной логики). Затем появились КМОП схемы и, наконец, комбинированные микросхемы, сочетающие преимущества обоих семейств.

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. Они способны работать при напряжении питания от 3 до 15 В. Недостатком таких приборов является их высокая чувствительность к статическому электричеству. Чтобы при работе приборы не выходили из строя, необходимо принимать специальные меры защиты. Однако в настоящее время практически все КМОП микросхемы изготавливаются со встроенной защитой от статического электричества.

Оба типа микросхем широко распространены, и нередко возникает необходимость сочетания в одном устройстве двух ИС различных типов. Это не вызывает 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. 2.25). Следует помнить, что такой каскад инвертирует логические сигналы и для восстановления полярности выходных импульсов после него потребуется включить дополнительный инвертор.

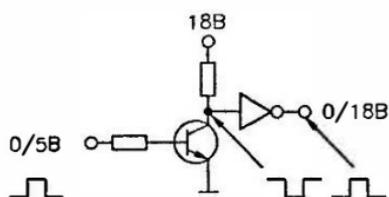


Рис. 2.25. Схема согласования ТТЛ и КМОП уровней

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

2.5. Триггеры и счетчики

2.5.1. 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-разрядный счетчик 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.

2.5.2. Двоичный счетчик как триггер

Триггеры (логические элементы с двумя устойчивыми состояниями) могут быть выполнены как в ТТЛ, так и в КМОП базе. В одном корпусе содержится как минимум два триггера. При их монтаже необходимо соединить между собой некоторые выводы, что усложняет рисунок печатной платы. Вместо этих компонентов можно взять любой двоичный счетчик (рис. 2.26)

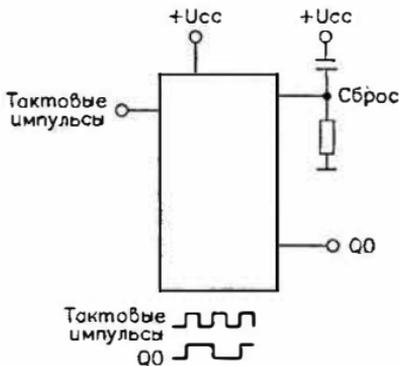


Рис. 2.26. Двоичный счетчик как триггер

и использовать в качестве выходного сигнала состояние бита с наименьшим весом (Q_0 или Q_1). Начальное состояние триггера можно выставить, подавая сигнал сброса на соответствующий вход счетчика.

Для решения рассмотренной задачи могут использоваться различные типы счетчиков. В зависимости от модели можно выбрать запуск по переднему или заднему фронту. Для уточнения этого вопроса следует обратиться к технической документации.

2.5.3. Блокировка счетчика микросхемы CD4060

Микросхема CD4060 пользуется большой популярностью у разработчиков цифровых устройств. На ее основе построены как простые, так и довольно сложные устройства. Микросхема содержит генератор импульсов, для задания параметров которого потребуется два внешних резистора и один конденсатор (или кварцевый резонатор), а также 14-каскадный двоичный счетчик (рис. 2.27). Число выводов корпуса (типа DIP16) не позволяет целиком использовать все 14 выходов счетчика.

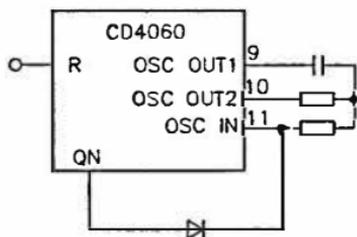


Рис. 2.27. Включение ИС CD4060

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 генератора OSC IN с одним из выходов счетчика 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 R (Reset).

2.5.4. Каскадирование счетчиков

Для обращения к ППЗУ большой емкости необходимо значительное число адресных линий. Например, для адресации к модели 27256 емкостью 8×32 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

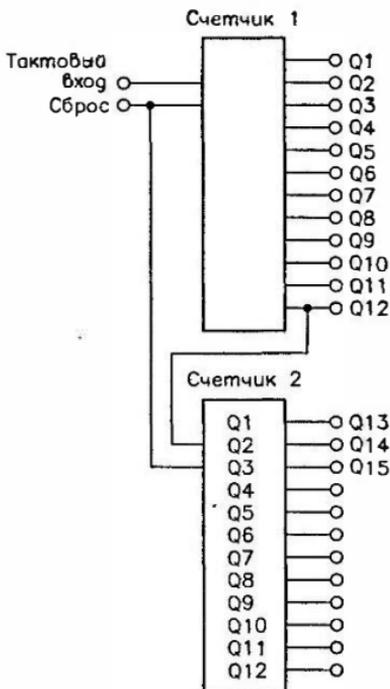


Рис. 2.28. Каскадное соединение счетчиков

CD4040 отлично подходит для решения этой задачи. Последний выход первого счетчика (Q12, если начинать отсчет от Q1), соединен с тактовым входом второго счетчика (рис. 2.28).

Входы обнуления 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 большого 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.

2.5.5. 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. 2.29).

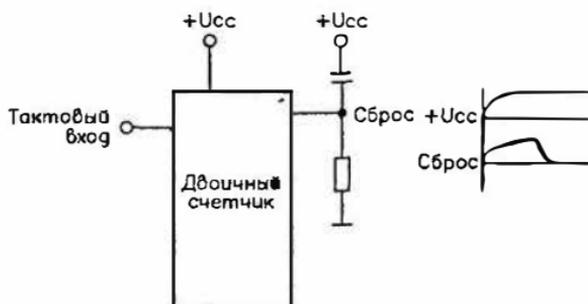


Рис. 2.29. Схема обнуления счетчиков

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.

2.5.6. 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 и 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 количеству светодиодов.

Если прибор содержит несколько однотипных модулей, разработка его схемы заметно усложняется. Более простое решение – использовать один или несколько двоичных счетчиков (рис. 2.30).

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 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.

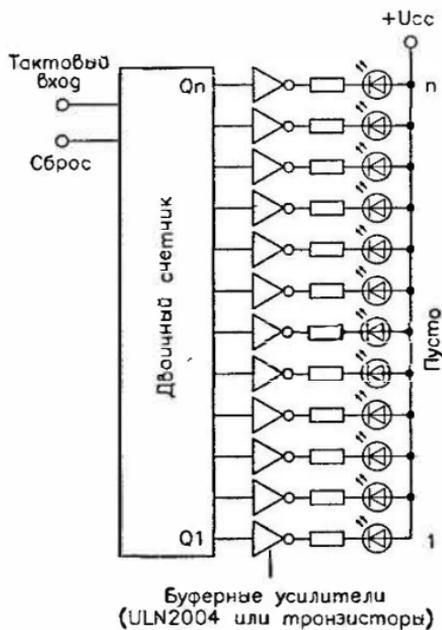


Рис. 2.30. Схема счетчика с индикатором

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. Не рекомендуется подключать светодиоды непосредственно к выходам счетчика, лучше использовать ряд буферных каскадов на основе микросхем или транзисторной матрицы.

2.5.7. Высокоомное состояние

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. Об этом уже упоминалось выше, когда речь шла о выходах схем с открытым коллектором. Использование высокоомного состояния лежит в основе принципа передачи цифровой информации по шине, связывающей несколько различных компонентов, которые взаимодействуют друг с другом (рис. 2.31).

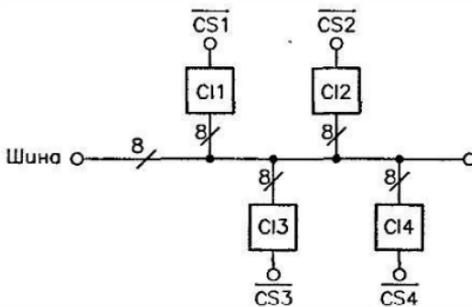


Рис. 2.31. Схема подключения к общей шине

Каждый разряд на выходе логических элементов, подключенных к общей шине, может принимать три состояния: логический ноль, 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. 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 к входу усилителя.

2.6. Применение генераторов

2.6.1. 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.

Есть несколько способов построения генератора тока, в том числе с применением специализированных схем. В простых схемах, представленных на рис. 2.32, используются стандартные

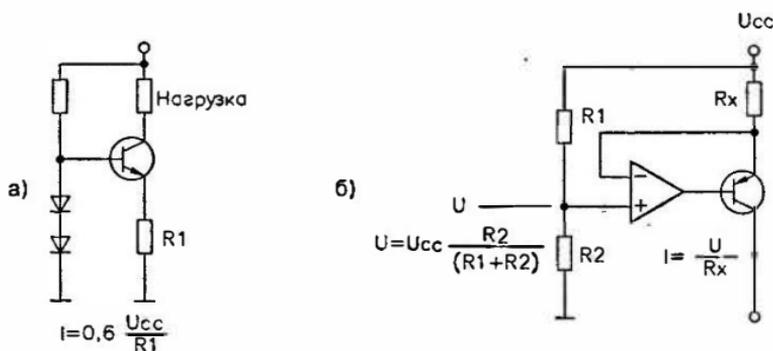


Рис. 2.32. Генератор тока на транзисторе (а) и на операционном усилителе (б)

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 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.

2.6.2. Генератор, управляемый напряжением

Генератор, управляемый напряжением (ГУН), представляет собой устройство, которое вырабатывает сигнал синусоидальной или прямоугольной формы. Он применяется в различных областях, например в системах ФАПЧ. 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. 2.33а представлен классический мультивибратор, у которого частота генератора определяется параметрами RC-цепи. Для управления частотой использован фоторезистор, сопротивление которого зависит от освещенности и изменяется путем варьирования напряжения на лампочке накаливания. Достоинством устройства является полная развязка цепи управления и генератора.

На рис. 2.33б показан фрагмент схемы ГУН на базе микроконтроллера. На выходе формируется последовательность стандартных импульсов с частотой, заданной программным способом (как в случае аналого-цифрового преобразователя). Эта последовательность поступает на интегрирующую RC-цепочку,

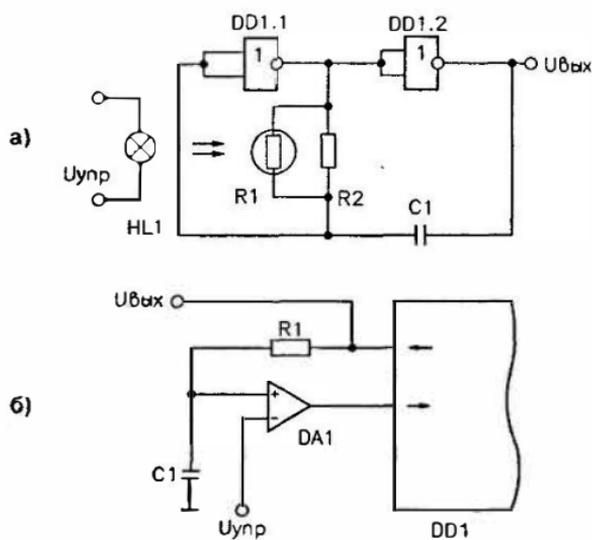


Рис. 2.33. Схемы ГУН на базе фоторезистора (а) и микроконтроллера (б)

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 программного задания частоты, соответствующей уровню управляющего сигнала.

2.6.3. 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 цифроаналогового преобразователя. Простая схема, представленная на рис. 2.34а, может выполнить эту функцию.

Принцип работы состоит в управлении зарядом и разрядом конденсатора через резисторы, поочередно подключаемые к нему с помощью двух выключателей. Если выключатель S1 замкнут, то конденсатор C1 будет медленно заряжаться через резистор R1 до напряжения питания U_{CC} . Если он разомкнут, конденсатор будет поддерживать на своих выводах

напряжение, до которого он был заряжен (при условии незначительного саморазряда). Когда замкнут выключатель S2, конденсатор C1 будет разряжаться через резистор R2. Скоростью нарастания и снижения напряжения можно управлять, варьируя величины R1 и R2.

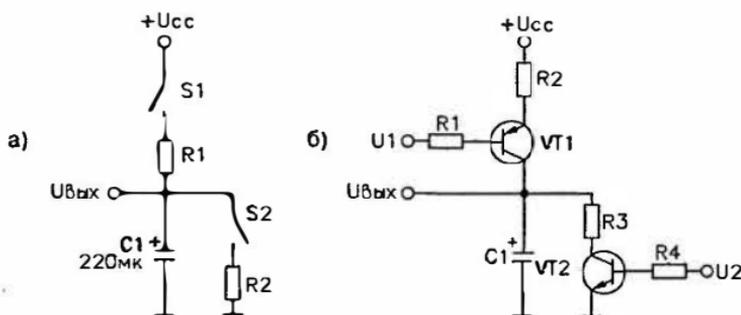


Рис. 2.34. Принцип построения генератора плавно изменяющегося напряжения (а) и схема генератора на транзисторах (б)

Напряжение с конденсатора обычно подается на буферный каскад с высоким входным сопротивлением. При необходимости оно дополнительно усиливается и используется для выполнения требуемой функции. Для практической реализации схемы остается выбрать тип выключателей: речь может идти о контактах реле, дискретных транзисторах (рис. 2.34б) или микросхеме (например, CD4016, которая содержит четыре ключа). Сигналы управления могут поступать от логических вентилей, счетчиков или от микроконтроллера.

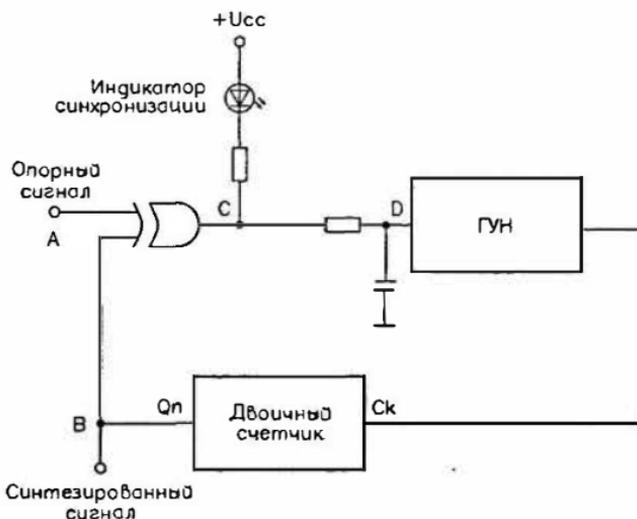
2.6.4. Фазовая автоподстройка частоты

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, частотное детектирование, устройства выборки и т.д.

Система ФАПЧ включает в себя два основных элемента (рис. 2.35а): фазовый компаратор и генератор, управляемый напряжением (ГУН).

В качестве компаратора используется вентиль, выполняющий логическую функцию Иключающее ИЛИ. Напомним, что такой вентиль переходит в состояние логического нуля

а)



б)

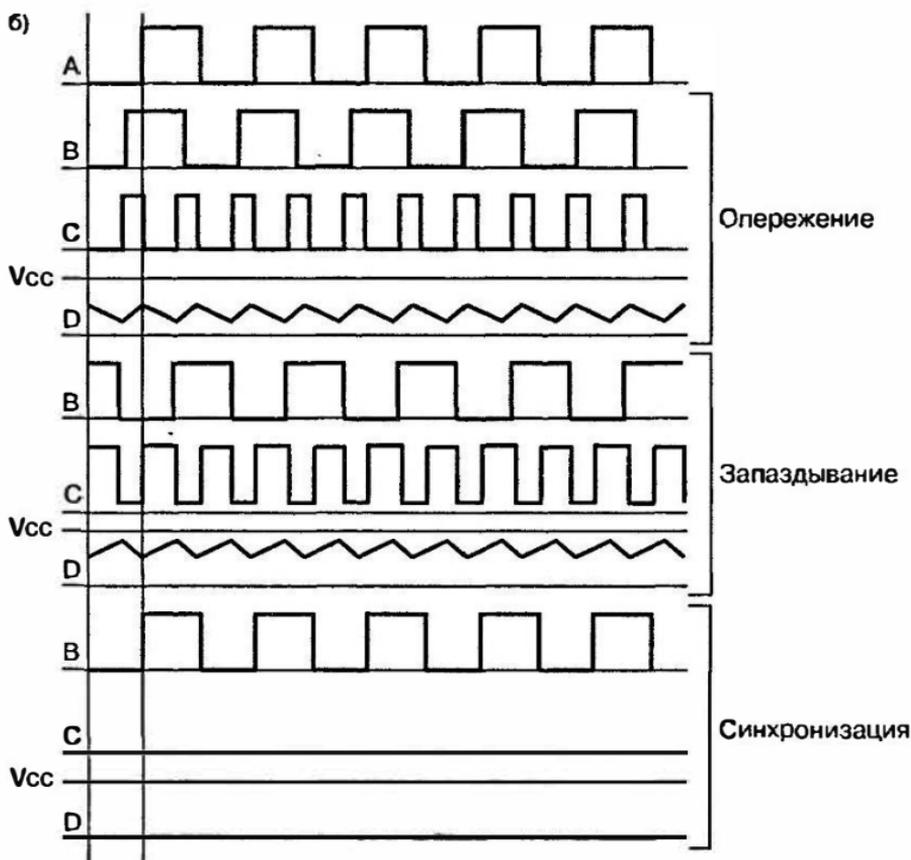


Рис. 2.35. Схема ФАПЧ (а) и элюры сигналов в точках схемы (б)

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 (рис. 2.35б). После интегрирования импульс преобразуется в управляющее напряжение и поступает на вход генератора, что обеспечивает корректировку частоты сигнала на его 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 и входом компаратора включают делитель частоты (двоичный счетчик). Например, если частота опорного сигнала составляет 50 Гц и используется счетчик, включенный по схеме умножителя на 128 (7 бит), то генератор будет функционировать на центральной частоте 6400 Гц (128×50). 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 устройства.

2.7. Применение интерфейсов

2.7.1. Согласование ТТЛ схемы с сигналом стандарта RS232

Стандарт RS232 (он определяет размещение выводов соединительных элементов типа DB9 и DB25) предполагает использование двух источников напряжения: -12 и +12 В. Однако для работы многих процессоров и периферийных устройств такое

напряжение питания не требуется. В большинстве случаев допустимым можно считать диапазон напряжений от ± 3 до ± 12 В. При этом крайне редко возникает необходимость в отрицательном напряжении питания для цифровых схем.

Наибольшее число классических устройств питается от источников положительного напряжения 5 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 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.

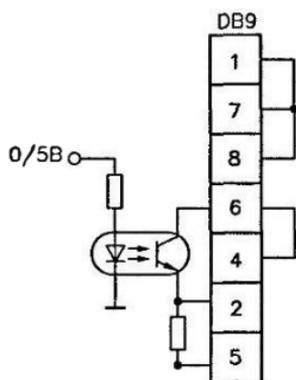


Рис. 2.36. Схема согласования с использованием оптопары

Простая схема для согласования TTL устройств (с уровнями сигналов 0/5 В) со стандартом RS232 показана на рис. 2.36. 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 В, подключенным к одному из неиспользованных контактов разъема DB9 или DB25.

2.7.2. Согласование сигнала стандарта RS232 с ТТЛ схемой

Обсудив в предыдущем разделе преобразование сигнала ТТЛ устройств к уровню ± 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. 2.37.

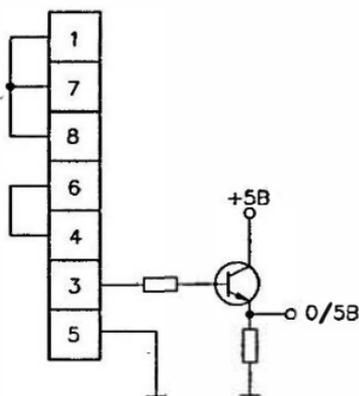


Рис. 2.37. Схема согласования на транзисторе

Информация, снимаемая со стандартного соединительного элемента, подводится к транзистору $p-n-p$ 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.

2.7.3. 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 9×100 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. 2.38).

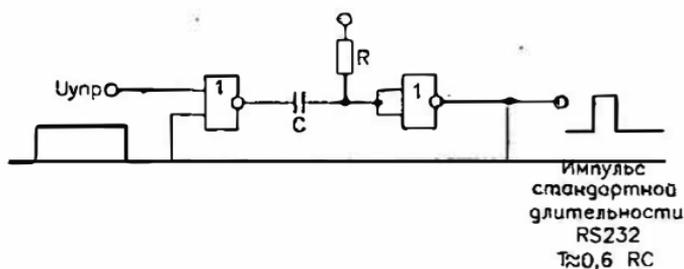


Рис. 2.38. Одновибратор

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 сигнал STOP, что вызовет ошибку передачи.

2.7.4. 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. 2.39, показаны некоторые соединения, которые необходимы при использовании разъема DB9 и его более старого аналога DB25.

Соединения выполняются по-разному в зависимости от того, предназначен ли интерфейс для связи двух компьютеров

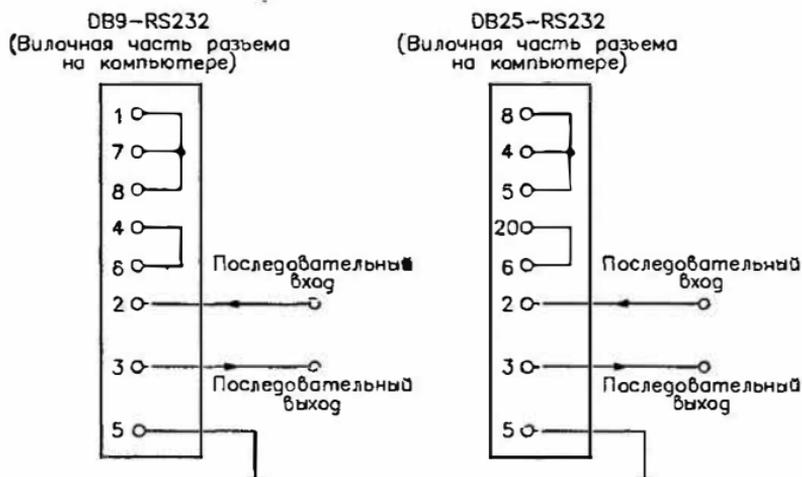


Рис. 2.39. Использование разъемов DB9 и DB25

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.

2.8. Источники питания

2.8.1. 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. 2.40). 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.

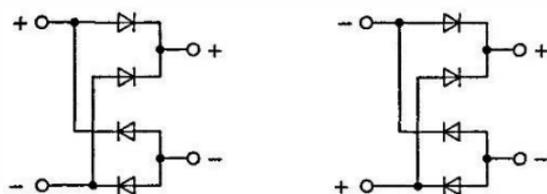


Рис. 2.40. Схема защиты против инверсии полярности

2.8.2. Диодные выпрямители

Чтобы создать источник постоянного напряжения питания, используют однополупериодное или двухполупериодное выпрямление. Типичные схемы выпрямителей приведены на рис. 2.41.

Первый вариант (с одиночным диодом, рис. 2.41а) применяется редко из-за низкого КПД и высоких пульсаций выходного напряжения. Наиболее популярен двухполупериодный мостовой выпрямитель, содержащий четыре диода (рис. 2.41б).

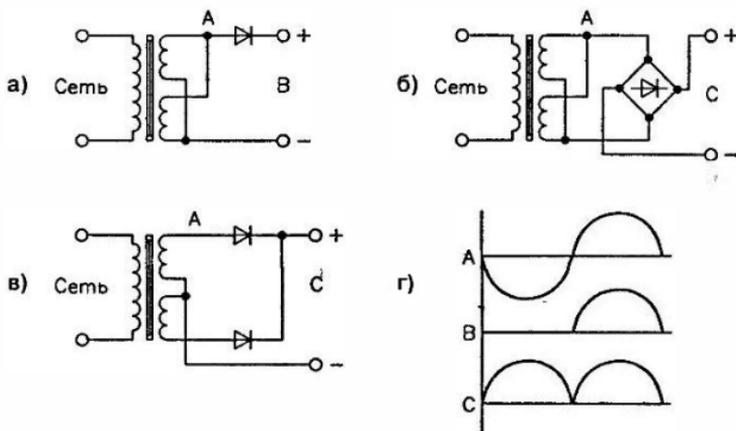


Рис. 2.41. Схемы выпрямителей

Многие трансформаторы имеют две вторичные обмотки, которые можно соединить последовательно, чтобы получить схему со средней точкой и двумя диодами (рис. 2.41в). Она выполняет ту же функцию, что и мостовой выпрямитель, но дешевле и занимает меньше места. На рис. 2.41г показана форма сигналов в различных точках: до выпрямителя (А), на выходе однополупериодного (В) и двухполупериодного (С) выпрямителя.

2.8.3. 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 корпусов ТО220 это положительный вывод, расположенный посередине), присоединив к нему один или нескольких диодов (рис. 2.42а). Добавление каждого диода увеличивает выходное напряжение приблизительно на 0,6 В.

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

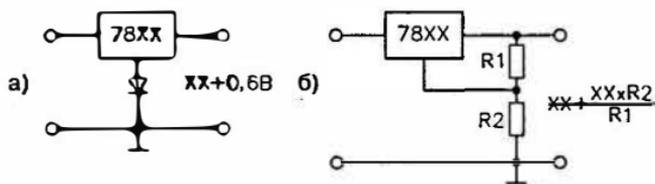


Рис. 2.42. Схема повышения выходного напряжения стабилизатора на диодах (а) и с использованием резистивного делителя (б)

Того же эффекта можно добиться при подключении к опорному электроду делителя (соответствующая схема и формула, позволяющая рассчитать выходное напряжение, показаны на рис. 2.42б). Регулировка коэффициента деления с использованием потенциометра дает возможность соответствующим образом изменять напряжение на выходе.

2.8.4. Защитный диод

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

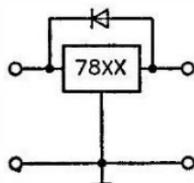


Рис. 2.43. Защитный диод в схеме стабилизатора

процесса происходит ее перезарядка. 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. 2.43).

2.8.5. 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 LM317, обладающую небольшим внутренним опорным напряжением высокой стабильности. В данном случае его величина составляет 1,2 В.

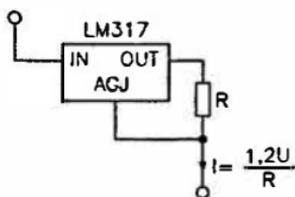


Рис. 2.44. Генератор тока из стабилизатора напряжения

Для задания тока достаточно включить последовательно с нагрузкой резистор (рис. 2.44). Следует иметь в виду, что в этом резисторе может выделяться значительная мощность. Генератор тока используется в самых разных областях, чаще всего он применяется для зарядки никель-кадмиевого аккумулятора.

2.8.6. 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 или 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. Так, микросхема 7805, имеющая выходное напряжение 5 В и максимальный ток 1 А, при питании от входного напряжения 9 В рассеивает мощность, равную $(9 - 5) \times 1 = 4$ (Вт).

Стабилизатор с входным напряжением 24 В и током 250 мА при выходном напряжении 5 В должен рассеивать мощность, приблизительно равную 4,75 Вт. При этом необходимо позаботиться об охлаждении устройства.

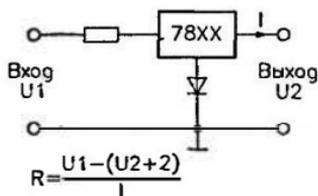


Рис. 2.45. Уменьшение входного напряжения

Схема, данная на рис. 2.45, 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 достигает значительной величины.

2.8.7. 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 в рассматриваемом случае 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. 2.46).

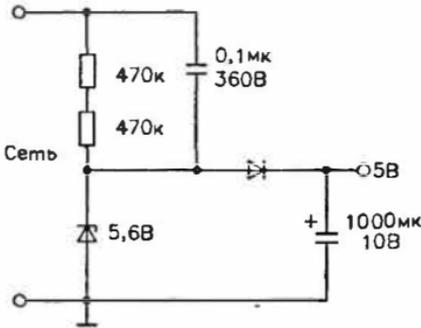


Рис. 2.46. Бестрансформаторный источник питания

Потребляемый от сети ток будет определяться емкостью конденсатора, точнее, его сопротивлением переменному току. Резисторы, подключенные параллельно конденсатору, обеспечивают его разряд после отключения устройства от сети.

На выводах стабилитрона формируется прямоугольное напряжение амплитудой 5,6 В. 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 0,1 мкФ. 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 220 В, 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.

2.8.8. Источник отрицательного напряжения

Иногда в устройстве необходимо создать отрицательное напряжение относительно общей точки, но по экономическим соображениям или из-за недостатка места нельзя использовать дополнительный источник питания. Зачастую при этом высокая точность и стабильность напряжения не нужны. К таким случаям относятся, например, задачи сопряжения цифрового устройства с последовательной цепью стандарта RS232 или обеспечение симметричного питания операционного усилителя в устройствах обработки аналоговых сигналов (речь, музыка и т.д.). Простая схема, приведенная на рис. 2.47, вполне подходит для решения данных задач.

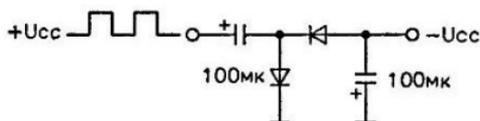


Рис. 2.47. Получение отрицательного напряжения

На вход подается любой прямоугольный сигнал, например сигнал с какого-либо делителя или тактового генератора. Можно использовать 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 TTL схемах оно составляет приблизительно 4,5 В. Ток, потребляемый нагрузкой, не должен превышать нескольких миллиампер.

2.8.9. 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. Гораздо надежнее другой вариант, не требующий больших затрат: использование батарейки и диода, предотвращающего

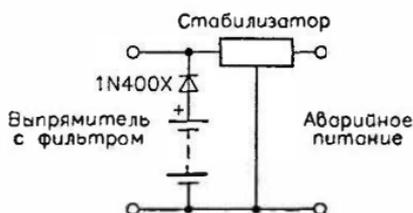


Рис. 2.48. Источник аварийного питания

протекание тока в обратном направлении (рис. 2.48). Такое решение не потребует большого дополнительного места. Установка аккумулятора (вместо батарейки) оправдана лишь в редких случаях, например для питания микроконтроллера.

2.9. Управление двигателем

2.9.1. 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 отвертки, питаемые от аккумуляторов, завинчивают и отвинчивают винты и гайки.

Управление двигателем осуществляется с помощью специального трехпозиционного переключателя (с фиксацией или без в крайних положениях) или двух реле (рис. 2.49).

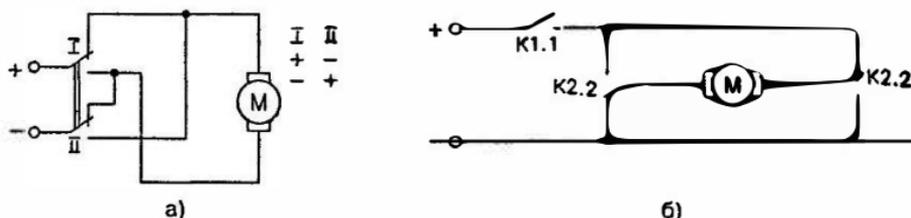


Рис. 2.49. Изменение направления вращения двигателя посредством переключателя (а) и контактов реле (б)

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.

2.9.2. Полная мостовая схема управления вращением двигателя

Полная мостовая схема (H-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. 2.50а, 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.

Другим интересным примером использования полной мостовой схемы является генерация импульсного сигнала, у которого полный перепад уровней равен удвоенной величине напряжения источника питания (рис. 2.50б). Для

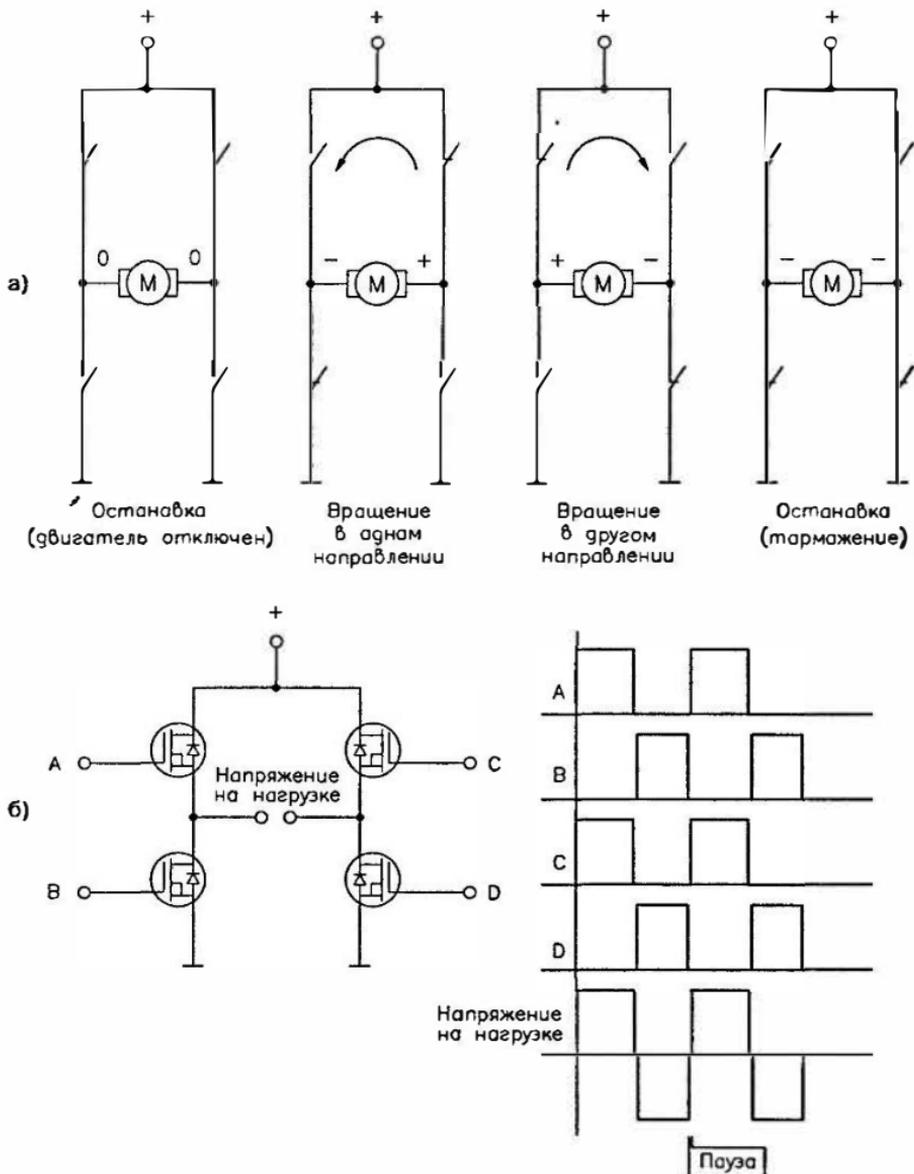


Рис. 2.50. Мостовая схема управления вращением двигателя

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.

Глава **3**

Конструирование и сборка электронных устройств

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

3.1. Пайка, и не только

3.1.1. Выбор и подготовка паяльника

Вместо того чтобы покупать паяльник профессионального класса с регулировкой температуры, можно 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, лужение и т.д.). Таким образом, каждый паяльник будет использоваться строго по назначению при рациональном расходовании ресурса.

Перед началом пайки новый паяльник нужно подготовить: придать необходимую форму рабочей части его жала и облудить ее. Для этого конец жала рекомендуется вначале отковать, а затем обработать напильником или наждачной бумагой. Наклеп замедляет растворение меди в припое и образование раковин на жале, которые препятствуют стеканию припоя в место пайки, ухудшают тепловой контакт с ним и, следовательно, увеличивают время пайки.

Жало паяльника на конце должно быть всегда облужено. Если оно покрыто окалиной, работать трудно – припой будет плавиться, но к поверхности жала не пристанет. Перед облуживанием паяльник разогревают и очищают рабочую поверхность жала канифолью. Перегрев инструмента перед чисткой канифолью недопустим. Покрывать жало слоем канифоли нужно сразу же, как только оно нагреется до температуры плавления канифоли. Если же паяльник перегрелся и зачищенная часть покрылась слоем оксида меди, то его необходимо остудить и опять обработать напильником. Затем следует растереть жало, покрытое слоем расплавленного припоя, о подставку паяльника (если она деревянная) или о поверхность небольшой дощечки, пока на нем не появится пленка припоя. Отличных результатов достигают, используя специальную пасту (например, ТТС-1) для быстрой и эффективной очистки и лужения насадок паяльников.

Если жало покрывается окалиной слишком быстро, значит, паяльник перегрелся. Снизить температуру жала можно, выдвинув его немного из корпуса паяльника или уменьшив напряжение на паяльнике регулятором мощности.

3.1.2. Начинаем паять

Качество пайки во многом определяет нормальную и надежную работу аппаратуры. Со стороны кажется, что очень просто сразу взяться за паяльник и, вооружившись нужным количеством припоя и флюса, приступить к пайке. Однако эта простота

достигается выполнением некоторых требований. Для получения прочного паяного соединения необходимо, чтобы место пайки было тщательно очищено от грязи, жиров, продуктов коррозии и оксидных пленок. Поэтому перед пайкой поверхности соединяемых деталей целесообразно зачистить (например, шлифовальной шкуркой, металлической щеткой и т.п.) и облудить. Прочная и красивая пайка получается не сразу, а только после практического овладения секретами радиомонтажа.

Если припой для пайки требуется немного, то его переносят залуженным концом паяльника. Хорошо прогрет место спая (добившись растекания припоя), отнимают паяльник. Остывая, припой скрепляет детали. При нормальном прогреве место спая получается светлым и блестящим.

При работе недостаточно нагретым паяльником припой на соединяемых поверхностях быстро остывает и превращается в кашеобразную массу. Место спая матовое, шероховатое. В результате пайка получается непрочной и через какое-то время соединение нарушится. Такую пайку называют «холодной».

3.1.3. Выбор припоя и флюса

Для начала следует правильно выбрать припой и флюс. От этого в первую очередь зависит качество и надежность пайки. Рекомендуется применять припой с низкой температурой плавления ПОС-61 (температура плавления 190 °С), ПОСК-50 (145 °С), ПОСВ-30 (130 °С) и др. Чтобы припой лучше растекался, место пайки прогревают в течение 2–3 с. В качестве флюса лучше использовать канифольный лак, а не твердую канифоль. При пайке печатных проводников желательно пользоваться жидким флюсом, который наносят на место пайки с помощью кисточки или дозатора, не допуская его попадания на другие радиодетали.

3.1.4. Облуживание выводов

Чтобы пайка была прочнее, выводы деталей до установки на плату рекомендуется облудить. Делать это следует непосредственно перед самой пайкой. Вывод зачищают монтажным ножом, кладут на кусочек канифоли и или смачивают жидкой

канифолью), прикладывают паяльник и покрывают вывод слоем канифоли. Затем большую часть вывода (но не ближе 10 мм от корпуса детали) опускают в расплавленный кусочек припоя и, поворачивая деталь, облуживают. Потемневшие выводы радиоэлементов следует зачистить до блеска, лудить их необязательно. Выводы деталей до установки на плату загибают таким образом, чтобы была видна маркировка. Это пригодится, когда вы будете настраивать устройство и разбираться в ошибках монтажа.

3.1.5. Красивая пайка

Чтобы спаять выводы двух деталей, их плотно прижимают друг к другу. Жалом паяльника берут капельку припоя, опускают жало в канифоль (либо заранее наносят на место пайки жидкую канифоль) и тут же прикладывают его к выводам. Прогрев место пайки, нужно равномерно распределить по нему припой. Чтобы пайка выглядела изящнее, количество припоя должно быть минимальным. Продолжительность этой операции должна составлять 3–5 с. Паяльник убирают, и до полного застывания припоя (примерно 5–8 с) детали нельзя шевелить, это может повредить пайку, и она будет некачественной. Остатки канифоли в месте пайки удаляют спиртом, бензином или ацетоном.

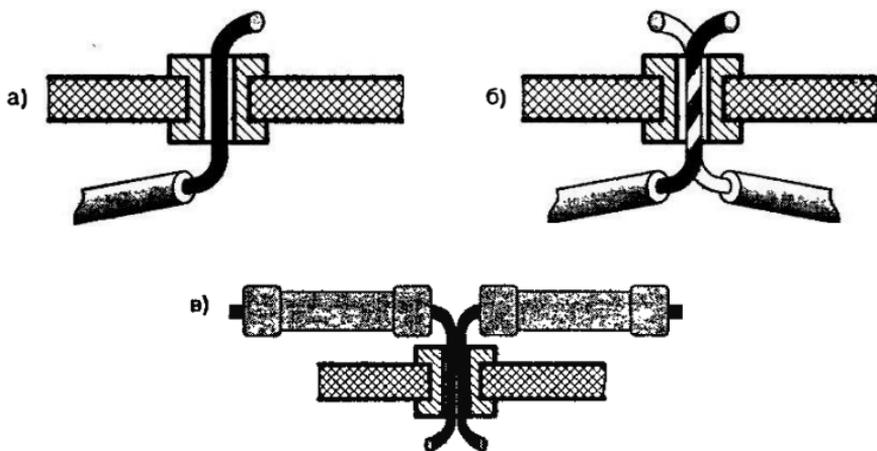


Рис. 3.1. Припаивание к пустотелой заклепке одного проводника (а), двух скрученных проводников (б) и выводов двух деталей (в)

3.1.6. Пайка выводов

Чаще всего приходится припаивать выводы деталей и концы соединительных проводников к медным заклепкам или монтажным шпилькам, установленным на плате, токопроводящим дорожкам печатной платы, различным металлическим лепесткам. На рисунках показаны примеры пайки. Припаявая, например, проводник к пустотелой заклепке (рис. 3.1а), его конец пропускают в отверстие заклепки, отгибают, удаляют излишек провода кусачками, а затем пропаявают провод с заклепкой так, чтобы припой полностью заполнил отверстие заклепки. Так же припаивают скрученные концы двух проводников (рис. 3.1б) или выводы двух деталей (рис. 3.1в).

3.1.7. Пайка деталей на плату

Бывает, что на плате установлены монтажные шпильки из толстого медного провода, тогда конец вывода детали загибают вокруг шпильки колечком (рис. 3.2а), а затем припаивают к шпильке. Если к той же шпильке припаивают второй вывод или соединительный проводник, его конец также изгибают колечком. При пайке вывода детали в отверстии печатной платы край детали должен выступать над соединительной дорожкой из фольги на 2–3 мм (рис. 3.2б). Лишнюю часть вывода можно

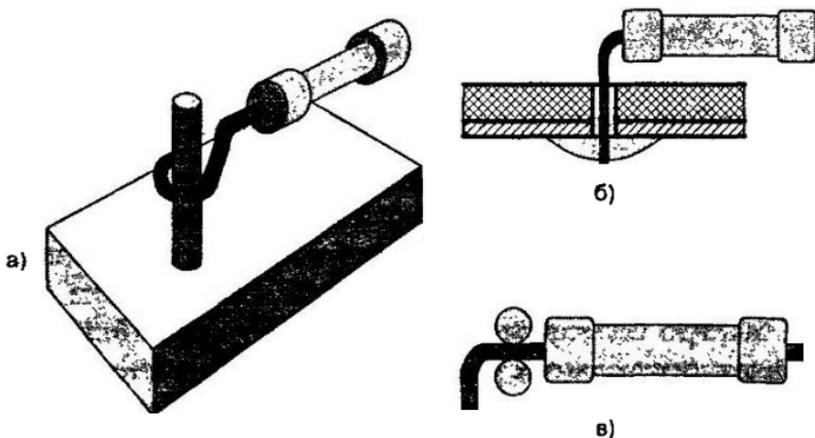


Рис. 3.2. Пайка деталей на печатную плату

удалить и после пайки. Сам вывод желательно предварительно изогнуть с помощью круглогубцев (рис. 3.2в).

Обратите внимание, что губки круглогубцев необходимо располагать ближе к корпусу детали, а вывод сгибать с противоположной стороны. Выполнение этого требования предотвратит обрыв вывода детали в точке крепления к корпусу.

Чтобы не перегреть деталь во время пайки вывода, следует пользоваться теплоотводом, роль которого могут выполнять пинцет, круглогубцы или плоскогубцы, которыми удерживают вывод детали.

3.1.8. Удлинитель жала

Если требуется паять детали на миниатюрной плате в условиях плотного монтажа, а под рукой нет паяльника с тонким жалом, то из медной проволоки диаметром 2–3 мм можно самостоятельно изготовить простое приспособление – удлинитель жала паяльника (рис. 3.3). Конец удлинителя зачищают и облуживают так же, как и жало паяльника.

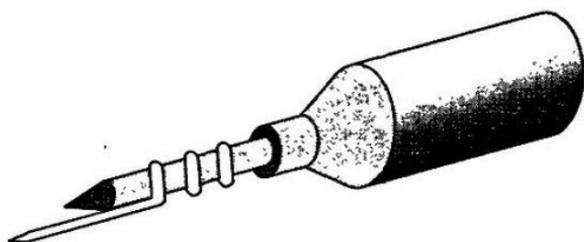


Рис. 3.3. Удлинитель жала паяльника

3.1.9. Пайка алюминия и его сплавов

В настоящее время в электробытовой технике широко используется алюминий, как, например, алюминиевые электрические провода в трансформаторах-стабилизаторах напряжения и т.п. Поскольку алюминий и его сплавы, соприкасаясь с воздухом, быстро окисляются, обычные методы пайки не дают удовлетворительных результатов. В промышленности и ремонтной практике для пайки монтажных элементов из алюминия и его сплавов, а также соединения их с медью и другими металлами применяют припой марок П150А,

П250А и П300А. Пайку производят обычным паяльником, жало которого прогрето до температуры 350 °С, с применением флюса, представляющего собой смесь олеиновой кислоты и йодида лития. Ниже описываются различные способы пайки алюминия оловянно-свинцовыми припоями ПОС-61, ПОС-50, ПОС-90.

Первый способ. Для спаивания двух алюминиевых проводов их предварительно залуживают. Для этого конец провода покрывают канифолью, кладут на шлифовальную шкурку (со средним зерном) и горячим залуженным паяльником, прижимают к шлифовальной шкурке, при этом паяльник от провода не отнимают и на залуженный конец все время добавляют канифоль. Чтобы хорошо залудить провод, все операции приходится повторять много раз. Затем пайка идет обычным порядком. Лучшие результаты получаются, если вместо канифоли применяется минеральное масло для швейных машин или щелочное масло (например, для чистки оружия после стрельбы).

Второй способ. Зачищенное и обезжиренное место пайки покрывают с помощью паяльника тонким слоем канифоли, а затем сразу же натирают таблеткой анальгина. После этого надо залудить поверхность припоем ПОС-50, прижимая к ней с небольшим усилием жало слегка перегретого паяльника. С залуженного места ацетоном смывают остатки флюса, еще раз осторожно прогревают и снова смывают флюс. Пайку деталей производят обычным образом.

Учтите, что такое соединение нельзя использовать в условиях повышенной влажности, так как эти металлы не являются совместимыми и образуют гальванические пары.

3.1.10. Токопроводящий клей

В некоторых случаях, когда электрический контакт необходим, а пайка затруднительна, а то и вообще невозможна, для соединения деталей удобно использовать токопроводящий клей, который можно приобрести в любом радиомагазине. Этот клей может быть использован там, где требуется прочное соединение с достаточной электрической проводимостью. Им можно, например, приклеивать графитные электроды к алюминиевым мембранам в телефонных капсулах,

выводы к пьезоэлектрическим кристаллам, различные металлические детали и т.п.

Можно самостоятельно приготовить электропроводящий клей, не включающий в себя дефицитные компоненты (порошковое серебро и полимерные связующие). Для этого необходимы медные опилки, графитовый порошок самого тонкого помола и связующее вещество, например лак или клей. Медные опилки легко получить, обработав кусок меди мелким напильником. Графит можно настрогать ножом с угольной щетки любого коллекторного электродвигателя или с графитового стержня круглого элемента питания. Связующее вещество должно быть по возможности более жидким.

Сначала смешивают две части медного порошка и одну часть графита (по массе), затем добавляют связующее до тех пор, пока не будет достигнута требуемая консистенция, – и клей готов. В качестве связующего вещества очень эффективен кедровый лак для художественных работ. Он достаточно жидкий и при высыхании не изолирует проводящие частицы одну от другой. Можно использовать и другой масляный лак или клей, предварительно разбавив его растворителем.

Прежде чем применять проводящую массу, следует на каком-либо образце испытать прочность клеевого шва и его проводимость. Если связующим выбран лак, прочность шва будет не очень высока.

В следующем рецепте используется смесь клея «Момент» и графитового порошка, полученного после обработки коллекторной графитовой щетки надфилем с мелкой насечкой. Концентрацию порошка лучше всего подобрать опытным путем. При этом следует помнить, что чем больше графита, тем меньше контактное сопротивление, но тем гуще получится смесь и труднее будет ее наносить. Если электрическое сопротивление склейки не превышает 30 кОм, клей можно считать годным.

3.1.11. Электросварка деталей

Иногда требуется гальванически соединить какие-либо детали без нагревания. Например, чтобы собрать батарею из дисковых аккумуляторов, необходимо снабдить их соединительными выводами-перемычками. В подобных случаях можно применить «точечную» электросварку.

Для этого нужно собрать маломощное сварочное устройство, состоящее из соединенных параллельно пяти дросселей от арматуры люминесцентных осветительных ламп мощностью 40 Вт. К одному выводу этой батареи дросселей подключен изолированный проводник с зажимом «крокодил» на конце, а к другому – такой же проводник, второй конец которого соединен с одним из штырей сетевой вилки. Все соединения проводников должны быть надежно изолированы. Ко второму штырю сетевой вилки прикреплен проводник, свободный конец которого очищен от изоляции на длину 20–25 мм. Проводники должны быть как можно короче, с сечением по меди не менее 0,75 мм².

Для работы понадобится также плавкая перемычка – отрезок длиной 50–100 мм неизолированного медного провода (можно луженого) диаметром около 0,3 мм. Перемычка при выполнении каждого сварочного соединения перегорает, и ее нужно заменять. Работать следует крайне осторожно, пользуясь защитными очками и хлопчатобумажными перчатками.

Сварка производится следующим образом. Деталь, к которой надо присоединить вывод, надежно фиксируют в зажиме, укладывают на пластину из негорючего изоляционного материала (например, асбеста) и прижимают массивным предметом. Один конец проволочной перемычки плотно наматывают (7–10 витков) на оголенный участок сетевого проводника, а второй – на привариваемый к детали вывод, которым может служить отрезок медного провода диаметром 0,5–0,6 мм.

Соблюдая все меры электробезопасности, зажим «крокодил» соединяют с деталью как можно ближе к месту сварки. Вилку устройства включают в сеть и, используя плоскогубцы с изолированной ручкой, вторым выводом касаются детали. Перемычка мгновенно сгорает, а вывод приваривается к детали. Если в вашей квартире около электросчетчика установлены плавкие предохранители (пробки), то они могут перегореть. Поэтому их лучше заменить автоматическими. Работа будет более безопасной, если на сгораемую перемычку надеть тонкую ПВХ трубку.

3.1.12. Выбор инструмента

Как правило, любители могут обойтись без дорогостоящих инструментов, используемых в профессиональных радиомастерских. Иногда разумнее купить две недорогие модели, которые отвечали бы различным требованиям. В частности, на рынке имеется широкий выбор небольших высококачественных кусачек. Но они быстро выходят из строя при перекусывании прочного провода сечением 4 мм^2 . Для выполнения таких действий можно использовать более мощные недорогие кусачки, непригодные для выполнения тонких операций.

3.1.13. Отвертка для настройки

Переменные резисторы и конденсаторы имеют цилиндрическую ось со шлицем 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.

Хлорвиниловая трубка

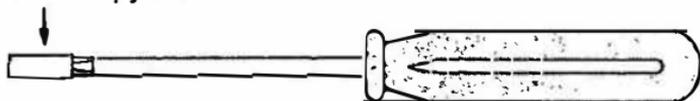


Рис. 3.4. Отвертка для настройки

Существует специальная настроечная отвертка, имеющая на конце пластмассовый колпачок, который одевается на регулировочную ось и не позволяет отвертке выскользывать из шлица. Подобный инструмент несложно изготовить, если плотно надеть отрезок хлорвиниловой трубки подходящего диаметра на обычную отвертку (рис. 3.4).

Необходимо следить за тем, чтобы отвертка, используемая для регулировки переменного конденсатора, не была намагничена (это не столь важно при настройке переменного резистора). Иначе можно сбить регулировку и даже нарушить работу схемы. В этом случае следует выбирать отвертку из немагнитного материала (например, из алюминия или латуни) или диэлектрическую (из пластика).

3.2. Монтажные провода

3.2.1. Протягивание провода через отверстие

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

3.2.2. Выбор сечения провода

При выборе провода надо учитывать в первую очередь напряжение, при котором они будут работать, и ток нагрузки.

Таблица 3.1. Рекомендуемое сечение медного провода (в квадратных миллиметрах)

Длина, м	Ток, А												
	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				

Для устройств, работающих со значительными токами, очень важно выбрать сечение провода. При решении этой задачи можно воспользоваться параметрами, представленными в табл. 3.1, где приведено рекомендуемое сечение провода в зависимости от его длины и максимального тока.

При выборе по длительно допустимому току его величину (в амперах) можно определить, умножив номинальную мощность электроприемника (в киловаттах) на 4,5. Это приблизительное значение тока нагрузки можно принять, так как нельзя подобрать провод, имеющий абсолютно такой же длительно допускаемый ток, какой получается при точном расчете. Сечение провода также выбирается с запасом.

Перегрузка провода током приводит, прежде всего, к обгоранию изоляции у мест присоединения проводов к аппаратам или к электроприемникам. Возможно обгорание не только изоляции проводов, но и деталей корпусов, к которым крепятся токоведущие части, или панелей зажимов приборов. Устранить это явление можно только заменой провода. При перегрузке током могут загореться и сами провода.

3.2.3. Выбор типа провода

Надежная работа провода зависит также от его правильного выбора по условиям внешней среды. Каждый тип провода предназначен для определенных способов прокладки, которые следует учитывать. Как правило, изолированные провода не прокладываются незащищенными. При контакте с водой обычно выходят из строя провода с резиновой изоляцией в хлопчатобумажной оплетке. Кроме воды на резиновую изоляцию влияют нефтепродукты, что приводит к ее разбуханию и утрате всех необходимых свойств. Поэтому при возможности подобного воздействия лучше применять провода с пластмассовой изоляцией.

Отрицательная температура приводит к отвердеванию изоляции, особенно пластмассовой, что приводит к ее растрескиванию и отколу при изгибе проводов. Это нужно учитывать при выборе проводов для передвижных механизмов.

3.2.4. Возможные повреждения провода

Надежность провода обусловлена его рабочим состоянием после монтажа, а также условиями окружающей среды при эксплуатации. Во время монтажа провода могут быть повреждены при неосторожном обращении. При изготовлении провода наматываются на катушки или в моток. При отматывании провода с жесткой изоляцией собираются в кольца, и если их растянуть, не расправляя, то будет перегиб или излом. Провод в этом месте будет ненадежным, поэтому его применять нельзя. Могут быть и другие повреждения изоляции и токоведущих жил при монтаже.

Через поврежденную изоляцию к токоведущим жилам может проникать влага, содержащая агрессивные примеси, или воздух с агрессивными газами, что приводит к коррозии металла провода. В таких случаях лучше всего заменить провод, а если он большой длины, то приходится вставлять новый участок. Если провод недоступен для замены, то его следует отсоединить, а новый проложить в доступном месте.

Следует учитывать возможность повреждения проводов грызунами, которые перегрызают любую изоляцию. Насекомые также не все безобидны. Мухи и тараканы, забираясь между контактами и в зазоры, могут нарушать работу аппаратов. Для предотвращения этого места ввода проводов в корпуса приборов нужно уплотнять или замазывать различными составами.

3.2.5. Облуживание провода

Провод облуживают каждый раз перед тем, как вставить его 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.

3.2.6. Сращивание проводов

Часто нужно удлинить провод или соединить несколько проводов внутри одного корпуса. Сращивание можно выполнить разными способами.

Можно сначала скрутить провода, а затем спаять их. 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, фиксируемой посредством бандаж. При необходимости провода вблизи места соединения прикрепляют к специальной опоре или печатной плате.

Если при монтаже нужно срастить два проводника, совсем не обязательно скручивать их концы. Проще сложить их на длине 6–8 мм и спаять. При этом соединение будет менее надежным, чем при скрутке. Но если соединение не будет подвергаться механическим воздействиям, то этот вариант вполне допустим. Когда же надо соединить проводники под прямым углом, конец одного проводника можно согнуть, прижать к другому проводнику и спаять. При соединении нескольких деталей или проводников с общим проводом места пайки следует располагать на некотором расстоянии друг от друга, чтобы при замене какой-либо детали в дальнейшем не страдали пайки остальных.

3.2.7. Опасность некачественного соединения

Плохо выполненное соединение может привести к тому, что ток, проходящий через него, вызовет искрение в ненадежных зажимах и, как следствие, перегорание проводников. Детали слабого зажима нагреваются и окисляются, что еще больше увеличивает сопротивление и нагрев.

Нагрев присоединительных зажимов аппарата может быть и из-за того, что применены провода меньшего сечения, чем нужно, которые, нагреваясь, нагревают сам зажим. Причина может быть также в неправильно или небрежно выполненном зажиме. Нагрев концов проводов может быть также в месте контакта провода с наконечником и при нормальной величине тока. В таком случае опрессовка наконечника

не помогает и наконечник нужно отрезать от провода и поставить другой, а если его нет, то временно провод можно присоединить без наконечника, согнув кольцом, что будет надежнее, чем с нагревающимся наконечником.

Увеличение сопротивления в зажимах заземляющих проводников ведет не только к повышению напряжения прикосновения, но и к пожарной опасности из-за нагрева зажима и его искрения. Следует учитывать возможность перегрева аппаратов и от нагрева рабочих контактов и мест их крепления из-за повышения сопротивления в месте касания контактов. Это сопротивление может быть повышено при неплотном касании контактов и, как следствие, от их окисления. От нагрева может произойти не только перегорание и замыкание токоведущих частей, но частичное или полное сторание пластмассовых деталей и корпусов аппаратов, что способно привести к пожару.

3.2.8. Соединение проводов высокого сопротивления

Для соединения проводов из сплавов высокого сопротивления (нихром, константан, никелин, манганин и др.) есть несколько простейших способов сварки без применения специального инструмента. Концы свариваемых проводов зачищают, скручивают и пропускают через них ток такой силы (для этого лучше использовать автотрансформатор), чтобы место соединения накалилось докрасна. На это место пинцетом кладут кусочек ляписа (нитрата серебра), который расплавляется и сваривает концы проводов.

Если диаметр свариваемой проволоки из сплава высокого сопротивления не превышает 0,15–0,2 мм, то на ее концы наматывают тонкую медную проволоку (диаметром 0,1–0,15 мм), причем с реостатной проволоки изоляцию можно не удалять. Затем соединенные таким образом проволочки накаляют на пламени горелки. Медь при этом начинает плавиться и прочно соединяет оба реостатных провода. Оставшиеся концы медной проволоки отрезают, а место сварки изолируют, если нужно. Этот способ можно применять и для соединения медных проводов с проводами из сплавов высокого сопротивления.

3.2.9. 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.

3.2.10. Медные обмоточные провода

Для обмоток трансформаторов, дросселей, электромагнитных реле, катушек колебательных контуров применяют медные обмоточные провода. Диаметр провода определяется плотностью тока, сопротивлением обмоток, соображениями удобства намотки и надежностью. Очень тонкие провода (диаметром менее 0,07 мм) не так надежны, значительно дороже и усложняют намотку.

Вид изоляции провода выбирают в зависимости от рабочей температуры обмотки, требуемой электрической прочности, допускаемого коэффициента заполнения окна магнитопровода. В приборах и трансформаторах полупроводниковой аппаратуры, предназначенных для работы в нормальных условиях, обычно используют провода в эмалевой изоляции (марки ПЭЛ, ПЭВ и др.). При высоких требованиях к надежности аппаратуры рекомендуются провода с двуслойной изоляцией (ПЭВ-2, ПЭВТЛ-2, ПЭЛР-2 и др.). Провода с комбинированной изоляцией применяются при повышенных механических нагрузках в процессе намотки или эксплуатации аппаратуры. Провода марки ПЭВТЛ отличаются сравнительно высокой стойкостью к нагреванию и большим сопротивлением изоляции. Их можно залуживать, погружая в расплавленный припой, а также при помощи паяльника без предварительной зачистки и применения флюсов.

Для изготовления бескаркасных обмоток используются провода марки ПЭВД с дополнительным термопластичным покрытием из лаков на поливинилацетатной основе. Но помните, что

при нагреве до температуры 160–170 °С в течение 3–4 ч витки склеиваются.

Провода могут иметь покрытие (изоляцию) из эмали, волокнистых материалов или комбинированное. Эмаль обладает лучшими электроизоляционными свойствами, чем волокнистые материалы, кроме того, диаметр эмалевых проводов намного меньше. Электроизоляционные свойства капронового волокна и натурального шелка несколько выше, чем хлопчатобумажного волокна. Капроновое волокно превосходит натуральный шелк по стойкости к истиранию и воздействию растворителей (бензин, бензол, минеральные масла и т.п.).

3.2.11. Высокочастотные обмоточные провода

Высокочастотные обмоточные провода (литцентраты) предназначены для изготовления высокочастотных катушек индуктивности с большой добротностью. Эти провода представляют собой пучок эмалевых проволок диаметром 0,05; 0,07; 0,1 или 0,2 мм, перевитых особым способом. Весь пучок обычно покрывают волокнистой изоляцией. Благодаря определенному расположению проволок в пучке ослабляется поверхностный эффект (вытеснение тока к поверхности провода под воздействием магнитного поля, возникающего при протекании тока) и, следовательно, уменьшается сопротивление провода токам высокой частоты. Провода марок ЛЭП и ЛЭПКО перед лужением не требуют зачистки и применения каких-либо травильных составов.

3.2.12. Диаметр провода

Если нужно определить диаметр провода, а под рукой нет микрометра, то можно поступить следующим образом. Надо на крутой стержень, например на карандаш, плотно намотать несколько десятков витков провода и линейкой измерить длину намотки. Диаметр провода (приблизительно) получим, если разделим длину намотки в миллиметрах на количество витков. Чем больше витков, тем точнее будет результат.

3.3. Изоляционные трубки

3.3.1. Трубка ПВХ

Полихлорвиниловые трубки (ПХВ), например, ХВТ-5, могут заменять изоляционную ленту для защиты отдельных проводов или жгутов проводов при их вводе в корпуса аппаратов, двигателей, в металлические трубы. Цифра, стоящая после буквенного индекса означает внутренний диаметр трубки в миллиметрах. Их еще называют кембриками.

Стоит взять за привычку сохранять отрезки хлорвиниловой изоляции, которые остаются после зачистки проводов и кабелей. В результате у вас появится 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).

3.3.2. Термоусадочная трубка

Термоусадочная трубка используется так же, как и трубка ПВХ. Ее отличительной особенностью является то, что она при нагревании способна сжиматься и плотно изолировать соединение. 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.

3.4. Соединители

3.4.1. 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.

3.4.2. Байонетные коаксиальные соединители

Сборка кабеля, снабженного байонетным соединителем BNC (CP-50) штыревого типа, является весьма трудоемкой операцией. В зависимости от модели эти соединители крепятся к проводникам пугем 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 типа RCA (тюльпан) и использовать переходник на байонетный соединитель (рис. 3.5).

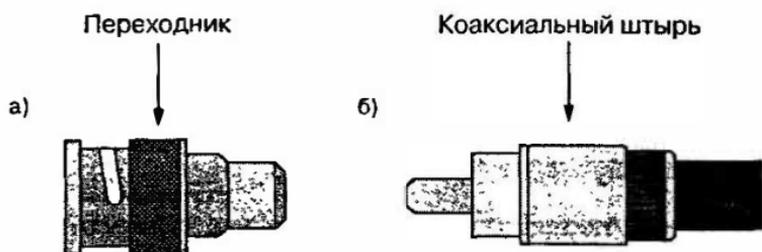


Рис. 3.5. Коаксиальное соединение: переходник (а) и коаксиальный штырь (б)

Такой комплект обойдется дешевле, чем сам соединитель, а изготовленный кабель можно будет подключать к разъемам двух типов.

3.4.3. 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. 3.6).

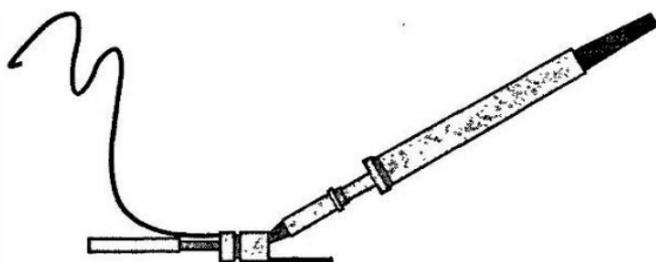


Рис. 3.6. Монтаж наконечника

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.

3.4.4. Монтаж соединителя ленточного кабеля

Осуществление большого числа соединений между материнской платой и периферийными устройствами персонального компьютера (например, дисководы) 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.

3.4.5. 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 предназначаются 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. 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.

3.5. Выключатели

3.5.1. Блок переключателей

Для кодирования адреса или программирования двоичного слова на печатной плате 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. Подобный элемент занимает даже меньше места, чем блок выключателей, а маркировка состояний отчетливо видна (по наличию перемычек). Цена такого переключателя незначительна, особенно если используются разъемы плат, вышедших из строя.

3.5.2. 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.

3.5.3. Клавишные выключатели

Во многих устройствах для управления применяются клавиши с четырьмя выводами, соединенными попарно для облегчения



Рис. 3.7. Размещение выводов клавишного выключателя

операции матрицирования. Корпус клавишного выключателя неквадратной формы может иметь два варианта размещения выводов (рис. 3.7). Поэтому перед разработкой печатной платы нужно приобрести клавиши определенного типа или предусмотреть различные варианты соединений.

3.6. Монтаж электрических схем

3.6.1. 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 (табл. 3.2), применяемый при маркировке резисторов и конденсаторов. Например, к первому выводу нужно 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.

Таблица 3.2. Стандартный цветовой код

Номер вывода	Цвет провода
1	Коричневый
2	Красный
3	Оранжевый
4	Желтый
5	Зеленый
6	Голубой
7	Фиолетовый
8	Серый
9	Белый
10	Черный

3.6.2. Порядок монтажа печатной платы

Сборку печатной платы начинают с установки элементов, требующих механического крепления. При этом приходится иногда расширять отверстия и пазы, а делать это с уже размещенными деталями неудобно. Устанавливаемые радиодетали не должны иметь на корпусе царапин, трещин, вмятин или каких-то других механических повреждений. Даже если при тестировании они функционируют исправно, это еще не значит, что их работа продлится долго. На плате детали располагают так, чтобы они не касались друг друга.

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

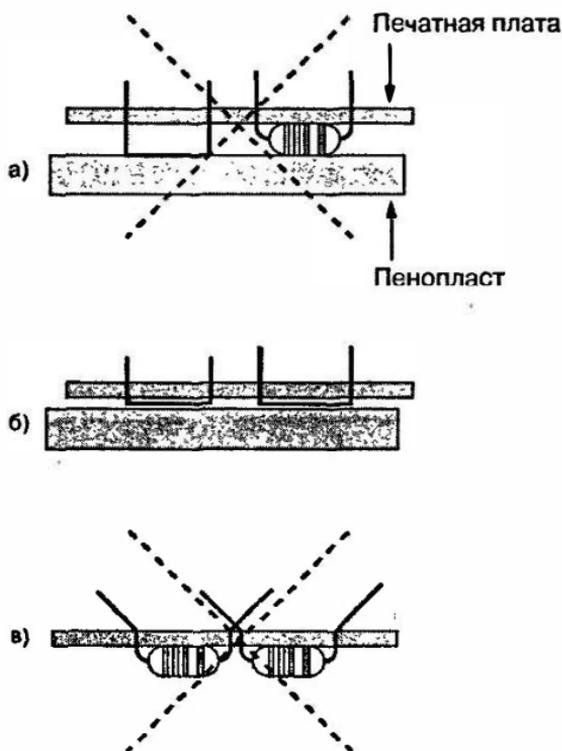


Рис. 3.8. Монтаж компонентов на плате: неправильный (а, в) и правильный (б)

мелкие (рис. 3.8а). Например, можно начать с размещения на плате всех перемычек, затем прижать к плате лист пенопласта и перевернуть ее для выполнения пайки (рис. 3.8б). Вслед за этим можно приступать 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 этом закорачивания близко расположенных контактных площадок (рис. 3.8в).

3.6.3. Монтаж мощных компонентов

Мощные транзисторы, симисторы и тиристоры в корпусе ТО220 (и ему 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 теплопроводная паста типа КТП-8. Между корпусом и радиатором необходимо установить диэлектрическую теплоизоляционную прокладку.

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. 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 (кстати, у транзисторов это не всегда коллектор).

Существует и другая, менее распространенная технология изоляции для корпусов ТО220. Компонент прижимают к радиатору, подложив 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. 3.9).

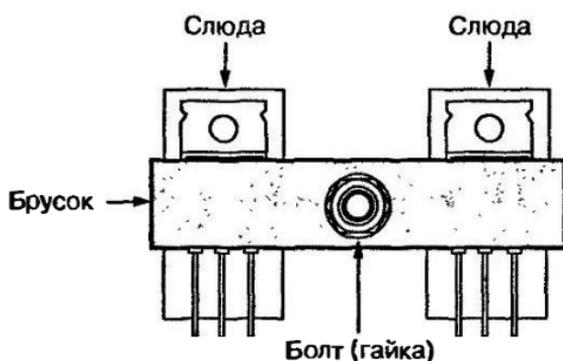


Рис. 3.9. Крепление двух корпусов ТО220

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

3.6.4. Облегчение 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 контакта месте, не дает достаточной информации о состоянии каскадов. Для успешного тестирования необходимо последовательно подключать щуп осциллографа к входам или выходам различных каскадов (рис. 3.10а). 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. 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. 3.10б показан пример неудачного размещения резистора, когда нужная контрольная точка недоступна, и дан вариант более удобного монтажа того же элемента (рис. 3.10в).

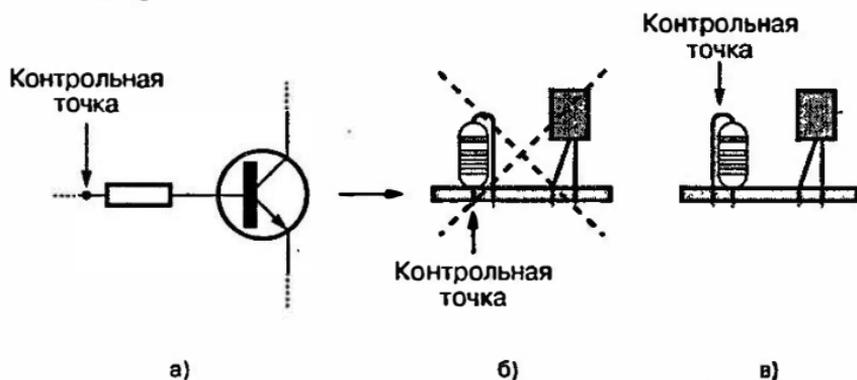


Рис. 3.10. Контрольная точка на электрической схеме (а), неправильное (б) и правильное (в) размещение контрольной точки на печатной плате

3.6.5. 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. В идеальном

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

3.6.6. Пайка компонентов

Во время пайки необходимо следить за тем, чтобы жало паяльника не касалось печатных проводников, поскольку это, как правило, приводит к выгоранию проводника. Для пайки транзисторов желательно иметь низковольтный паяльник на 6 или 12 В, присоединяемый через понижающий трансформатор, мощностью около 40 Вт. Можно пользоваться и обычным паяльником, но нужно сначала его нагреть, а потом отключить и паять.

Выводы транзистора, если позволяет его конструкция, нужно оставлять не короче 15 мм, изгибать их не ближе 10 мм от корпуса, изгиб должен быть плавным. Температура нагрева контактного слоя транзистора не должна превышать 75 °С, поэтому для отвода тепла при пайке выводы у корпуса нужно держать плоскогубцами или пинцетом. Паяльник необходимо располагать по возможности дальше от транзистора, а пайку заканчивать быстрее. Жало паяльника нужно зачистить и покрыть припоем, который должен быть легкоплавким. Желательно применение пистолетных паяльников, которые включаются только во время пайки.

Окончив пайку, выступающие выводы деталей укорачивают и растворителем смывают остатки канифоли, что позволяет проконтролировать качество монтажа: на плате не должно оставаться капель припоя и междорожечных замыканий. Смонтированную плату желательно отмыть спиртом, пользуясь небольшой жесткой кистью, а затем покрыть канифольным лаком. Такое покрытие, как ни странно, весьма влагостойко и сохранит «паяемость» платы долгие годы, что удобно при ремонте и доработке устройства.

В связи с тем что сила сцепления печатного проводника с изоляционной платой невелика, не рекомендуется проверять прочность пайки, подергивая припаянную деталь, так как при этом можно оторвать ее вместе с проводником. Если печатный проводник отслаивается, его приклеивают к основе платы

клеем БФ-2. Для этого проводник со стороны, обращенной к плате, и саму плату тщательно очищают от канифоли и оксидов (вначале спиртом или ацетоном, затем мелкой шкуркой) и смазывают тонким слоем клея. Примерно через 10 мин клей наносят вторично (только на плату) и прижимают проводник к плате жалом паяльника, нагретым до температуры 120–150 °С.

3.6.7. Монтаж ЖКИ

Часто вызывает трудность подключение жидкокристаллического индикатора с напыленными на стекло выводами, но без резиновой контактной гребенки. Это проще, чем кажется. Для начала нужно заготовить необходимое количество облуженных отрезков провода диаметром 0,1–0,2 мм. Контактную поверхность индикатора протрите спиртом и хорошо высушите. На напыленные контактные площадки индикатора наложите проволочные выводы, нанесите по капле токопроводящего клея и выдержите при комнатной температуре 1,5–2 суток. Желательно, чтобы выводы плотнее прилегали к контактными площадкам. Затем узкой отверткой тщательно удалите под увеличительным стеклом возможные замыкания. Это и будут проволочные выводы, которые затем можно паять.

3.6.8. Монтаж ИС

Монтаж интегральных микросхем представляет наибольшую трудность. Их стоимость достаточно высока, а вывести их из строя очень легко. Микросхемы следует паять за кончики выводов, вставляя выводы в монтажные отверстия не до упора, а лишь до выхода со стороны пайки на 0,5–0,8 мм, это облегчит их демонтаж в случае ремонта и уменьшит вероятность замыканий в двусторонних платах. Под микросхемы в металлических корпусах следует подложить бумажные прокладки и приклеить их к плате канифольным лаком.

Во время пайки нельзя перегревать корпус микросхемы. Поэтому следует использовать припой с температурой плавления не более 260 °С, мощность паяльника не должна превышать 40 Вт, длительность пайки одного вывода – не более 5 с, а промежуток времени между пайками выводов одной микросхемы должен быть не менее полминуты. Если ведется

монтаж нескольких микросхем, то сначала паяют первый вывод первой микросхемы, затем первый вывод второй и т.д., далее второй вывод первой микросхемы, второй вывод второй и т.д. Благодаря такому приему микросхемы успевают остывать между пайками.

Микросхемы КМОП могут быть выведены из строя разрядом статического электричества, который, как правило, скапливается на одежде. Чтобы этого не случилось, жало паяльника и руки радиомонтажника необходимо заземлять.

Монтаж микросхемы может быть выполнен печатным способом, проводами или комбинированно. Печатный способ монтажа следует применять в том случае, если вы уверены, что схема работоспособна, а также при изготовлении нескольких одинаковых устройств на одинаковых платах. При пайке проводами удобнее использовать провода в тугоплавкой изоляции: многожильный типа МГТФ 0,07–0,12 мм² или одножильный луженый 0,25–0,35 мм². Сначала на вывод микросхемы в 1–1,5 витка наматывают провод, а затем производят пайку. Этот метод хорош тем, что позволяет неоднократно перепаявать провода, а такая необходимость может возникнуть при наладке устройства.

При комбинированном способе монтажа выводы микросхемы припаивают к контактным площадкам, а в отверстия контактных площадок впаивают проволочные проводники.

Неиспользуемые выводы микросхем TTL следует объединять в группы по 10 штук и подключать к положительной шине питания через резистор 1–1,5 кОм; неиспользуемые выводы микросхем КМОП можно непосредственно подсоединять к плюсовой шине.

3.6.9. Помехозащищенность схем с ИС

Чтобы обеспечить достаточную помехозащищенность, между шинами питания следует устанавливать конденсаторы типов КМ-6, К10-7, К10-17 емкостью 0,1–0,047 мкФ из расчета один конденсатор на два-три корпуса микросхем. Особое внимание при этом необходимо уделять устройствам, имеющим в своем составе микросхемы памяти, триггеры, счетчики и т.п.

3.6.10. Использование витой пары

Соединительные провода в длину не должны превышать 20–30 см. Если же требуется передать сигнал на большее расстояние, используют так называемые витые пары. Скручивают два провода, по одному из них подается сигнал, а второй заземляют (соединяют с общим проводом) с обоих концов. Целесообразно также концы сигнального провода подключить к плюсовой шине через резисторы 1 кОм (для ТТЛ микросхем) или 100 кОм (для КМОП микросхем). Длина проводов витой пары может составлять 1,5–2 м.

3.6.11. 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 фирмы 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.

3.7. Изготовление печатной платы

3.7.1. 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.

3.7.2. Подготовка топологии печатной платы

Прежде чем приступить к разработке рисунка печатной схемы, необходимо запомнить, что расположение компонентов может определяться как заданными параметрами, так и критичностью размещения некоторых элементов (это позволит предотвратить побочные эффекты, например, помехи). Чаще всего рисунок проводников представляет собой такую интерпретацию принципиальной схемы, которая с учетом электрических характеристик имеет хорошие механические свойства и достаточно проста. Маркировка компонентов и выходных контактов на рисунке платы должна соответствовать маркировке электрической схемы, это значительно упрощает сборку и последующую проверку устройства.

Проектировать печатные платы наиболее удобно в масштабе 2:1 на миллиметровке или другой бумаге, на которой нанесена сетка с шагом 5 мм. При проектировании в масштабе 1:1 рисунок получается мелким, плохо читаемым, и поэтому при дальнейшей работе над печатной платой неизбежны ошибки. Масштаб 4:1 – другая крайность: с большим чертежом неудобно работать. Сначала нарисуйте контуры платы. Лучше, если ее габариты будут соответствовать размерам какого-либо готового корпуса.

Все отверстия под выводы деталей в печатной плате целесообразно размещать в узлах сетки, что соответствует шагу 2,5 мм на реальной плате (далее по тексту указаны реальные размеры). С таким шагом расположены выводы у большинства микросхем в пластмассовом корпусе, у многих транзисторов и других электрорадиокомпонентов. Меньшее расстояние между отверстиями следует выбирать лишь в тех случаях, когда это крайне необходимо.

В отверстия с шагом 2,5 мм, находящиеся на сторонах квадрата 7,5×7,5 мм, удобно монтировать микросхему в круглом металлокерамическом корпусе. Для установки микросхемы в пластмассовом корпусе с двумя рядами жестких выводов

(корпус типа DIP) в плате необходимо просверлить два ряда отверстий. Шаг отверстий – 2,5 мм (строго говоря, 2,54 мм), расстояние между рядами кратно 2,5 мм. Следует заметить, что микросхемы с жесткими выводами требуют большей точности разметки и сверления отверстий.

Микросхемы в корпусе типа FLAT имеют гибкие выводы и припаиваются непосредственно к проводникам печатной платы. Следует учесть, что расстояние между выводами у них в два раза меньше и составляет 1,27 мм.

Если размеры печатной платы заданы, необходимо начертить ее контур и крепежные отверстия. Вокруг отверстий выделяют запретную для проводников зону с радиусом, несколько превышающим половину диаметра металлических крепежных элементов.

Далее следует примерно расставить наиболее крупные детали – реле, переключатели (если их впаивают в печатную плату), разъемы, большие детали и т.д. Их размещение обычно зависит от общей конструкции устройства, определяемой размерами имеющегося корпуса или свободного места в нем. Часто, особенно при разработке портативных приборов, размеры корпуса определяют по результатам разводки печатной платы.

Цифровые микросхемы предварительно расставляют на плате рядами с межрядными промежутками 7,5 мм. Если микросхем не более пяти, все печатные проводники обычно удается разместить на одной стороне платы и обойтись небольшим числом проволочных перемычек, впаиваемых со стороны деталей. Не пытайтесь расположить на односторонней печатной плате большее количество цифровых микросхем, это значительно затруднит разводку и потребует использования чрезмерно большого числа перемычек. В этих случаях разумнее перейти к двусторонней печатной плате.

Условимся называть ту сторону платы, где размещены печатные проводники, стороной проводников, а обратную – стороной деталей, даже если на ней вместе с деталями расположена часть проводников. Особый случай представляют платы, у которых и проводники, и детали размещены на одной стороне, причем детали припаяны к проводникам

без отверстий. Необходимо знать, что внести изменения в печатный монтаж, когда сторона проводников и сторона деталей едины, очень сложно. Платы такой конструкции применяют редко.

Микросхемы размещают так, чтобы все соединения на плате были по возможности короче, а число перемычек – минимальным. В процессе разводки проводников расположение микросхем относительно друг друга придется менять не один раз. Рисунок печатных проводников аналоговых устройств любой сложности обычно удается развести на одной стороне платы.

Далее можно начинать собственно разводку. Полезно заранее измерить и записать размеры мест, занимаемых используемыми элементами. Резисторы МЛТ-0,125 устанавливают рядом, соблюдая расстояние между их осями 2,5 мм, а между отверстиями под выводы одного резистора – 10 мм. Так же размечают места для чередующихся резисторов МЛТ-0,125 и МЛТ-0,25 или двух резисторов МЛТ-0,25, если при монтаже их слегка отогнуть один от другого (три таких резистора поставить вплотную к плате уже не удастся).

На таком же расстоянии между выводами и осями элементов устанавливают большинство малогабаритных диодов и конденсаторов КМ-5 и КМ-6, вплоть до КМ-66 емкостью 2,2 мкФ. Не следует размещать бок о бок две толстые (более 2,5 мм) детали, их необходимо чередовать с тонкими. Если нужно, расстояние между контактными площадками той или иной детали увеличивают.

Линии соединения элементов выполняются в соответствии с электрической схемой по кратчайшему пути при минимальной длине соединительных проводников. Входные и выходные цепи схемы должны быть разнесены друг от друга по возможности дальше, что исключит наводки и самовозбуждение схем усилителей. Удачно разместить элементы с первой попытки, как правило, не получается, и приходится изменять рисунок (иногда несколько раз) для подбора оптимальной компоновки деталей.

После размещения всех элементов необходимо еще раз проверить соответствие топологии платы электрической

схеме и устранить все выявленные ошибки (они будут!). Чем тщательнее выполняется этот этап работы, тем меньше будет проблем при настройке уже собранного устройства.

Если резисторы, диоды и другие детали с осевыми выводами располагать вертикально, можно существенно уменьшить ее площадь, однако рисунок печатных проводников усложнится.

При изготовлении рисунка всегда нужно помнить о достаточных зазорах между проводниками и учитывать свойства поверхности платы. Очень важно оставлять между проводниками максимально возможное расстояние, особенно если они находятся под высоким напряжением или схема должна обладать большим внутренним сопротивлением. Следовательно, в некоторых случаях нужно уделять особое внимание взаимному расположению проводников. Так, цепи с большим внутренним сопротивлением нужно размещать как можно дальше от цепей питания или от других сигнальных цепей. В противном случае могут ухудшиться соотношение сигнал/шум, появиться индуктивные наводки или возникнуть нежелательные обратные связи.

При разводке также следует ограничить количество проводников между контактными площадками, предназначенными

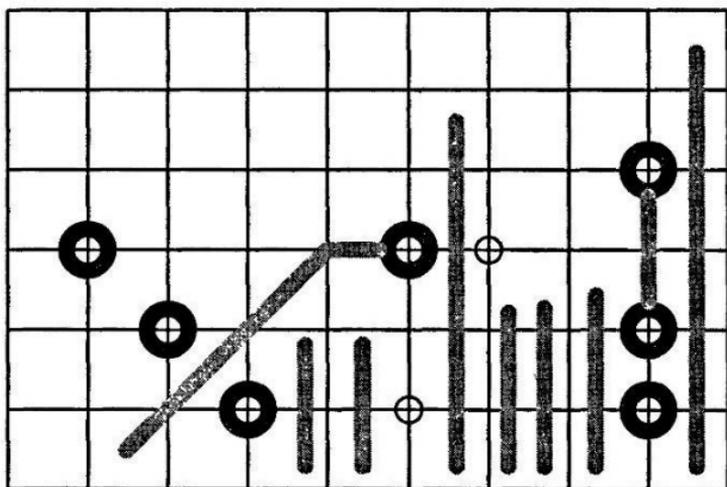


Рис. 3.11. Типичные варианты расположения контактных площадок, отверстий и проводников на печатной плате

для подпайки выводов радиоэлементов. В большинстве используемых в радиолюбительских конструкциях деталей диаметр отверстий под выводы может быть равен 0,8 мм. Ограничения на число проводников для типичных вариантов расположения контактных площадок с отверстиями такого диаметра приведены на рис. 3.11 (сетка соответствует шагу 2,5 мм на плате).

Между контактными площадками отверстий с межцентровым расстоянием 2,5 мм установить проводник практически нельзя. Однако это возможно, если у одного или обоих отверстий такая площадка отсутствует (например, у неиспользуемых выводов микросхемы или у выводов любых деталей, припаяемых на другой стороне платы). Такой вариант показан в верхней части рис. 3.11 (в центре). Вполне можно проложить проводник между контактной площадкой, центр которой лежит в 2,5 мм от края платы, и этим краем (рис. 3.11, справа).

3.7.3. Предварительная разводка проводников

Предварительную разводку проводников удобно выполнять мягким карандашом на листе гладкой бумаги. Сторону печатных проводников рисуют сплошными линиями, обратную сторону – штриховыми. По окончании разводки и корректировки чертежа под него кладут копировальную бумагу красящим слоем вверх и красной или зеленой шариковой ручкой обводят контуры платы, а также проводники и отверстия, относящиеся к стороне деталей. В результате на обратной стороне листа получится рисунок проводников для стороны деталей.

3.7.4. Предотвращение помех

При реализации печатной схемы часто появляется множество побочных эффектов, например возникают помехи. Детали необходимо размещать так, чтобы они не имели между собой паразитных связей, то есть взаимодействий магнитных и электрических полей различных элементов схемы. Например, часто встречается паразитная связь коллектора транзистора входного каскада с контуром магнитной антенны, которая приводит к самовозбуждению усилителя высокой частоты. Чтобы ее исключить, транзистор располагают на расстоянии 2–3 см от

антенны или отгораживают экраном. Таким же образом можно избавиться и от других паразитных связей.

Не следует размещать рядом магнитную антенну, динамик и выходной трансформатор. Их магнитные поля могут оказать взаимное влияние, вследствие чего возникнут наводки. В этом случае необходимо правильно сориентировать детали, то есть принять во внимание конфигурацию их полей.

При использовании микросхем нужно максимально разносить входные и выходные цепи. Монтаж входных цепей ИС следует проводить в непосредственной близости от нее.

Если при проектировании частей схемы придерживались правила использования отдельного заземляющего провода, подключаемого к «земле» в одной точке, то также возникнут помехи.

В том случае, когда рисунок проводников выполняется геометрически правильными линиями, можно ожидать следующих проблем: утечки, высокого напряжения, больших помех, нежелательных связей, потери сигнала из-за емкостных эффектов. Минимальная ширина проводников должна быть не менее 1–1,5 мм. Чтобы при пайке не появилось мостиков из припоя, минимальный зазор между проводниками должен быть более 1–1,5 мм.

При проектировании полупроводниковых схем печатные проводники, как правило, прокладываются по прямым линиям и прямым углам с незначительным их скруглением, что предотвращает возникновение коронного разряда из-за концентрации электрических полей.

3.7.5. Монтаж ИС с гибкими выводами

Микросхемы, выводы которых расположены параллельно корпусу (серии 133, К134 и др.), можно смонтировать, предусмотрев соответствующие контактные площадки с шагом 1,27 мм, однако это заметно затрудняет и разводку, и изготовление платы. Гораздо целесообразнее чередовать подпайку выводов микросхемы к прямоугольным площадкам со стороны деталей и круглым площадкам через отверстия на противоположной стороне (рис. 3.12); ширина выводов микросхемы показана не в масштабе. В качестве примера взята двусторонняя плата. Подобные микросхемы, имеющие

длинные выводы (например, серии 100), можно монтировать так же, как и ИС в пластмассовых корпусах, изгибая выводы и пропуская их в отверстия платы. Контактные площадки в этом случае располагают в шахматном порядке (рис. 3.13).

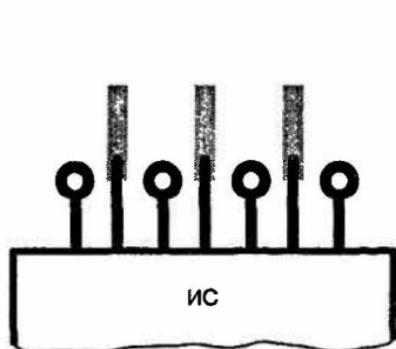


Рис. 3.12. Контактные площадки для микросхем в планарных корпусах

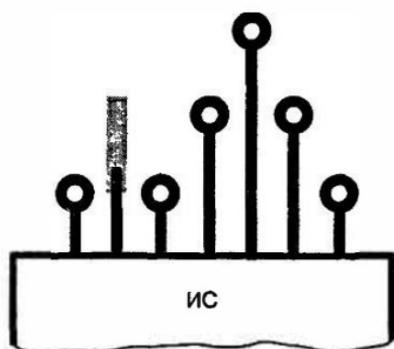


Рис. 3.13. Контактные площадки для микросхем с длинными выводами

При разработке двусторонней платы надо стремиться к тому, чтобы на стороне деталей осталось меньшее число соединений. Это облегчит исправление возможных ошибок, налаживание устройства и, если необходимо, его модернизацию. Под корпусами микросхем размещают лишь общий провод и провод питания, но подключать их нужно только к выводам питания микросхем. Контактные площадки к входам микросхем, подсоединяемым к цепи питания или общему проводу, прокладывают на стороне проводников, причем так, чтобы их можно было легко перерезать при налаживании или усовершенствовании устройства.

Если же устройство настолько сложно, что на стороне деталей приходится прокладывать и проводники сигнальных цепей, позаботьтесь о том, чтобы любой из них был доступен для подсоединения к нему и исключения его из цепи.

3.7.6. Установка контактных стоек

Обычно узел, собранный на печатной плате, подключают к другим узлам устройства гибкими проводниками. Чтобы не

испортить печатные проводники при многократных перепайках, желательно предусмотреть на плате в точках соединений контактные стойки (удобно использовать штыревые контакты диаметром 1 или 1,5 мм от разъемов 2РМ). Стойки вставляют в отверстия, просверленные точно по диаметру, и пропаивают. На двусторонней печатной плате контактные площадки для распайки каждой стойки должны быть на обеих сторонах.

3.7.7. Двусторонняя плата

Аналоговые устройства, работающие со слабыми сигналами, и цифровые на быстродействующих микросхемах (например, серий КР531, КР1531, К500, КР1554) независимо от их рабочей частоты целесообразно собирать на платах с двусторонним фольгированием. Причем фольга той стороны платы, где располагают детали, будет играть роль общего провода и экрана. Фольгу общего провода не следует использовать в качестве проводника для большого тока (например, от выходных каскадов, динамической головки, выпрямителя блока питания и т.д.).

При разработке двусторонних печатных плат нужно постараться обойтись без специальных перемычек между сторонами платы, используя для этого контактные площадки соответствующих выводов монтируемых деталей; выводы в этих случаях пропаивают с обеих сторон платы. На сложных платах иногда удобнее некоторые детали подпаивать непосредственно к печатным проводникам. Контактные площадки в этом случае делают шире – 3–4 мм. На таком участке фольги допускается припаивание только одного навесного компонента. Если в качестве общего провода используется сплошной слой фольги, отверстия под выводы, не подключаемые к нему, следует раззенковать со стороны деталей. Печатные дорожки питания делают шире, нежели другие проводники.

Однако не стоит браться за изготовление двусторонней печатной платы любительскими средствами, не имея соответствующего опыта. Нужное оборудование стоит очень дорого, а осуществить металлизацию отверстий практически невозможно. При необходимости лучше обратиться

в организацию, которая специализируется на производстве подобных плат.

3.7.8. Использование макетной 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. В этой работе удобно также использовать небольшую пластину-шаблон из стеклотекстолита или другого материала, в которой с шагом 2,5 мм на сверлены рядами отверстия диаметром 1–1,1 мм, и по ней планировать возможное взаимное расположение элементов.

3.7.9. Временная макетная плата

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. 3.14).

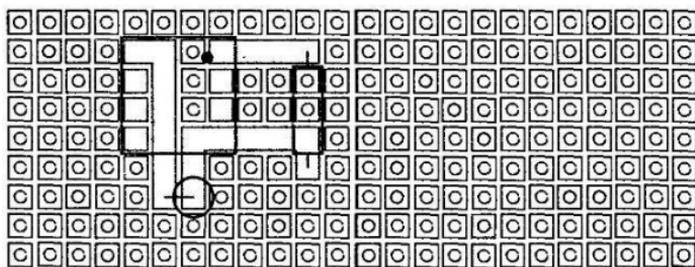


Рис. 3.14. Макетная плата с квадратными контактными площадками

Каждый компонент припаивается, а контактные площадки соединяются между собой в нужных местах капельками припоя. Использование паяльника с тонким жалом существенно упрощает монтажные операции. В окончательном виде устройство будет эквивалентно схеме, собранной на односторонней печатной плате. Некоторую трудность вызывает, например, соединение двух несмежных выводов одной интегральной схемы. На такую плату можно смонтировать все компоненты со стандартным шагом выводов, включая микроконтроллеры. При формировании перемычек и дорожек следует ориентироваться на величину токов, которые будут по ним проходить.

3.7.10. Размещение КГ на плате

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.

3.7.11. Травление печатных плат

Оборудование, с помощью которого можно нанести рисунок на печатную плату, довольно разнообразно. Достаточно эффективные установки для травления сравнительно дешевы. Удобны, например, камеры вертикального типа с перемешиванием раствора при помощи пузырьков воздуха и с нагревателями для аквариумов. Такие камеры экономно расходуют хлорное железо, их удобно чистить.

3.7.12. 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 и зеркального отображения элементов рисунка. Печать, как правило, выполняется на специальной прозрачной пленке. Опыт показывает, что плотность печати на таком фотошаблоне

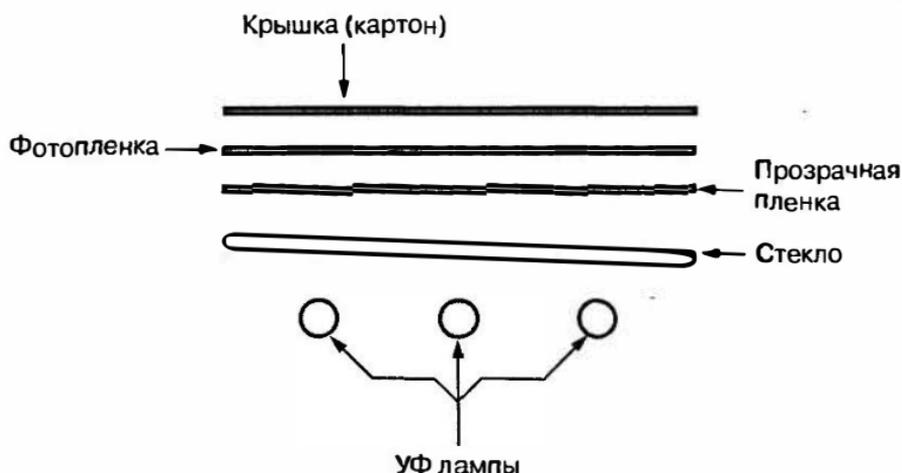


Рис. 3.15. Экспонирование фотопленки

обычно недостаточно высока. В этом случае, используя созданный чертеж, можно изготовить негатив на фотопленке, который легко экспонируется и проявляется (рис. 3.15).

3.7.13. Перемычки на печатной плате

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 выводы 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. 3.16а).

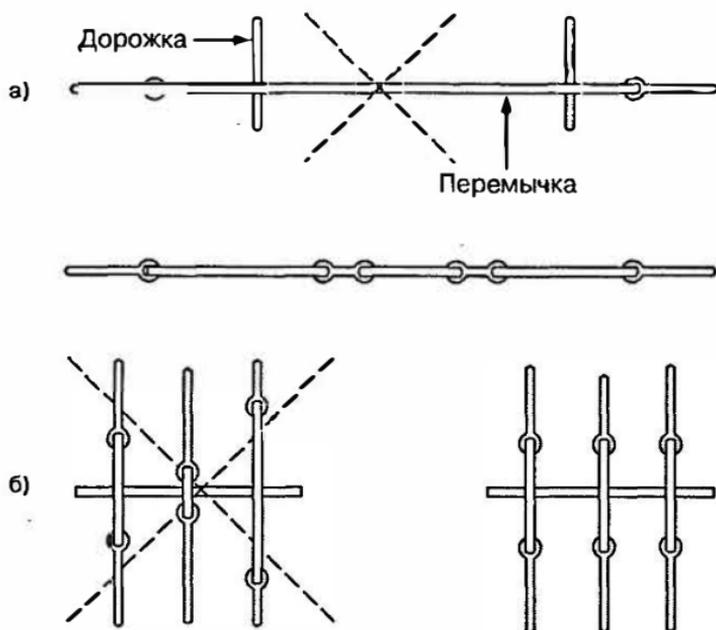


Рис. 3.16. Установка перемычек на печатной плате

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. 3.16б). Следует сохранять отрезки проволоки, образующиеся при укорачивании выводов компонентов, они могут пригодиться для изготовления перемычек.

3.7.14. 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.

3.8. Источники питания

3.8.1. Формирование батарей 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

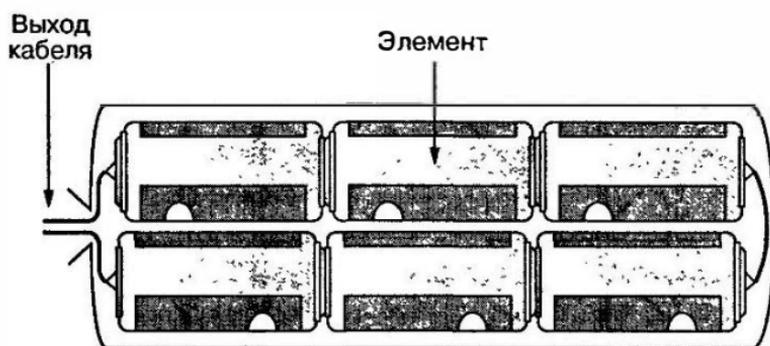


Рис. 3.17. Батарея аккумуляторов

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. 3.17). Хотя внешний вид такой конструкции оставляет желать лучшего, она не требует практически никаких расходов и вполне пригодна как временная мера.

3.8.2. Соединительный элемент для батарейки 9 В

Малогабаритная девятивольтовая батарейка (типа «Крона») 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.

3.9. Слесарно-монтажные работы

3.9.1. 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.

3.9.2. 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. 3.18а). Вскрывать такой корпус довольно сложно, поэтому размещаемый в нем узел следует заранее тщательно проверить.

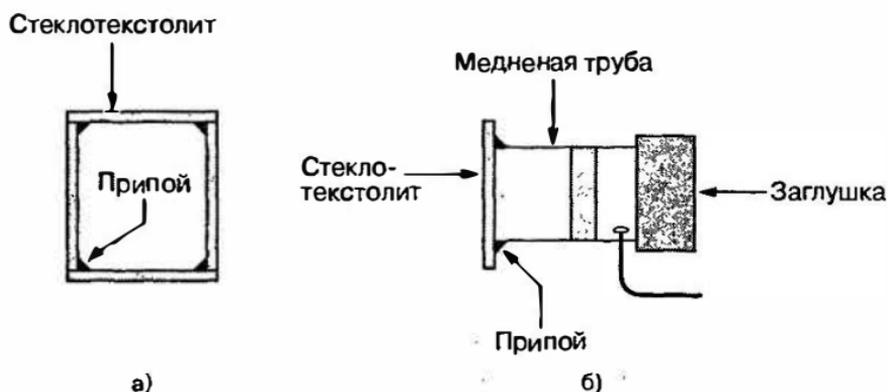


Рис. 3.18. Варианты экранов из фольгированного стеклотекстолита (а) и отрезка медной трубы (б)

Для небольшой сборки корпус можно изготовить из отрезка медной трубы, которая с одного конца запаивается отрезком фольгированного стеклотекстолита, а с другой закрывается заглушкой (рис. 3.18б).

3.9.3. Крепление печатных плат

Как правило, на печатной плате имеется несколько 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.

3.9.4. Стойка для крепления платы

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

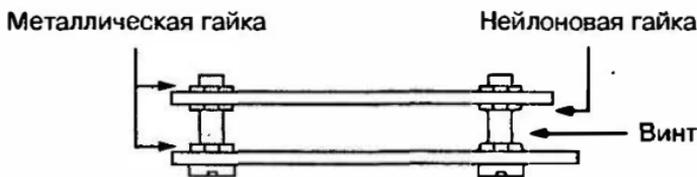


Рис. 3.19. Стойка для крепления платы

3.9.5. 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. 3.20). Эти компоненты размещаются группами в соответствии с выполняемыми функциями.

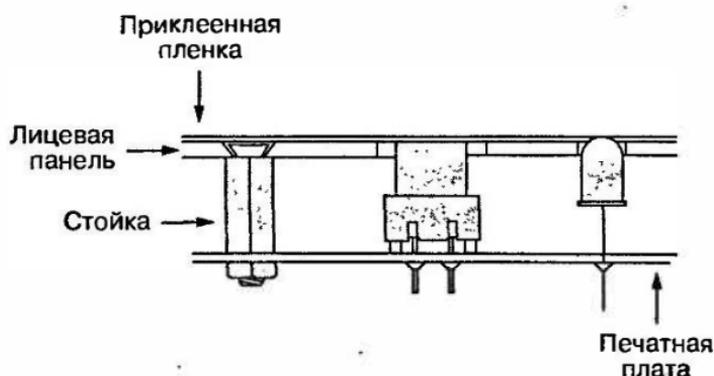


Рис. 3.20. Вариант оформления лицевой панели

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 прозрачной самоклеющейся пленкой, а все элементы закрепить по краям скотчем.

Печатная плата с индикаторами и сенсорными кнопками должна располагаться непосредственно за лицевой панелью. 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 способы монтажа до выполнения рисунка печатной платы. Рядом с каждой кнопкой следует расположить по крайней мере одну опору, чтобы плата не деформировалась при нажатии.

3.9.6. Сетка для громкоговорителя

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, которая нужна для завершения конструкции и для защиты мембраны

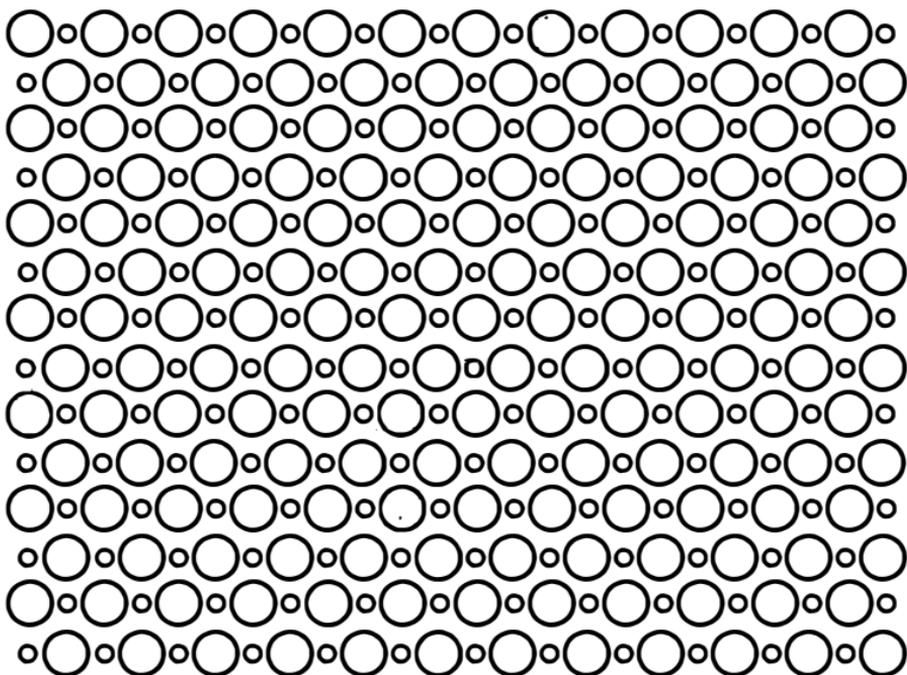


Рис. 3.21. Вариант сетки для динамика

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. 3.21). После удаления заусенцев сетку следует покрасить черной матовой или блестящей краской.

3.9.7. Укорачивание корпуса прибора

При сборке портативного устройства, размещаемого в корпусе 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 TO220, которые встречаются чаще, чем приборы в небольшом корпусе (TO92). 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 (рис. 3.22) или удалить ее с помощью кусачек.

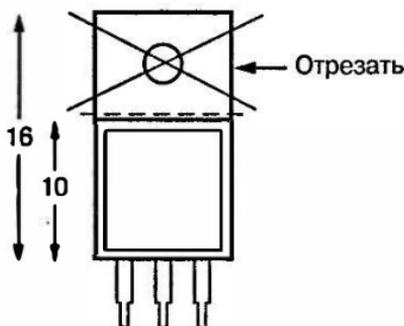


Рис. 3.22. Укорачивание корпуса TO220

3.9.8. 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 в несколько 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 сверлом 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.

3.9.9. Сверление отверстий в металле

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 2–3 мм. Чем больше конечный диаметр, тем больше потребуются 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.

3.9.10. 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 с 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 же 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.

Глава **4**

Тестирование и измерения

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.

4.1. Подготовка к измерениям

4.1.1. 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 Вапана. На таких наконечниках есть гнезда, что позволяет вставлять их один в другой, увеличивая длину шнура (рис. 4.1).

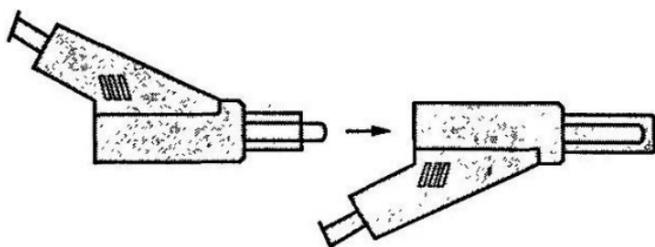


Рис. 4.1. Наконечник типа Вапана

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 Вапана. 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).

4.1.2. 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). Самым распространенным напряжением является 12 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. 4.2).

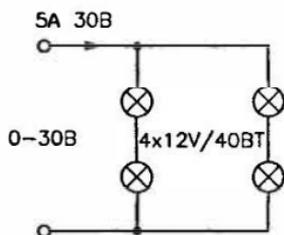


Рис. 4.2. Искусственная нагрузка

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 полоски 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 защитить глаза от интенсивного светового излучения лампы даже при небольших ее размерах.

4.1.3. Использование трансформатора тока

Не всегда получается просто 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 меньше измеряемый ток. Проводник с измеряемым током пропускают сквозь тороидальный сердечник. Таким образом формируется первичная обмотка трансформатора (рис. 4.3). Ток во вторичной обмотке может быть небольшим, если предусмотрена его обработка с помощью операционного усилителя, включенного по схеме преобразователя тока в напряжение.

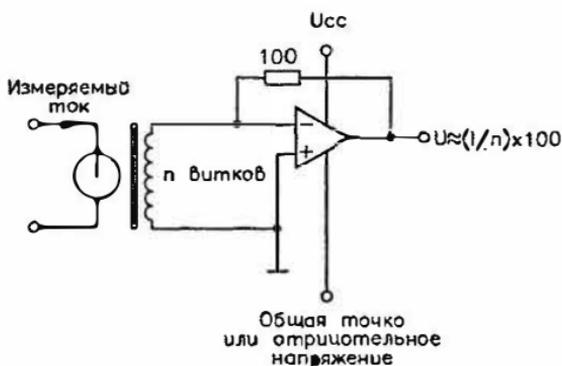


Рис. 4.3. Включение трансформатора тока

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. 4.3. 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 к вторичной обмотке трансформатора.

4.1.4. 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. 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.

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 индицироваться напряжение, существенно превышающее его истинное значение. Для корректного измерения следует использовать осциллограф, который одновременно показывает и амплитуду, и форму сигнала.

4.1.5. Форма измеряемого сигнала

На рис. 4.4 представлены формулы для определения действующих (эффективных) значений сигналов различной формы. Эти формулы действительны как для токов, так и

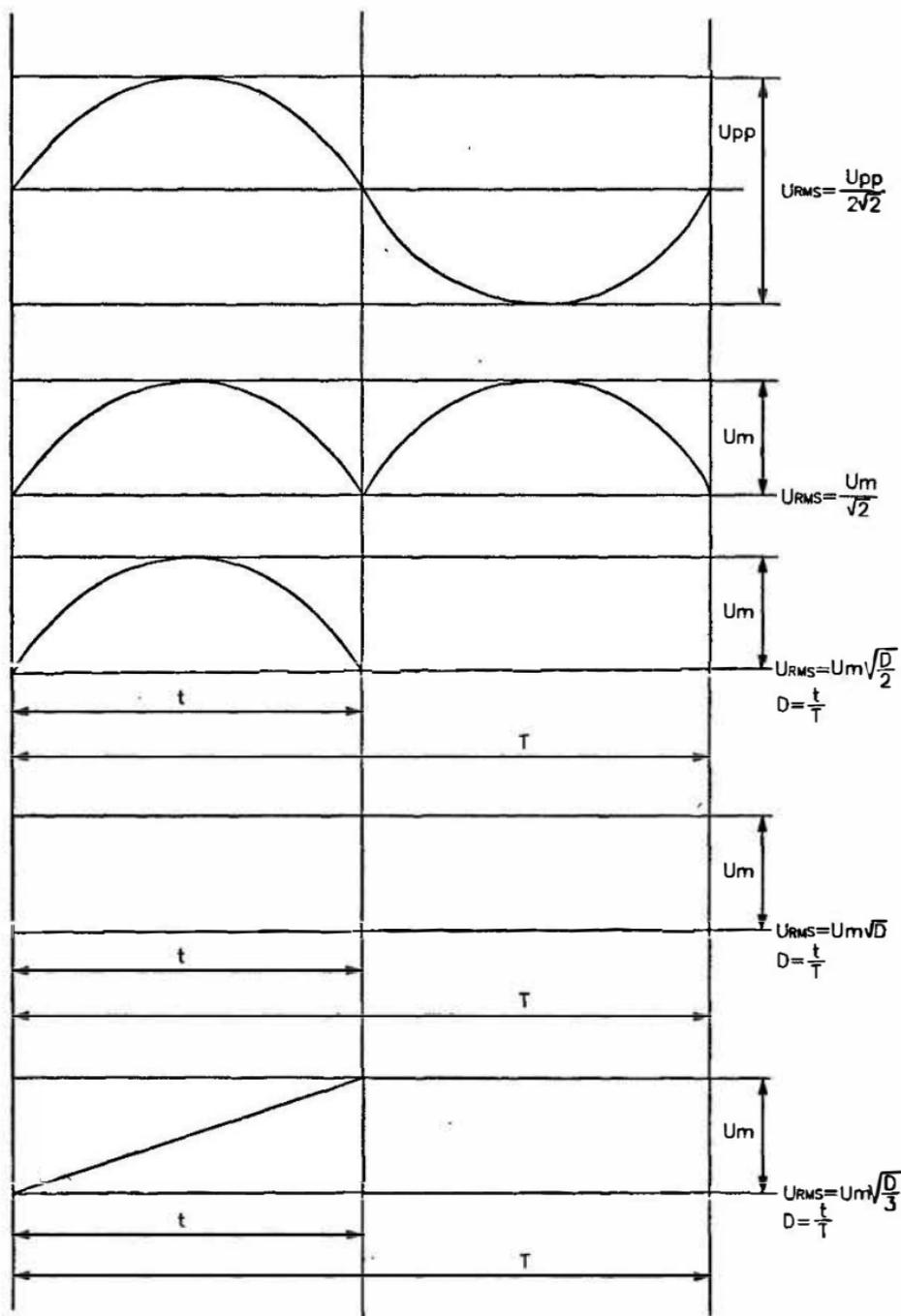


Рис. 4.4. Формулы для определения действующих значений напряжения гармонических сигналов

для напряжений. В них используются пиковые (максимальные) значения сигналов и коэффициент заполнения (величина, обратная скважности).

4.2. Работа с мультиметром

В своей деятельности радиолюбителю придется использовать множество контрольных приборов различного типа для тестирования, измерения и обнаружения неисправностей в электронном оборудовании

Мультиметр является универсальным прибором, который используется практически каждый день. Имеется два основных типа мультиметров для общего использования: *аналоговые* и *цифровые*.

4.2.1. Аналоговые мультиметры

В аналоговом мультиметре (тестер или стрелочный авометр – ампервольтметр) применяется стандартная измерительная шкала с указателем. Значение напряжения, тока или сопротивления отсчитываются от позиции указателя на измерительной шкале. Определение показаний аналогового мультиметра очень похоже на определение времени по стрелкам на часах. В случае часов приходится интерполировать число секунд между маркировками минут. Точно так же при работе с аналоговым мультиметром нужно определять или оценивать фактическое значение путем интерполирования между маркировками напряжений, токов или сопротивлений на измерительной шкале.

Аналоговые мультиметры все еще широко используются, поскольку они недороги и надежны в работе. Их основным недостатком является то, что они имеют невысокую точность и большой разброс при измерениях. В большинстве случаев погрешность аналогового мультиметра составляет менее 2% от пределов измерения по шкале прибора, что вполне приемлемо в большинстве практических применений. Тем не менее во многих случаях желательны более точные измерения.

4.2.2. Цифровые мультиметры

Цифровой мультиметр подобен аналоговому в том отношении, что он также является универсальным измерительным прибором, способным измерять напряжение, ток и сопротивление. Основным отличием является то, что результаты измерений выводятся на индикаторную панель десятичной цифровой индикации. В большинстве цифровых мультиметров имеется жидкокристаллический индикатор (дисплей). Значение тока, напряжения или сопротивления выводится в виде десятичных цифр на семисегментные индикаторы. Индикация в более старых цифровых мультиметрах осуществляется с использованием индикаторов на светоизлучающих диодах.

В дополнение к удобствам, связанным с использованием десятичных дисплеев, цифровые мультиметры обеспечивают также более высокую точность измерений. Хороший цифровой мультиметр обеспечивает точность измерений 0,5–1% от фактического значения. Такие точные измерения предпочтительны при тестировании электронных схем, поскольку они дают наилучшую информацию о состояниях схем. Цифровые мультиметры имеют также более высокую разрешающую способность измерительной системы, что обеспечивает более высокоточные измерения.

Большинство мультиметров позволяют также измерять основные параметры транзисторов: коэффициент передачи тока базы $h_{21Э}$, обратный ток коллектора $I_{КО}$ и обратный ток эмиттера $I_{ЭО}$.

При использовании мультиметра для измерения напряжений синусоидальных сигналов необходимо иметь в виду, что представляемая на индикации величина является эффективным или среднеквадратическим значением. Необходимо знать также, что мультиметр имеет ограничение по высокой частоте. Это предельное значение частоты варьируется от прибора к прибору, однако оно не превышает обычно нескольких килогерц.

4.2.3. 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.

4.2.4. 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 индикатор напряжения.

4.2.5. Режим короткого замыкания

На стадии наладки схемы иногда требуется выполнить временное замыкание двух точек, чтобы проверить работу управляющей схемы реле или светодиода в режиме короткого замыкания, прежде чем монтировать схему 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.

4.2.6. Мегаомметр

Мегаомметр используется для измерения сопротивления изоляции проводов или кабелей с целью определения их пригодности к использованию. Следует отметить некоторые особенности при работе с мегаомметром. В нем вырабатывается высокое напряжение, и если в установке, где производится измерение, есть элементы, которые могут быть повреждены этим напряжением, например, конденсаторы и полупроводниковые приборы, то они должны быть отсоединены или их выводы закорочены.

Не допускается пользование загрязненным и покрытым влагой прибором, так как это может исказить показания. Перед измерением прибор должен быть проверен соединением концов его проводов при вращении рукоятки, при этом стрелка прибора должна показать «ноль», а при рассоединении проводов – «бесконечность». Чтобы прибор вырабатывал нужное напряжение, его рукоятку нужно вращать с частотой не меньшей, чем указана на щитке со шкалой.

4.2.7. Измерение емкости и индуктивности

В практических схемах измерителей напряжение треугольной формы прикладывается к измеряемой емкости, при этом ток, идущий через нее, имеет форму меандра и его

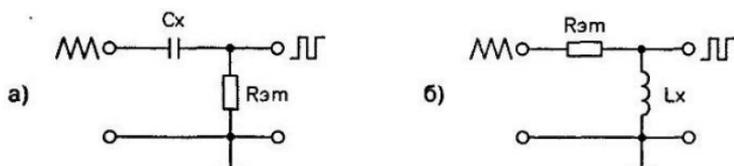


Рис. 4.5. Принцип измерения емкости (а) и индуктивности (б)

амплитуда пропорциональна измеряемой емкости. При измерении индуктивности через нее пропускается ток треугольной формы, падение напряжения на индуктивности имеет форму меандра и пропорционально ее величине. Измеряемая емкость и эталонный резистор подключаются в соответствии с рис. 4.5а, а измеряемая индуктивность – по схеме рис. 4.5б.

4.3. Использование осциллографа

Осциллограф становится относительно простым в использовании прибором после первого знакомства с ним. Затруднение может вызывать лишь изучение и запоминание функции каждого из различных органов управления на передней панели, где имеется множество ручек, лимбов, переключателей, кнопок и соединителей. Для непосвященных это кажется очень трудным. Изучите назначение каждого органа управления и проследите за картинкой на экране при использовании этих ручек. В результате вы быстро все поймете. Одним из лучших способов изучения функций и методов использования осциллографа является получение по возможности большего опыта во время практической работы.

4.3.1. Кабели для осциллографа

Желательно использовать осциллограф двухканального типа, так как он позволяет наблюдать одновременно два отдельных сигнала. Следовательно, он имеет два входных кабеля и соединителя. Они обычно маркируются как канал 1 и 2 или А и В. Различают два основных типа кабелей – прямой и аттенюаторный.

Кабель *прямого типа* является коаксиальным кабелем с двумя выводами, которые обычно имеют концевую заделку в виде щупов-наконечников или посредством зажимов типа «крокодил» для подключения к схеме. В любом случае данный кабель подводит сигнал, который должен воспроизводиться на экране, напрямую (без ослабления) к осциллографу.

С *аттенюаторным типом* соединителя также используется коаксиальный кабель, но в общем случае применяется щуп

вместо зажимов типа «крокодил». Узел щупа содержит последовательный резистор с большим сопротивлением, которое вместе с полным входным сопротивлением осциллографа формирует делитель напряжения. Таким образом, данный щуп и кабель выполняют ослабление (аттенюацию) сигнала в 10 раз.

Преимуществом такого кабеля является то, что он создает меньшую емкостную нагрузку для схем высокой частоты, позволяя визуализировать высокочастотные сигналы и сложные формы сигнала. Чтобы получить корректное измерение амплитуды сигнала, не забудьте измеренное значение умножить на 10.

4.3.2. Измерение амплитуды

Для амплитудных измерений используется откалиброванная или координатная сетка на экране электронно-лучевой трубки для определения числа делений между максимальными положительным и отрицательным отклонениями сигнала (такое измерение называется измерением размаха, или двойной амплитуды, сигнала).

Осциллограф визуализирует на экране синусоидальный сигнал. Это наиболее легкий и более точный метод для измерения размаха сигнала. Осциллограф позволяет видеть сигнал, а также любой шум, искажение или помехи, которые могут его сопровождать. Он может выполнять измерения напряжений сигналов с частотой до нескольких сот мегагерц.

В отличие от мультиметра осциллограф не позволяет измерить ток. Единственным способом измерить ток при помощи осциллографа является косвенный способ, а именно, надо измерить напряжение на участке цепи, преобразовать размах в эффективное значение, а затем разделить его на известное сопротивление участка цепи.

При выполнении тестов и измерений в электронике обычно является необходимым преобразование эффективных значений в значения размаха и наоборот. Эффективные (среднеквадратические, действующие) значения напряжения и тока связаны со значениями размаха (двойного амплитудного) следующими соотношениями:

$$U_{PP} = 2,828 U_{RMS},$$

$$I_{PP} = 2,828 I_{RMS},$$

$$U_{\text{RMS}} = 0,3535 U_{\text{PP}},$$

$$I_{\text{RMS}} = 0,3535 I_{\text{PP}},$$

где индексы: PP – размах, RMS – эффективное значение.

4.3.3. Измерение частоты

Для измерений частоты F на осциллографе сначала нужно измерить период T сигнала. Период – это время одного цикла. Самый простой способ сделать это – подсчитать количество горизонтальных делений между двумя последовательными пиками сигнала. Тогда частота $F = 1/T$.

4.3.4. 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 заземляющим нейтральным проводом 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 изменено после проведения работ.

4.3.5. 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.

4.3.6. Влияние зонда на работу схем

Сопrotивление измерительных входов осциллографа ниже, чем аналогичное сопротивление 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 сбои 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.

4.4. Тестирование компонентов электрических схем

4.4.1. Проверка резисторов

При определении состояния работающих резисторов или новых для замены вышедших из строя необходима их проверка. Постоянные резисторы проверяют внешним осмотром на отсутствие механических повреждений, целостность корпуса, его покрытия, прочность выводов. По маркировке и размерам

определяют номинальную величину сопротивления, допустимую мощность рассеяния и класс точности, а также соответствие параметров, указанных на корпусе, принципиальной электрической схеме. Омметром измеряют действительную величину сопротивления и определяют отклонение от номинала. Целость выводов проверяют измерением сопротивления резистора при их покачивании.

Переменные резисторы после внешнего осмотра проверяют на плавность изменения сопротивления путем его измерения при вращении оси, на соответствие закона изменения сопротивления резистора (линейное, логарифмическое, обратнологарифмическое) его типу, а также обращают внимание на сопротивление резистора при крайних положениях оси. Если при измерении сопротивления потенциометра при вращении его оси наблюдаются скачки сопротивления, это говорит о его неисправности и о необходимости замены. В работающем устройстве, например усилителе, это может проявляться в скачкообразном изменении громкости звука при его регулировке.

Резистор исправен, если нет механических повреждений, величина его сопротивления находится в допустимых пределах данного класса точности, а контакт ползунка с токопроводящим слоем постоянен и надежен.

4.4.2. Проверка конденсаторов

Простейший способ проверки исправности конденсатора – внешний осмотр, при котором обнаруживаются механические повреждения. Если при внешнем осмотре дефекты не замечены, проводят электрическую проверку. Она включает проверку на короткое замыкание, пробой, целостность выводов, а также проверку тока утечки (сопротивление изоляции) и измерение емкости.

Емкость конденсаторов измеряют при помощи измерителя RLC. При отсутствии прибора емкость можно проверить другими способами.

Конденсаторы большой емкости (1 мкФ и выше) на короткое замыкание проверяют омметром на максимальных пределах измерения, измеряя сопротивление между выводами и между

выводами и корпусом, если корпус металлический. При этом от конденсатора отпаивают детали, если он в схеме и разряжают его. Прибор подготавливают для измерения больших сопротивлений, общий провод должен быть соединен с положительным выводом конденсатора, а измерительный – с корпусом.

Если емкость конденсатора больше 1 мкФ и он исправен, то после присоединения омметра конденсатор заряжается, и стрелка прибора быстро отклоняется в сторону нуля (причем отклонение зависит от емкости конденсатора, типа прибора и напряжения источника питания), потом стрелка медленно возвращается в положение «бесконечность». При наличии утечки омметр показывает малое сопротивление – сотни и тысячи ом, – величина которого зависит от емкости и типа конденсатора. При пробое конденсатора его сопротивление будет около нуля. При проверке исправных конденсаторов емкостью меньше 1 мкФ стрелка прибора не отклоняется, потому что ток и время заряда конденсатора незначительны.

При проверке омметром нельзя установить пробой конденсатора, если он происходит при рабочем напряжении. В таком случае можно проверить конденсатор мегаомметром при напряжении прибора, не превышающем рабочее напряжение конденсатора.

Конденсаторы средней емкости (от 500 пФ до 1 мкФ) проверяют с помощью последовательно подключенных к выводам конденсатора наушников и источника тока. Если конденсатор исправен, в момент замыкания цепи в головных телефонах слышен щелчок.

Конденсаторы малой емкости (до 500 пФ) проверяют в цепи тока высокой частоты. Конденсатор включают между антенной и приемником. Если громкость не уменьшится, значит, обрывов выводов нет.

Сопротивление изоляции конденсатора между выводами и каждым выводом и корпусом проверяют ламповым мегаомметром. При этом сопротивление изоляции бумажных конденсаторов должно составлять сотни и тысячи мегом, остальных – десятки и сотни мегом.

Прочность крепления выводов проверяется их покачиванием. Тем же проверкам подвергаются и новые конденсаторы,

предназначенные для замены. При этом проверяется соответствие их параметров, указанных на корпусе, электрической схеме.

У конденсаторов переменной емкости проверяют плавность вращения ротора, отсутствие заеданий и люфтов. Конденсаторы переменной емкости проверяют на пробой при плавном повороте ротора. Проверить конденсатор на пробой можно и на специальной испытательной установке, прикладывая между выводами и каждым выводом и корпусом повышенное напряжение, превышающее номинальное в 1,5–3 раза в течение 10–60 с в зависимости от типа конденсатора.

4.4.3. Проверка катушки индуктивности

Проверка исправности катушек индуктивности начинается с внешнего осмотра, в ходе которого необходимо убедиться в исправности каркаса, экрана, выводов; в правильности и надежности соединений всех деталей катушки; в отсутствии видимых обрывов проводов, замыканий, повреждения изоляции и покрытий. Особое внимание следует обращать на места обугливания изоляции, каркаса, почернение или оплавление заливки.

Электрическая проверка катушек индуктивности включает проверку на обрыв, поиск короткозамкнутых витков и определение износа изоляции обмотки. Проверка на обрыв выполняется омметром. Увеличение сопротивления означает обрыв или плохой контакт одной или нескольких жил литцендрата. Уменьшение сопротивления свидетельствует о межвитковом замыкании. При коротком замыкании выводов сопротивление равно нулю. Для более точного представления о неисправности элемента необходимо измерить индуктивность. В заключение рекомендуется проверить работоспособность катушки в исправном аппарате, подобном тому, для которого она предназначена.

4.4.4. Проверка трансформаторов и дросселей

По конструкции и технологии изготовления силовые трансформаторы, трансформаторы и дроссели НЧ весьма похожи. Все они состоят из обмоток, выполненных изолированным проводом, и сердечника. Проверку начинают с внешнего осмотра,

в ходе которого находят и устраняют все видимые механические дефекты.

Проверка на короткое замыкание между обмотками, между обмотками и корпусом производится с помощью омметра (рис. 4.6а,б). Прибор включают между выводами разных обмоток, а также между одним из выводов и корпусом. Так же проверяется и сопротивление изоляции, которое должно быть не менее 100 МОм для герметизированных трансформаторов и не менее десятков мегаом для негерметизированных.

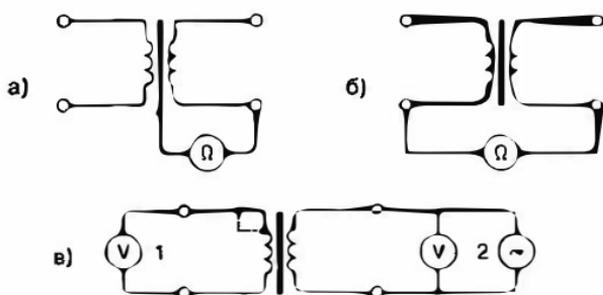


Рис. 4.6. Схемы проверки трансформатора на замыкание между обмоткой и сердечником (а), между обмотками (б), проверка коэффициента трансформации на холостом ходу (в)

Самая сложная проверка на межвитковые замыкания. Существует несколько способов проверки трансформаторов:

1. Измерение омического сопротивления обмотки и сравнение результатов с паспортными данными. (Способ простой, но не слишком точный, особенно при малой величине омического сопротивления обмоток и небольшом количестве короткозамкнутых витков.)
2. Проверка коэффициентов трансформации на холостом ходу (рис. 4.6в). Коэффициент трансформации определяется как отношение напряжений, показываемых вольтметрами 2 и 1. При наличии межвитковых замыканий (изображено пунктиром) коэффициент трансформации будет меньше нормы.
3. Измерение индуктивности обмотки.
4. Измерение потребляемой мощности на холостом ходу. У силовых трансформаторов одним из признаков короткозамкнутых витков является чрезмерный нагрев обмотки.

Наиболее точные результаты получают, используя приборные способы проверки:

5. Проверка катушки с помощью специального прибора – анализатора короткозамкнутых витков.
6. Проверка трансформатора по форме выходной синусоиды, так называемая «частотная прогонка». Так проверяются трансформаторы питания НЧ (40–60 Гц), трансформаторы питания импульсных блоков питания (8–40 кГц), разделительные трансформаторы типа ТДКС (13–17 кГц), разделительные трансформаторы мониторов (CGA 13–17 кГц, EGA 13–25 кГц, VGA 25–50 кГц).

Для этого, например, разделительный трансформатор строчной развертки необходимо подключить согласно рис. 4.7 и подать на обмотку I синусоидальное напряжение 5–10 В частотой 10–100 кГц через конденсатор С емкостью 0,1–1,0 мкФ. На обмотке II, используя осциллограф, можно наблюдать форму выходного напряжения. «Прогнав» на частотах от 10 до 100 кГц генератор НЧ, нужно, чтобы на каком-то участке получилась чистая синусоида (рис. 4.8а) без выбросов и «горбов» (рис. 4.8б). Наличие эпюр во всем диапазоне (рис. 4.8в) говорит о межвитковых замыканиях в обмотках. Данная методика с определенной степенью вероятности позволяет отбраковывать трансформаторы питания, различные разделительные трансформаторы, частично строчные трансформаторы. Важно лишь подобрать частотный диапазон.

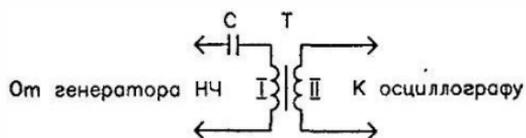


Рис. 4.7. Схема проверки трансформатора по форме выходной синусоиды

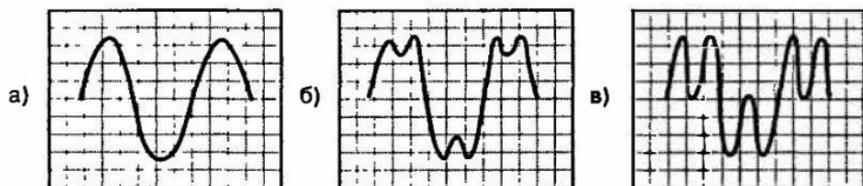


Рис. 4.8. Формы наблюдаемых сигналов

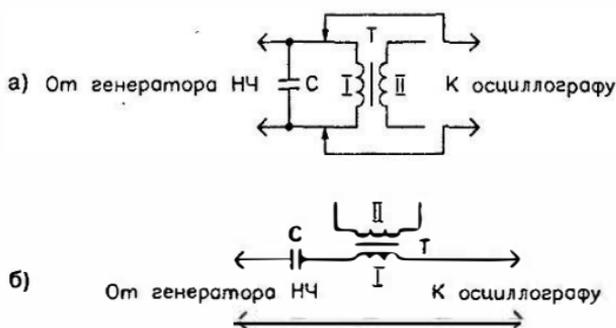


Рис. 4.9. Схема проверки трансформатора при использовании параллельного (а) и последовательного (б) резонанса

7. Проверка трансформатора, используя явление резонанса. Для проверки нужно собрать схему для параллельного (рис. 4.9а) или последовательного (рис. 4.9б) резонанса. Изменяя частоту генератора, нужно добиться резкого увеличения (в 2 раза и выше) амплитуды колебаний на контрольном устройстве (экран осциллографа или шкала вольтметра переменного тока). Это указывает, что частота внешнего генератора соответствует частоте внутренних колебаний LC-контура. Отсутствие или срыв колебаний (достаточно резкий) при изменении частоты генератора НЧ указывает на резонанс.

Для проверки закоротите обмотку II трансформатора. Колебания в LC-контуре исчезнут. Из этого следует, что короткозамкнутые витки срывают резонансные явления, чего мы и добивались. Наличие короткозамкнутых витков в катушке также приведет к невозможности наблюдать резонансные явления в LC-контуре. Отметим, что для проверки импульсных трансформаторов блоков питания конденсатор С должен иметь емкость 0,01–1 мкФ. Частота генерации подбирается опытным путем.

4.4.5. Проверка полупроводниковых диодов

Простейшая проверка исправности полупроводниковых диодов заключается в измерении их прямого ($R_{пр}$) и обратного ($R_{обр}$) сопротивлений постоянному току. Чем меньше прямое

сопротивление и больше обратное сопротивление, или, другими словами, чем выше отношение $R_{обр}/R_{пр}$, тем выше качество диода. Для измерения диод подключают к тестеру (омметру), как показано на рис. 4.10. При этом выходное напряжение измерительного прибора не должно превышать максимально допустимого для данного элемента.

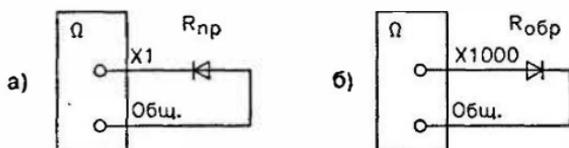


Рис. 4.10. Схема проверки исправности диода: измерение прямого (а) и обратного (б) сопротивлений

Прямое сопротивление должно быть не больше 200 Ом, а обратное не меньше 500 кОм. Следует иметь в виду, что если прямое сопротивление – около нуля, а обратное стремится к бесконечности, то в первом случае имеется пробой, а во втором – обрыв выводов или нарушение структуры. Сопротивление диода переменному току меньше прямого сопротивления и зависит от положения рабочей точки.

Исправность высокочастотных диодов можно проверить включением их в схему работающего простейшего детекторного радиоприемника, как показано на рис. 4.11. Нормальная работа радиоприемника говорит об исправности диода, а отсутствие приема – о пробое.

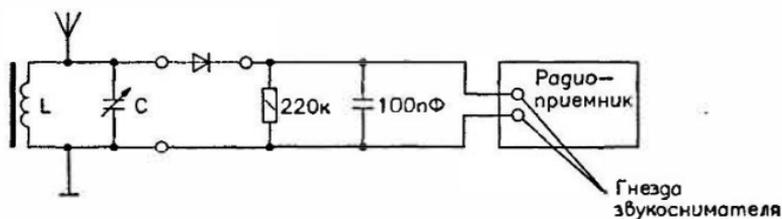


Рис. 4.11. Схема проверки исправности ВЧ диода

Для применения в цифровых устройствах лучше всего использовать специальные импульсные диоды, имеющие малую длительность переходных процессов включения и выключения.

4.4.6. Проверка диодных мостов

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 (по два на каждый диод). При этом полезно иметь под рукой эквивалентную схему, которая отражает внутреннее строение диодного моста.

4.4.7. Проверка впаянных компонентов

Чтобы не отпаивать некоторые особенно чувствительные к нагреву компоненты с целью их тестирования можно рассечь дорожки металлизации на печатной плате, соединяющие этот компонент с другими. 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.

4.4.8. Проверка тиристоров

Простейший способ проверки тиристоров представлен на рис. 4.12. Сопротивление исправного тиристора составляет несколько мегаом, а пробитого – близко к нулю. Если анод исправного тиристора соединить на мгновение с управляющим электродом (УЭ), прибор покажет сопротивление короткого замыкания.

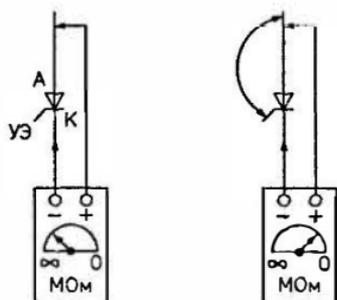


Рис. 4.12. Проверка тиристора с помощью мегомметра

4.4.9. Проверка транзисторов

Чтобы проверить исправность полупроводникового транзистора, не включенного в схему, на отсутствие коротких замыканий, необходимо измерить сопротивления между его электродами. Поскольку транзистор состоит из двух переходов, причем каждый из них представляет собой полупроводниковый диод, проверить транзистор можно таким же образом, как и диод. Для этого омметр подключают поочередно к базе и эмиттеру, к базе и коллектору, к эмиттеру и коллектору, меняя полярность подключения. На рис. 4.13 показано, как измеряют прямое и обратное сопротивление каждого из переходов. У исправного транзистора прямые сопротивления переходов составляют 30–50 Ом, а обратные – 0,5–2 МОм. При значительных отклонениях от этих величин транзистор можно считать неисправным.

С транзистором р–n–р типа производят те же действия, но полярность напряжения должна быть обратной. Остается проверить переход коллектор–эмиттер, который не должен пропускать ток. При проверке ВЧ транзисторов напряжение батареи омметра не должно превышать 1,5 В. Следует также иметь в виду, что транзисторы Дарлингтона иногда имеют защитный диод, включенный между коллектором и эмиттером. Для более точной проверки необходимо использовать специальные приборы.

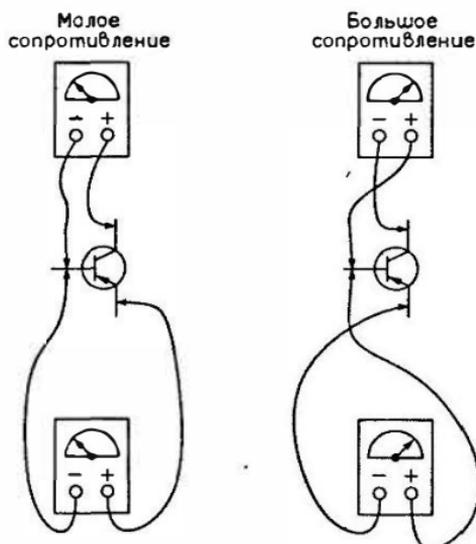


Рис. 4.13. Проверка транзистора с помощью омметра

Многие модели современных мультиметров имеют специальные гнезда для подключения транзисторов с целью проверки их исправности. Наличие такого прибора значительно упростит работу радиолюбителя и ускорит проверку. Для этого желательно измерить обратный ток коллектора, обратный ток эмиттера и ориентировочное значение коэффициента усиления по току. Пригодность транзистора определяется сравнением полученных при измерении данных с данными, указанными в паспорте транзистора.

При измерениях параметров отдельного транзистора можно выявить обрывы электродов и замыкания в транзисторах, но это же можно сделать и при измерениях в схемах с транзисторами. При этом нужно иметь в виду, что применяемый измерительный прибор должен обладать достаточно большим внутренним сопротивлением. При проведении электрических измерений можно сделать следующие выводы:

- при обрыве цепи базы напряжения базы и эмиттера отсутствуют, напряжение коллектора повышено;
- при обрыве цепи эмиттера напряжение коллектора повышено, напряжение базы почти нормальное, напряжение на эмиттере приблизительно равно напряжению базы;
- при обрыве цепи коллектора напряжения на всех электродах транзистора уменьшаются;
- при обрыве базы внутри транзистора напряжение базы близко к нормальному, напряжение эмиттера уменьшается, а напряжение коллектора повышается;
- при замыкании эмиттера и коллектора внутри транзистора напряжение базы изменяется незначительно, напряжение эмиттера возрастает, напряжение коллектора падает.

4.4.10. Проверка транзисторов без выпаивания

При ремонте бытовой радиоаппаратуры часто возникает необходимость проверить исправность полупроводниковых транзисторов без выпаивания из схемы. Один из способов проверки – измерение омметром сопротивления между выводами эмиттера и коллектора при соединении базы с коллектором (рис. 4.14а) и соединении базы с эмиттером (рис. 4.14б). При этом источник коллекторного

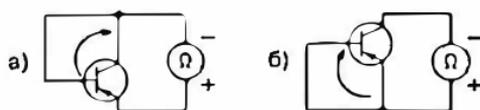


Рис. 4.14. Схема проверки исправности транзистора

питания отключают от схемы. Если транзистор исправен, в первом случае омметр покажет малое сопротивление, во втором – порядка нескольких десятков или сотен килоом.

4.4.11. Проверка полевых транзисторов

Из многочисленных параметров полевых транзисторов практическое значение имеют только два: $I_{C\text{НАЧ}}$ – ток стока при нулевом напряжении на затворе и S – крутизна характеристики. Эти параметры можно измерить, используя простую схему, изображенную на рис. 4.15. Для этого потребуются миллиамперметр РА, например из состава мультиметра, батарея GB1 напряжением 9 В («Крона» или составленная из двух батарей 3336Л) и элемент GB2 напряжением 1,5 В (например, элемент АА).

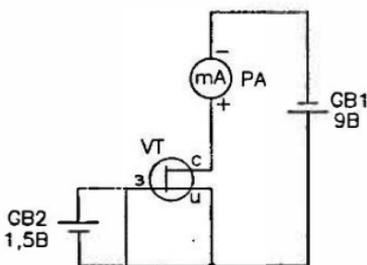


Рис. 4.15. Проверка полевого транзистора

Сначала вывод затвора соединяют проволочной перемычкой с выводом истока. При этом миллиамперметр зафиксирует первый параметр транзистора – ток стока $I_{C\text{НАЧ}}$. Записывают его значение. Затем снимают перемычку и подключают вместо нее элемент GB2. Миллиамперметр покажет меньший ток в стоковой цепи. Если теперь разность двух показаний миллиамперметра разделить на напряжение элемента, полученный результат будет соответствовать численному значению параметра S проверяемого полевого транзистора.

При измерении параметров полевого транзистора с р-п переходом и каналом n-типа полярность включения миллиамперметра РА, батареи GB1 и элемента GB2 должна быть обратной.

4.4.12. Проверка элементов питания

Проверку гальванических батарей и сухих элементов осуществляют с помощью вольтметра при подключенной нагрузке (рис. 4.16). Нагрузкой может быть или лампа накаливания с соответствующим номинальным током, или резистор R , сопротивление которого рассчитывается по закону Ома (величина потребляемого тока берется порядка 100–200 мА). Для сухих элементов (1,5 В) напряжение, измеренное под нагрузкой, не должно быть меньше 1,36 В, а для гальванических батарей 4,5 В – от 3,8 до 4 В.

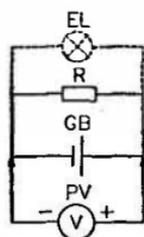


Рис. 4.16. Проверка гальванических батарей и сухих элементов с помощью вольтметра при подключенной нагрузке

4.5. Методы определения неизвестных параметров

4.5.1. Определение полярности электролитического конденсатора

Очень легко сделать ошибку при установке на плату электролитических конденсаторов, особенно импортного производства, так как справочную информацию по ним найти трудно, а на корпусе полярность не всегда указана. В этом случае удобно воспользоваться схемой, приведенной на рис. 4.17, которая позволит легко определить полярность конденсатора по минимуму тока утечки. Утечка замеряется косвенным методом по падению напряжения на резисторе R после окончания заряда подключенного конденсатора. Напряжение, подаваемое с блока питания, не должно превышать допустимое рабочее для конденсатора. При неправильном подключении полярности конденсатора утечка будет в 10–100 раз больше по сравнению с правильным. Эти

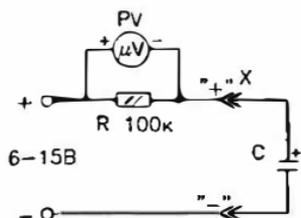


Рис. 4.17. Схема для определения полярности электролитического конденсатора

измерения проводят при помощи вольтметра с большим входным сопротивлением.

4.5.2. Определение емкости конденсатора

Маркировка конденсаторов при помощи цветового кода применяется достаточно 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. 4.18.

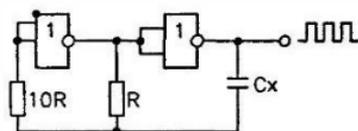


Рис. 4.18. Схема генератора импульсов

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. Такую схему можно без труда смонтировать на макетной плате, снабженной разъемом для подключения осциллографа.

4.5.3. Определение полярности выводов светодиодов

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 (вывод анода обычно длиннее, чем катода) 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 индицируется значение 1,6–1,8 кОм и наблюдается слабое свечение. Когда применяются однотипные светодиоды, достаточно установить полярность выводов для одного из них.

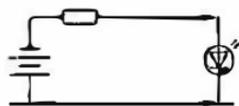


Рис. 4.19. Тестер светодиодов

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. 4.19).

4.5.4. Определение цоколевки биполярного транзистора

В радиолюбительской практике часто бывает необходимо определить расположение выводов транзистора (например, импортного), а справочника под рукой нет. Особые трудности возникают при использовании маломощных транзисторов, у которых выводы не имеют маркировки. В этом случае цоколевку транзистора можно определить следующим способом.

Сначала с помощью омметра найдите вывод базы транзистора и определите его структуру. На омметре нужно установить предел измерения $\times 10$ и поочередно подключать его щупы к паре выводов, передвигаясь по кругу.

Обнаружив при подключении, что сопротивление между выводами мало (сотни ом), перенесите минусовый щуп омметра к оставшемуся свободным третьему выводу. Если омметр также зафиксирует малое сопротивление, значит, вывод, к которому оставался подключенным плюсовой щуп омметра, является базой, а структура транзистора – $p-p-p$.

Если будет зафиксировано большое сопротивление, поменяйте местами щупы. Резкое уменьшение сопротивления свидетельствует о том, что базой транзистора является вывод, к которому подключен минусовый щуп омметра, а сам транзистор имеет структуру $p-p-p$.

Может случиться, что вы не обнаружите вывод, который по указанной методике определяется как вывод базы. Это будет означать, что транзистор, скорее всего, неисправен.

Определив вывод базы, подключите щупы омметра к оставшимся двум выводам в произвольной полярности, принимая, что коллектором в данный момент является вывод, с которым соединен плюсовой щуп (для $p-p-p$ транзистора) или минусовой (для $p-p-p$ транзистора). Затем подключите к выводам базы и предполагаемого коллектора постоянный резистор сопротивлением $30-50$ кОм. Отсчитав показания омметра, измените полярность его подключения и повторно подсоедините указанный резистор между выводами базы и предполагаемого коллектора. После этого вновь отсчитайте показания омметра. Вывод транзистора, на котором сопротивление при подключении резистора меньше, и будет коллектором, а оставшийся неопознанным вывод – эмиттером.

Следует иметь в виду, что плюсовым выводом омметра, входящего в состав мультиметра, обычно является общий вывод прибора.

4.5.5. Определение полярности источника постоянного тока

Ремонт различных устройств не всегда производится в мастерской, поэтому довольно часто под рукой не оказывается

даже тестера (мультиметра). А нужно, скажем, определить полярность элемента питания, у которого стерлась маркировка (например, батарей с гибкими выводами, применяемых в технике связи). В таких условиях рекомендуется пользоваться следующими способами.

В стакан наливают теплую воду и растворяют в ней столовую ложку поваренной соли. Затем в воду опускают концы проводов, подключенных к выводам батареи. У провода, соединенного с отрицательным выводом батареи, будут интенсивно выделяться пузырьки газа (рис. 4.20а).

Сырой клубень картофеля разрезают на две части и в одну из частей со стороны среза втыкают на расстоянии 15–20 мм друг от друга провода от зажимов батареи, зачищенные от изоляции. Около провода, соединенного с положительным полюсом батареи, картофель окрасится в зеленый цвет (рис. 4.20б).

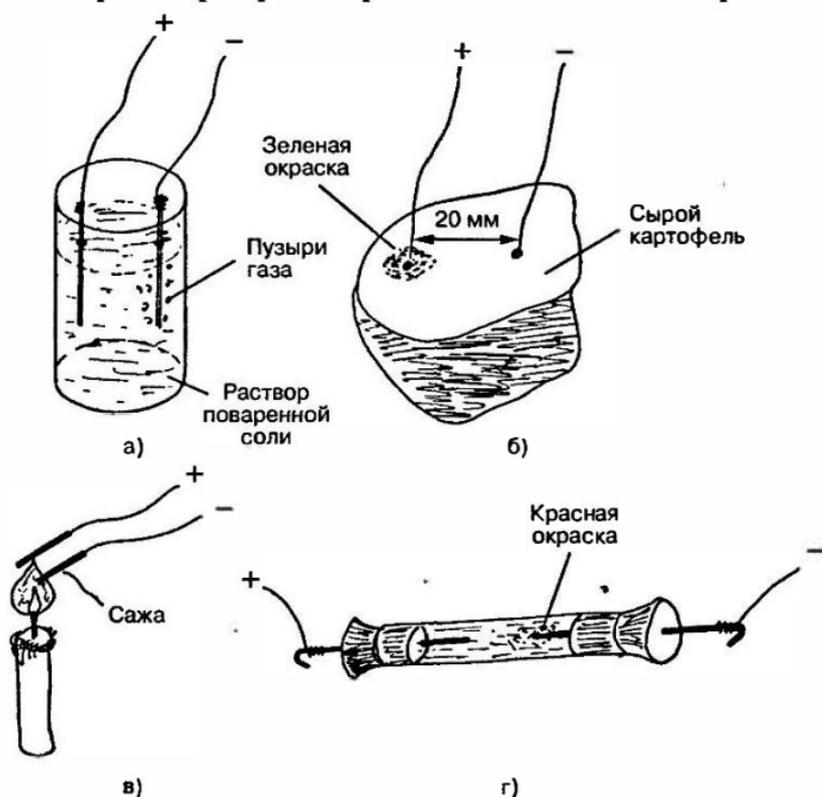


Рис. 4.20. Определение полярности источника постоянного тока с помощью раствора поваренной соли (а), картофеля (б), пламени свечи (в), самодельного индикатора (г)

Два проводника, подключенных к источнику более высокого напряжения, вводят в пламя свечи. Под действием напряжения пламя свечи станет низким и широким, а на отрицательном электроде появится тонкая ленточка сажи (рис. 4.20в).

Для постоянного пользования можно изготовить простой индикатор для определения полярности неизвестного источника. Он представляет собой стеклянную трубочку, закрывающую пробками, с пропущенными внутрь нее электродами (держатели spirali), взятыми от перегоревшей электролампы (рис. 4.20г).

Для заполнения полости трубочки готовят раствор селитры (1 часть) в воде (4 части). К этому раствору добавляется такой же объем смеси из глицерина (5 частей) и раствора фенолфталеина (0,1 части) в винном спирте (1 часть).

Такой индикатор служит годами. У отрицательного полюса содержимое трубочки окрашивается в красный цвет, а если напряжение источника переменное, то оба электрода приобретают розовый оттенок. Чтобы вернуть прибор в исходное положение, достаточно встряхнуть трубочку.

4.5.6. Определение параметров неизвестного трансформатора

В радиолюбительской мастерской всегда найдется несколько трансформаторов, которые остались от старых приборов, но сохранили свою работоспособность. Вот только характеристики устройства или утеряны, или забыты. Но это не беда.

Чтобы определить параметры неизвестного трансформатора, нужно поверх его обмоток выполнить вспомогательную обмотку из нескольких витков (N_1) медного изолированного провода диаметром 0,12–0,4 мм. Затем, измеряя сопротивление обмоток омметром, надо определить обмотку с наибольшим сопротивлением и, считая ее первичной, подать на нее напряжение U_1 сети переменного тока порядка 50–100 В. Вольтметр, включенный в цепь вспомогательной обмотки, покажет при этом напряжение U_2 . Число витков N_1 в обмотке, включенной в сеть, легко определить из известного соотношения.

Коэффициент трансформации между этими обмотками равен отношению N_2/N_1 . Точно так же можно определить

число витков и коэффициенты трансформации других обмоток. Точность расчетов по этому методу зависит от точности показаний вольтметра и от количества витков вспомогательной обмотки: чем больше витков, тем выше точность.

4.5.7. Определение внутреннего сопротивления стрелочного прибора

Для расчета элементов схемы при конструировании измерительных приборов необходимо знать характеристики самого стрелочного прибора. Сопротивление рамки магнитоэлектрического микроамперметра может быть измерено простым и безопасным способом. Для этого следует собрать цепь, состоящую из прибора РА, сопротивление рамки $R_{\text{вн}}$ которого нужно определить, переменного добавочного резистора $R_{\text{доб}}$, батареи питания GB, шунтирующего резистора $R_{\text{ш}}$ и выключателя SA (рис. 4.21).

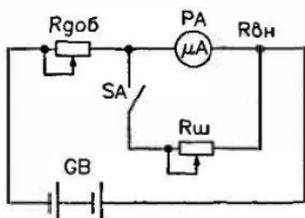


Рис. 4.21. Измерение внутреннего сопротивления прибора

Сопротивление добавочного резистора $R_{\text{доб}}$ подбирают при отключенном $R_{\text{ш}}$ таким образом, чтобы стрелка прибора отклонилась на всю шкалу. Затем параллельно рамке прибора подключают шунтирующий резистор переменного сопротивления $R_{\text{ш}}$, значение которого выбирают с таким расчетом, чтобы стрелка прибора отклонилась на половину шкалы. При данном условии ток в рамке будет равен току, протекающему через $R_{\text{ш}}$, то есть $R_{\text{вн}} = R_{\text{ш}}$. Затем шунтирующий резистор можно отключить и измерить его величину с помощью омметра.

Подобным способом можно определить внутреннее сопротивление измерительного генератора, а также выходного каскада усилителя НЧ. К выходу ненагруженного устройства нужно подключить ламповый вольтметр, показания которого записывают при отсутствии нагрузки на выходе. Затем к выходу

генератора (усилителя) подключают сопротивление такой величины, чтобы показания вольтметра уменьшились вдвое. Внутреннее сопротивление генератора на данной частоте будет точно равно величине сопротивления подключенного резистора.

4.5.8. Определение параметров коаксиального кабеля

Одним из основных параметров высокочастотного кабеля является *волновое сопротивление*. Обычным омметром его не измерить – для этого нужен специальный прибор. Сам кабель (отечественного производства) не имеет маркировки, и если вы не знаете его тип, то, воспользовавшись штангенциркулем, легко сможете определить волновое сопротивление с помощью несложных вычислений.

Для этого нужно снять внешнюю защитную оболочку с конца кабеля, завернуть оплетку и измерить диаметр внутренней полиэтиленовой изоляции. Затем снять изоляцию и измерить диаметр центральной жилы. После этого результат первого измерения разделить на результат второго: при полученном отношении примерно 3,3–3,7 волновое сопротивление кабеля составляет 50 Ом, при отношении 6,5 – 6,9–75 Ом.

Вторым важным параметром является *удельное затухание*. Эта величина характеризует потери уровня сигнала при его прохождении через один метр кабеля и позволяет сравнивать кабели разных марок. Затухание тем сильнее, чем больше длина кабеля и выше частота сигнала. Удельное затухание измеряется в децибелах на метр (дБ/м) и приводится в справочниках в таблицах или на графиках.

На рис. 4.22 приведены зависимости удельного затухания коаксиальных кабелей разных марок от частоты. Пользуясь ими, можно подсчитать затухание сигнала в кабеле на любой частоте при известной его длине.

Обозначение отечественного коаксиального кабеля состоит из букв и трех чисел: буквы РК обозначают радиочастотный коаксиальный кабель, первое число показывает волновое сопротивление кабеля в омах, второе – округленный внутренний диаметр оплетки в миллиметрах, третье – номер разработки. Из графика видно, что удельное затухание

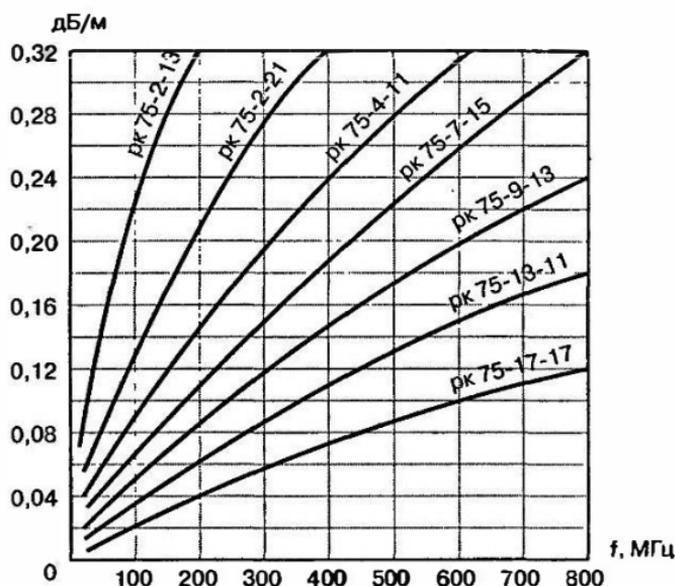


Рис. 4.22. Удельное затухание коаксиальных кабелей

зависит от толщины кабеля: чем он толще, тем удельное затухание меньше.

Зная длину кабеля, можно перевести затухание (в децибелах) в относительное ослабление уровня сигнала на выходе, воспользовавшись табл. 4.1.

Таблица 4.1. Таблица перевода затухания (в децибелах) в относительное ослабление уровня сигнала

Затухание, дБ	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное ослабление уровня сигнала $P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$	0,94	0,79	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,13	0,1

4.5.9. Расчет волнового сопротивления линии

Для практического определения волнового сопротивления любой неизвестной линии передачи, от коаксиального кабеля до пары скрученных проводов, нужно воспользоваться измерителем индуктивности и емкости. Волновое

сопротивление линии с малыми потерями определяется по формуле:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

где Z – волновое сопротивление, Ом; L – индуктивность закороченной линии, Гн; C – емкость разомкнутой линии, Ф. Для расчета необходимо выполнить измерение индуктивности закороченного участка линии длиной 1–5 м, а затем измерить емкость этого же участка, разомкнутого на конце. При меньшей или большей длине отрезка линии погрешность измерения увеличивается.

Например, волновое сопротивление сетевых шнуров питания лежит в пределах 30–60 Ом, большинства экранированных микрофонных шнуров – 40–70 Ом, телефонной пары – 70–100 Ом.

Глава **5**

Устранение неисправностей

В настоящее время умение устранять неисправности в электронных схемах утратило былую популярность, 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.

5.1. Мелкий ремонт

5.1.1. Установка перемычки на плату

Обрыв токопроводящей дорожки на плате чаще всего происходит из-за неаккуратного ремонта (выгорание проводника при его перегреве). Иногда обрыв может возникнуть в результате деформации самой платы или механического повреждения проводника. Если в проводнике образовалась трещина не более 1 мм, то ее следует залить припоем так, чтобы он прочно соединился с проводником на 5–10 мм по обе стороны от обрыва. При повреждении проводника на большом протяжении его восстанавливают прокладкой луженого медного провода диаметром 0,8–1 мм, концы которого впаивают в металлические пистоны, имеющие на концах токопроводящие дорожки. Провод укладывают и приклеивают, чтобы не нарушать прежнего взаиморасположения проводов, так как в противном случае могут изменяться емкости между проводниками, что приведет к изменению взаимосвязей между различными элементами схемы.

Если доступ к поврежденной печатной линии затруднен, то устанавливают перемычку с другой стороны платы. Провод выгибают буквой П во избежание замыкания других линий. Концы перемычки припаивают к конечным точкам поврежденной дорожки. Прогоревший участок изоляционной основы платы высверливают, а поврежденный участок схемы заменяют навесным монтажом (проводами).

5.1.2. Ремонт галетного переключателя

Срок службы поворотного галетного 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).

5.1.3. Проблема старения 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.

5.1.4. Замена конденсаторов с неизвестными параметрами

Если при замене конденсатора отсутствуют его данные, то нужно пользоваться схемой этого или сходного устройства, а если ее нет, то приходится ставить конденсатор, похожий по внешнему виду. При этом нужно учитывать условия эксплуатации и руководствоваться следующими соображениями.

Номинальное напряжение конденсатора определяют с учетом постоянной и переменной составляющих напряжения в месте установки конденсатора. Сумма постоянной и амплитуды переменной составляющих не должна превышать номинального напряжения, а для электролитических конденсаторов амплитуда переменной составляющей не должна превышать величины постоянной составляющей. Рабочее напряжение электролитических конденсаторов должно быть ниже паспортного на 10–20%.

5.1.5. 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

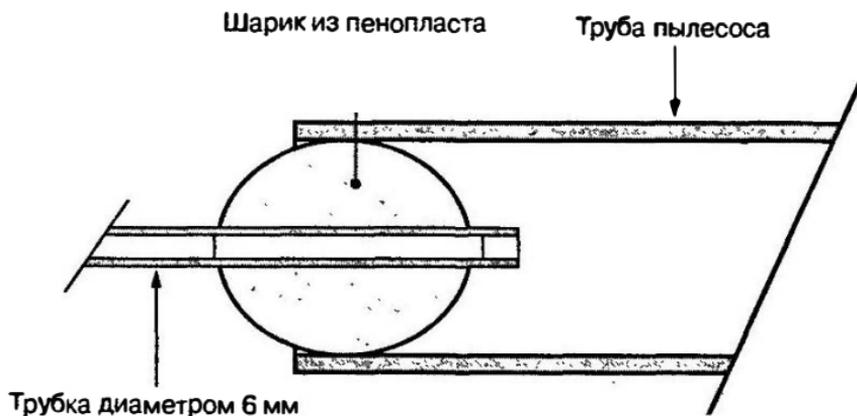


Рис. 5.1. Самодельное устройство для отсоса пыли

вставляется в отверстие, просверленное в шарике из пенопласта. Этот шарик вставляется в трубу пылесоса (рис. 5.1). Получившееся приспособление позволяет удалять также стружку и мелкий мусор со дна корпуса после сверления и прокладки кабелей.

5.2. Демонтаж компонентов с печатных плат

5.2.1. Особенности демонтажа компонентов

Некоторые фирмы избавляются от множества приборов или их частей, иногда даже находящихся в рабочем состоянии, в основном по причинам чисто экономического характера. Обычно 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.

При наличии защитного лака в схемах специального исполнения операция отпайки усложняется, как и при работе с двусторонними печатными платами. В этих случаях от демонтажа компонентов лучше отказаться.

5.2.2. Демонтаж крупных компонентов

Демонтаж крупных компонентов с большим числом выводов, в частности трансформаторов, с целью их последующего использования иногда является сложной задачей. Ее можно облегчить, если распилить печатную плату вокруг выводов так,

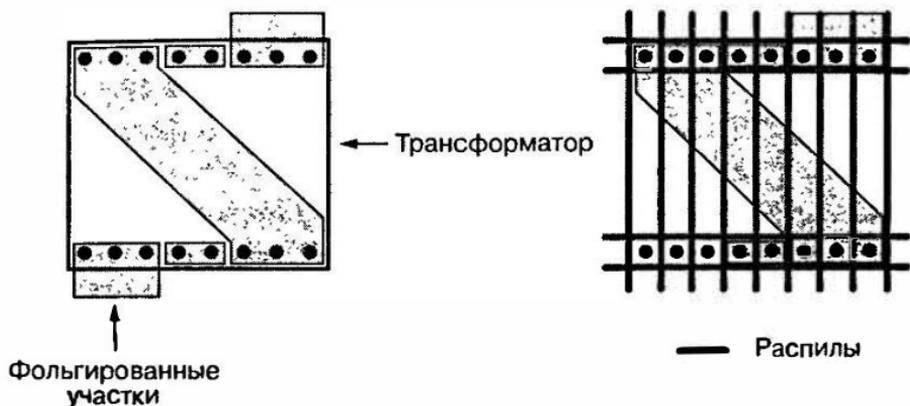


Рис. 5.2. Демонтаж трансформатора

чтобы обойти все контактные площадки (рис. 5.2). Затем их достаточно нагреть и тем самым высвободить соответствующие выводы.

При замене вышедших из строя многотырьковых радиоэлементов (микросхем, контурных катушек, малогабаритных трансформаторов и других деталей с несколькими выводами) часто допускают следующую ошибку: непрерывно нагревая контакты, наклоняют выпаиваемую деталь в стороны и постепенно выгибают ее из гнезд печатной платы. При этом фольга печатного монтажа отслаивается и в результате повреждается печатная плата ремонтируемой радиоаппаратуры. Целесообразно для удаления припоя использовать отсос или оплетку (см. ниже).

5.2.3. 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

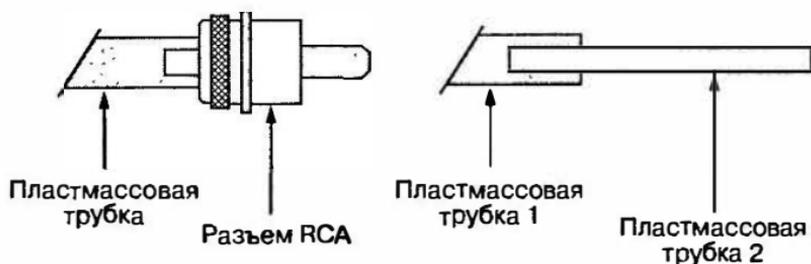


Рис. 5.3. Отсос для припоя

конец надевают на жесткую металлическую трубку или на полый разъем RCA, с которого снята пластмассовая крышка (рис. 5.3).

Теперь процесс распайки пойдет легко: припой разогревается паяльником и втягивается отсосом в трубку. Когда кончик 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).

5.2.4. Использование демонтажной трубки

Можно выпаивать каждый контакт демонтируемого компонента отдельно с помощью простого приспособления (рис. 5.4). Оно представляет собой трубку диаметром 1 мм, изготовленную из металла, который плохо облуживается (например, нержавеющая сталь или алюминий). Толщина стенки трубки не должна превышать 0,2 мм, иначе она не пройдет между контактом и отверстием в плате.

Чтобы выпаять контакт, на него надевают трубку и хорошо прогревают паяльником. Трубку, вращая, вводят в зазор между контактом и стенками отверстия. После затвердения припоя трубку осторожно вынимают. В результате многотырьковый радиоэлемент или малогабаритный трансформатор легко снимается, а фольга печатного монтажа и выпаиваемый радиоэлемент не повреждаются.

Игла от медицинского шприца также может быть использована для извлечения микросхем из печатных плат. Применение

насадок к паяльникам в этом случае малоэффективно, поскольку часто происходит перегрев выводов микросхемы, а также отслаивание проводящей дорожки от платы. С помощью иглы значительно легче вынуть микросхему: перегрев исключается, а отверстия в плате остаются чистыми, что позволяет сразу перейти к установке новой микросхемы.

Для этого потребуется игла, диаметр отверстия которой соответствует диаметру выводов микросхемы. Концы иглы стачивают под прямым углом, до основания заостренного скоса, а на другой конец надевают кусочек пластмассовой трубки. Иглу насаживают на выступающий вывод микросхемы, а паяльником разогревают припой возле вывода, одновременно нажимая на иглу. При этом игла входит в отверстие печатной платы, отделяя контактную площадку от вывода микросхемы. Так как игла сделана из нержавеющей стали, она не залуживается и припой к ней не пристает. Вместе с тем игла отводит тепло от вывода микросхемы во время прогрева пайки. После затвердения припоя игла снимается с

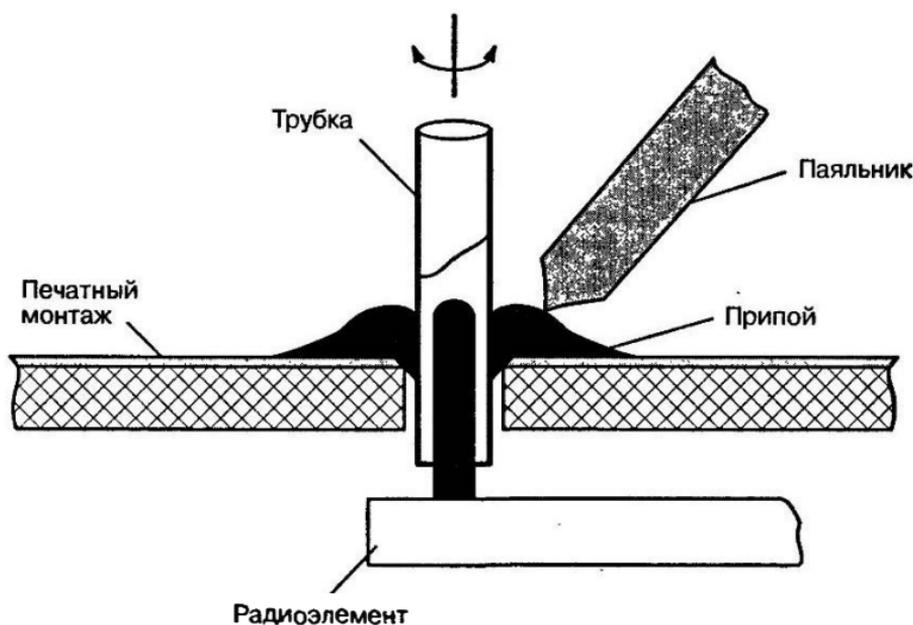


Рис. 5.4. Приспособление для выпайки электрорадиоэлементов из печатной платы

вывода и надевается на следующий. Таким образом поочередно освобождают от соединения с платой все выводы микросхемы при их минимальном и кратковременном прогреве.

Пользуясь набором игл разных диаметров, можно выпаивать из печатных плат не только микросхемы, но и другие элементы, обеспечивая целостность контактных дорожек платы. Припой, попавший внутрь иглы, легко удалить, прогревая иглу с помощью паяльника и одновременно продувая ее через трубку.

5.2.5. Использование оплетки для 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.

При демонтаже унифицированных катушек, трансформаторов НЧ и т.п., каркасы которых изготовлены из полистирола, можно воспользоваться отрезком металлической оплетки, снятой с экранированного провода диаметром 2–3 мм. Оплетку прикладывают к месту пайки со стороны печатных проводников и плотно прижимают к ней жало нагретого паяльника. Расплавившийся припой впитывается оплеткой, и вывод детали освобождается. Для лучшего впитывания припоя оплетку рекомендуют пропитать канифолью или канифольным флюсом. Использованную часть оплетки после каждой пайки отрезают. Освободив от припоя все выводы, деталь легко снимают с платы.

5.2.6. Замена компонентов

Если необходимо заменить вышедшую из строя деталь (резистор, конденсатор, транзистор и т.п.), не следует выпаивать ее из платы, так как это может привести к отслаиванию печатных проводников от основы. Выводы поврежденной детали нужно аккуратно перекусить кусачками с таким расчетом, чтобы в плате остались концы длиной 8–10 мм. К ним и припаивают исправную деталь. Припаивать новую деталь нужно быстро, не допуская перегрева места пайки, иначе может перегореть печатный проводник. У новой детали, устанавливаемой на плату, длина выводов должна быть минимальной, однако достаточной для того, чтобы она не прикасалась к другим деталям.

Очень важно, чтобы пайка во всех случаях производилась паяльником мощностью не более 50 Вт. Перед пайкой аппаратуру нужно отключить от сети, так как иногда паяльник может быть закорочен на корпус. В этом случае возможно замыкание сети через корпус паяльника и печатные проводники, что приведет к выгоранию печатного слоя.

5.2.7. Демонтаж микросхем

Планарные микросхемы удобно выпаивать, продев под одним рядом лапок нитку и закрепив ее с одной стороны. Затем, нагревая лапки, потянуть за другой конец нитки. Таким образом, под некоторым давлением лапки одна за другой аккуратно отделятся от платы.

Если сама плата или основа больше не требуется, то можно выпаять микросхему, нагрев плату над электроплитой или газовой горелкой со стороны проводников. Тут необходим определенный навык и осторожность. Однако данный метод очень удобен для снятия с платы всех деталей.

При демонтаже микросхем, впаянных в печатные платы, паяльник должен быть небольшого размера, мощностью не более 40 Вт, с температурой нагрева жала не более 200 °С, с насадкой. Насадка имеет два широких жала, которые прижимаются к рядам припаиваемых выводов микросхемы. Она навинчивается на резьбу на жале паяльника. Припой должен иметь низкую температуру плавления, количество его при

пайке должно быть минимальным. Пайка должна производиться несколько секунд при отключенном питании паяльника.

5.3. Методика устранения неисправностей

5.3.1. Поиск тепловых неисправностей

Тепловые неисправности печатного монтажа обнаружить очень трудно, а порой и вовсе невозможно. Кроме того, проявляться они могут не постоянно, что создает ложный эффект их самоустранения.

Повышение температуры, с одной стороны, бывает причиной выхода прибора из строя, а с другой стороны – может помочь в выявлении причины неисправности. 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. Если сузить отверстие для выхода воздуха, то его поток можно направлять с большей точностью.

Еще один из путей решения этой проблемы – способ выборочного охлаждения. Суть его заключается в обнаружении неисправного компонента путем локального понижения температуры. Порядок действий следующий:

1. Включить устройство и выждать, пока не проявится неисправность (при необходимости можно прибор немного нагреть, скажем, феном или на батарее отопления).
2. Взять из морозильника кусочек льда и завернуть его в полиэтилен для предупреждения возможных замыканий при таянии.
3. Выключить устройство и приложить лед на 10–20 с к корпусу тестируемой детали (микросхеме).

4. Включить и посмотреть, проявилась ли неисправность.
5. Повторять последние два пункта до устранения неисправности.

При охлаждении детали, дающей тепловой сбой, неисправность исчезнет. Останется только выпаять негодный элемент и заменить новым.

5.3.2. Ремонт источника 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 установленном 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 др., также имеют стандартное расположение выводов (+ (плюс) на выводе 4, а «земля» или – (минус) 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, резаком, 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 (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.

5.3.3. Особенности проверки 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 сбоя, поскольку неисправность оптических детекторов может привести к неожиданным последствиям и иногда даже к порче механических компонентов (выход из строя автоматической системы управления).

5.3.4. 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 подключения общего провода.

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.

5.3.5. 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 или даже лучше зарисовать их положение, поскольку оно может оказаться важным для электронных схем управления при включении.

Приложения

Приложение 1. Расположение и назначение выводов разъемов

В практике радиолюбителя часто приходится перепаивать некоторые разъемы для подключения устройств друг к другу, а расположение и назначение выводов вы не знаете или забыли. Приведенные ниже сведения помогут восполнить этот пробел. При подключении нестандартных устройств, используя эти разъемы, рекомендуется придерживаться стандартного назначения некоторых выводов во избежание неприятностей при случайном подключении такого разъема к аппаратуре.

Разъемы DIN (CP3 и CP5) в 70–80-е годы XX века широко применялись в отечественной аудиоаппаратуре. В табл. П1.1 представлены некоторые варианты использования выводов разъемов.

Таблица П1.1. Назначение выводов разъемов CP3 и CP5

Номер вывода	Принадлежность	Сигнал
CP3		
1	Аудиовыход, левый канал	2 В
2	Общий («земля»)	–
3	Аудиовыход, правый канал	2 В
Корпус	Экран («земля»)	–
CP5		
1	Аудиовход, левый канал	0,5 мкА
2	Общий («земля»)	–
3	Аудиовход, левый канал	0,5 В
4	Аудиовход, правый канал	0,5 мкА
5	Аудиовход, правый канал	0,5 В
Корпус	Экран («земля»)	–

Разъемы D-SUB стандарта RS232 используются в качестве низковольтных компьютерных соединителей и имеют от 9 до 78 контактов. Например, разъем DB9 (табл. П1.2) используется в качестве последовательного порта (COM-порт) для подключения периферийных устройств к ПК.

Таблица П1.2. Назначение выводов разъема DB9

Номер вывода	Принадлежность	Сигнал
1	–	–
2	Последовательный вход	0/12 В
3	Последовательный выход	0/12 В
4	Напряжение питания	+12 В
5	Общий («земля»)	–
6	Напряжение питания	+12 В
7	–	–
8	–	–
9	Не используется	–
Корпус	Экран	–

Разъем DB25, как правило, используется в качестве параллельного порта (LPT-порт) для подключения принтера к ПК (табл. П1.3). К этому порту можно также подключать самодельные устройства, управляемые компьютером.

Таблица П1.3. Назначение выводов разъема DB25

Номер вывода	Принадлежность	Сигнал
1	–	–
2	D0	0/1
3	D1	0/1
4	D2	0/1
5	D3	0/1
6	D4	0/1
7	D5	0/1
8	D6	0/1
9	D7	0/1
10	Напряжение питания	+12 В
11	Общий («земля»)	–
12	Общий («земля»)	–
13	–	–
14	–	–
15	Напряжение питания	+12 В
16	Напряжение питания	+12 В
17	–	–
18	–	–
19	Общий («земля»)	–

Таблица П1.3. Назначение выводов разъема DB25 (окончание)

Номер вывода	Принадлежность	Сигнал
20	-	-
21	-	-
22	-	-
23	-	-
24	-	-
25	Общий («земля»)	-
Корпус	Экран	-

Разъем Peritel (SCART) используется в основном для соединения между собой бытовой видеоаппаратуры (табл. П1.4).

Таблица П1.4. Назначение выводов разъема SCART

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	-

Соединители типа RJ имеют от 2 до 10 контактов. Их удобно использовать не только для телефонных линий (RJ-11) и подключения компьютеров в сети (RJ-45), но и для быстрого соединения различных самодельных устройств. Вилочная часть имеет обозначение TRx-6P4C (для RJ-11), розеточная – Tjx-8P8C (для RJ-45), где x – цифровое или буквенное значение, определяющее разновидность разъема. В табл. П1.5, П1.6 представлена цветовая маркировка жил телефонного провода, прямого провода (компьютер–концентратор) и кросс-кабеля (компьютер–компьютер).

Таблица П1.5. Цветовая маркировка жил телефонного кабеля

Номер вывода	Цвет провода и назначение
1	Черный, используется для системного телефона
2	Красный, телефонная линия
3	Зеленый, телефонная линия
4	Желтый, используется для системного телефона

Таблица П1.6. Цветовая маркировка жил прямого и кросс-кабеля

Номер вывода	Цвет кабеля	
	один конец	другой конец
Прямой кабель		
1	Бело-оранжевый	Бело-оранжевый
2	Оранжевый	Оранжевый
3	Бело-зеленый	Бело-зеленый
4	Голубой	Голубой
5	Бело-голубой	Бело-голубой
6	Зеленый	Зеленый
7	Бело-коричневый	Бело-коричневый
8	Коричневый	Коричневый
Кросс-кабель		
1	Бело-оранжевый	Бело-зеленый
2	Оранжевый	Зеленый
3	Бело-зеленый	Бело-оранжевый
4	Голубой	Голубой
5	Бело-голубой	Бело-голубой
6	Зеленый	Оранжевый
7	Бело-коричневый	Бело-коричневый
8	Коричневый	Коричневый

Приложение 2. Химические источники тока

Радиоэлектронные приборы, работающие автономно, имеют встроенный источник питания того или иного типа. Рассмотрим некоторые химические источники тока (ХИТ).

Для питания бытовой и радиолюбительской аппаратуры чаще других используют марганцево-цинковые элементы и батареи с различными электролитами (солевым, хлоридным или щелочным) или воздушной деполяризацией. Широкое распространение получили также ртутно-цинковые, серебряно-цинковые и литиевые ХИТ.

Конструктивно ХИТ обычно имеет форму цилиндра (цилиндр малой высоты называют таблеткой или пуговицей). По рекомендации МЭК такие ХИТ имеют в обозначении:

- букву, определяющую электрохимическую систему (L – алкалиновая, S – серебряно-цинковая, M или N – ртутно-цинковая и др.);
- букву, говорящую о форме элемента (R – цилиндрическая, от англ. Ring – круг; F – прямоугольная, от англ. Foursquare – квадрат);
- число от 1 до 600, условно определяющее размеры элемента.

Применяя ХИТ той или иной системы, следует, конечно, знать ее возможности, особенности эксплуатации и т.п.

Солевые элементы и батареи

Первый тип – это марганцево-цинковые элементы. Это, прежде всего, хорошо известные батареи Лекланше с соевым электролитом (водным раствором хлорида аммония и хлорида цинка). Они могут эксплуатироваться при температурах от -5 до $+50$ °С. Имеют заметный саморазряд и недостаточно хорошую герметичность. Дешевы. Могут иметь надпись *Manganese-Zinc*.

Другой тип – угольно-цинковые ХИТ с водным раствором хлорида цинка. Энергетические показатели этих источников примерно в 1,5 раза выше, чем у элементов и батарей предыдущей группы. Могут эксплуатироваться при температурах от -20 до $+55$ °С. Имеют меньший саморазряд

и лучшую герметичность. Допускают большой разрядный ток. В табл. П2.1 приведены данные солевых элементов и батарей по международным (МЭК) и государственным (ГОСТ, ТУ) стандартам.

Таблица П2.1. Характеристики солевых элементов питания

Обозначение по стандарту		Габариты (Ø×h или L×B×H), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мА×ч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
R1	R1; 293	12×30,2	7,5	1,5	150
R03	R03; 286	10,5×44,5	8,5	1,5	180
R6	R6; 316; «Уран-М»	14,5×50,5	19	1,5	450–850
R10	R10; 332	21,8×37,3	30	1,5	280
R12	R12; 336	21,5×60	48	1,5	730
R14	R14; 343; «Юпитер-М»	26,2×50	46	1,5	1530–1760
R20	R20; 373; «Орион-М»	31,4×61,5	95	1,5	4000
R40	R40; AR40	67×172	600	1,5	39000–46000
Батареи					
2R10	2R10	21,8×4,6	58	3	280
3R12	3R12; 3336; «Планета»	62×22×67	125	4,5	1500
4R25	4R25	67×67×102	650	6	4000
6F22	6F22; «Крона»	26,5×17,5×48,5	30	9	190–250
6F100	6F100	66×52×81	460	9	3600

Щелочные (алкалиновые) элементы и батареи

Электрохимическая система аналогична электрохимической системе марганцево-цинковых элементов, но в качестве электролита здесь используется щелочь в виде водного раствора гидроксида калия. Алкалиновый элемент можно перезаряжать до 10–15 раз, но его повторная отдача не превысит 35% начальной. Для перезарядки годятся элементы, сохранившие герметичность и имеющие напряжение не менее 1,1 В. Алкалиновые ХИТ могут эксплуатироваться при температурах от –30 до +55 °С. Допускают значительные разрядные токи. На корпусе

элемента обычно имеется надпись Alkaline. Применяются в устройствах со средним и высоким энергопотреблением: фото вспышки, электробритвы, диктофоны, плееры, магнитофоны, телефоны, радиостанции, мощные фонари. В табл. П2.2 приведены данные щелочных элементов и батарей по международным (МЭК) и государственным (ГОСТ, ТУ) стандартам.

Таблица П2.2. Характеристики щелочных элементов питания

Обозначение по стандарту		Габариты (Øхh или LxВxН), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мАхч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
LR1	293	12×30,2	9,5	1,5	650
LR03	286	10,5×44,5	13	1,5	800
LR6	LR6; А316; ВА316; 316-ВЦ; «Сапфир»	14,5×50,5	25	1,5	1000–3700
LR10	А332; ВА332	20,5×37	26	1,5	1300–2800
LR14	LR14; А343; ВА343	26,2×50	65	1,5	3000–8200
LR20	LR20; А373; ВА373	34,1×61,5	125	1,5	5500–16000
Батареи					
6LF22	«Корунд», «Крона»	26,5×17,5×48,5	46	9	620

Воздушно-цинковые элементы

Электрохимическая система: цинк–воздух–гидрооксид марганца. Гидрооксид марганца $MnOOH$ окисляется кислородом воздуха до MnO_2 . Для подвода и удержания O_2 используют специальные конструкции и материалы катода (элемент активизируется лишь после извлечения пробки, открывающей доступ воздуху). ХИТ с воздушной деполяризацией обладают высокой емкостью и длительным сроком хранения и могут работать при температурах от -15 до $+50$ °С. Они выпускаются в ограниченном количестве и в основном используются в слуховых аппаратах.

Ртутно-цинковые элементы и батареи

Электрохимическая система: цинк-оксид ртути-гидрооксид натрия. Источники тока имеют высокие энергетические показатели. Работоспособны лишь при положительных температурах (от 0 до +50 °С). При малых токах разряда и стабильной температуре напряжение на элементе остается почти неизменным. Практически не имеют газовыделения. Из-за наличия ртути экологически вредны и к применению не рекомендуются. Их можно отличить по надписи Mercuri. В табл. П2.3 приведены данные ртутно-цинковых элементов и батарей по международным (МЭК) и государственным (ГОСТ, ТУ) стандартам.

Таблица П2.3. Характеристики ртутно-цинковых элементов питания

Обозначение по стандарту		Габариты (Øxh или LxВxН), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мАч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
MR6	MR6	10,5x44,5	25	1,35	1700
MR9	PC53	16x6,2	4,2-4,6	1,35	250-360
MR19	PC85	30,8x17	43	1,35	3000
MR42	PC31	11,6x3;6	1,4-1,6	1,35	110
MR52	PC55	16,4x11,4	8-9	1,35	450-500
-	PC63	21x7,4	11	1,34	700
-	PC65	21x13	18,1	1,34	1500
-	PC73	25,5x8,4	17,2	1,34	1200
-	PC75	25,5x13,5	27,3	1,34	2200
-	PC82	30,1x9,4	30	1,34	2000
-	PC83	30,1x9,4	28,2	1,34	2000
-	PC93	31x60	170	1,34	13000
Батареи					
3MR9	3PC53	17x21,5	15	4,05	250-360
4MR9	4PC53	17x27	20	5,4	360
2MR52	2PC55c	17x23	19	2,7	450
3MR52	3PC55c	17x35	28	4,05	450
-	4PC55c	16,2x53	40	5,4	450
-	5PC55c	16,2x66	50	6,7	450
-	6PC63	23x48	72	7,2	600

Серебряно-цинковые элементы и батареи

Электрохимическая система: цинк – одновалентное серебро – гидроксид калия или натрия. Источники обладают малым саморазрядом, имеют хорошие энергетические характеристики и почти неизменное напряжение в процессе работы (при неизменной температуре). Температурный диапазон – от 0 до +55 °С. Их отличают по надписи Silver или Silber. В табл. П2.4 приведены данные серебряно-цинковых элементов и батарей по международным (МЭК) и государственным (ГОСТ, ТУ) стандартам.

Таблица П2.4. Характеристики серебряно-цинковых элементов питания

Обозначение по стандарту		Габариты (Ø×h или L×B×H), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мА×ч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
SR41	СЦ-21; СЦ-0,038	7,9×3,6	0,7	1,5–1,55	38–45
SR42	СЦ-0,08	11,6×3,6	1,6	1,5–1,55	80–100
SR43	СЦ-32; СЦ-0,12	11,6×4,2	1,8	1,5–1,55	110–120
SR44	СЦ-0,18	11,6×5,4	2,3	1,5–1,55	130–190
-	СЦ-30	11,6×2,6	1,5	1,5–1,55	60
Батареи					
4SR44	-	13×25,2	14,2	6	170

Литиевые элементы и батареи

Используется электролит с диоксидом марганца на основе органических соединений. Сюда входят более десяти электрохимических систем. Напряжение на элемент – от 1,5 до 3,8 В. Энергетические и габаритно-весовые показатели выше, чем у ртутно- и серебряно-цинковых элементов: по массе – в 3 раза, по объему – в 1,5–2 раза. Литиевые источники обладают исключительно малым саморазрядом (сохраняют более 85% емкости после 10 лет хранения). Элементы работоспособны в интервале температур от –30 до +65 °С. Они герметичны и имеют довольно стабильное напряжение. Выпускаются в основном в «таблеточном» исполнении для

часов, калькуляторов, фотоаппаратов, компьютеров и других небольших приборов. В микромощных устройствах, где важна надежность контактов, используют литиевые источники с выводами под пайку. На корпусе обозначены как Lithium. В табл. П2.5 приведены данные литиевых элементов по шифру типоразмера.

Таблица П2.5. Характеристики литиевых элементов питания

Шифр типоразмера	Габариты (Ø×h), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мАч
333	3,8×33	1,1	3	40
426	4,2×25,9	0,55	3	20
436	4,2×35,9	0,85	3	40
721	7,9×2,1	0,45	1,5	18
772	7,9×7,2	1	3	30
921	9,5×2,1	0,55	1,5	35
926	9,5×2,6	0,7	1,5	45
1121	11,6×2,1	0,85	1,5	50
1136	11,6×3,6	1,25	1,5	100
1154	11,6×5,4	1,85	1,5	170
1154	11,6×5,4	1,7	3	130
1220	12,5×2	0,8	3	30
1225	12,5×2,5	0,9	3	36
1616	16×1,6	1	3	30
1620	16×2	1,2	3	50
2010	20×1	1,1	3	20
2016	20×1,6	1,7	3	50-65
2020	20×2	2,3	3	90
2025	20×2,5	2,5	3	120 (100)
2032	20×3,2	3	3	170 (130)
2191	21×9,1	11	3,5	400
2192	21×9,2	8,9	3	800
2312	23×1,6	2,3	3	90
2320	23×2	3	3	80-110
2325	23×2,5	3,7	3	140-160
2420	24,5×2	3,2	3	120 (100)
2430	24,5×3	4	3	200 (160)
2432	24,5×3,2	4,2	3	180
2525	25×2,5	4	3	200
2779	27,3×7,9	13	3	1200

Таблица П2.5. Характеристики литиевых элементов питания (окончание)

Шифр типоразмера	Габариты (Øxh), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мАч
3506	35,5x6	19,5	3	1700
11100	11,6x10,8	3,3	3	160
12600	12x60,2	16	3	1000
13250	13x25,2	9	6	160
14250	14,1x24,5	7,3	1,5	1600
14250	14,5x25	10	3	1000
14500	14,1x49,5	17,4	1,5	3900
17230	17x23	9,5	3	750
17340	17x33,5	13,5	3	1200
26180	26,2x18,2	25	3,5	1000
26500	26x50	47	3	5000
34610	32x60,5	110	1,5	16000

Особенности обозначений и надписей

При использовании элементов питания мы часто сталкиваемся с тем, что с виду одинаковые элементы имеют различные обозначения. В связи с этим выбор аналога нужного элемента иногда вызывает определенные трудности. В табл. П2.6 приведено соответствие обозначений солевых и щелочных элементов разных стандартов, а в табл. П2.7 и П2.8 – дисковых серебряно-цинковых и ртутно-цинковых элементов.

Таблица П2.6. Соответствие обозначений солевых и щелочных элементов питания

Обозначение по стандарту МЭК	Обозначение по стандарту UM	Обозначение в США	Общепринятое название
R1 (LR1)	UM5	N	Lady
R03 (LR03)	UM4	AAA	Micro
R6 (LR6)	UM3	AA	Mignon
R10 (LR10)	-	-	-
R14 (LR14)	UM2	C	Baby
R20 (LR20)	UM1	D	Mono

Таблица П2.7. Соответствие обозначений серебряно-цинковых элементов питания

Обозначение по стандарту МЭК	Обозначение в Японии и странах Юго-Восточной Азии	Обозначение в США и странах Европы
SR41	G3, SR41SW/W	384, 392*
SR42	-	344, 350*
SR43	G12, SR43SW/W	301, 386*
SR44	G13, SR44SW/W	303, 357*
SR45	G9, SR936SW	394
SR47	G14, SR1156SW/W	-
SR48	G5, SR754W	309, 393*
SR54	G10, SR1130SW/W	390, 389*
SR55	G8, SR1120SW/W	381, 391*
SR56	-	-
SR57	G7, SR927SW/W	395, 399*
SR58	G11, SR721SW/W	362, 361*
SR59	G2, SR726SW/W	397, 396*
SR60	G1, SR621SW/W	364
SR62	SR516SW/W	317
SR63	SR521SW/W	379
SR64	SR527SW	319
SR65	G1X, SR616SW	321
SR66	G4, SR626SW/W	377
SR67	SR716SW	315
SR68	SR916SW/W	373
SR69	G6, 920SW/W	371, 370*
-	SR416SW	337
-	SR421SW	348
-	SR512SW	335
-	SR712SW/W	346
-	SR1116SW	366

Примечание к табл. Элементы, обозначенные звездочкой (*), а также с буквой W после косой черты (/W) в конце обозначения имеют существенно меньшее внутреннее сопротивление по сравнению с другими аналогами и предназначены для использования в часах с подсветкой и будильником.

Таблица П2.8. Соответствие обозначений ртутно-цинковых элементов питания

Обозначение по стандарту МЭК	Обозначение в Японии и странах Юго-Восточной Азии	Обозначение в США и странах Европы
MR1	H-Ra	-
MR9	H-D	625PX
MR41	H-A	312HM
MR42	H-B	400PX
MR43	-	-
MR44	H-C	675PX
MR48	HS-5	13HM
MR50	H-P	1PX
MR52	H-N	640PX
MR53	-	-
MR54	-	-

О некоторых особенностях элементов и батарей зарубежного производства, а также преимущественном их назначении можно судить по сделанным на них надписям:

- Camera – для фотокиноаппаратуры;
- Cigarette Lighter – для карманной зажигалки;
- Communication Device – для средств связи;
- Fishing Float – для поплавка;
- Game – для электронной игрушки;
- Hearing Aid – для слухового аппарата;
- Lighter – для зажигалки;
- Measuring Equipment – для измерительных приборов;
- Medical Instrument – для медицинских приборов;
- Microphone – для микрофона;
- Mini Radios – для миниатюрного радиоприемника;
- Photographic Light Meter – для фотоэкспонетра;
- Pocket Bell – для карманного будильника;
- Standart – универсальный элемент (батарея);
- Watch – для часов;
- Wristwatch – для наручных часов.

Приложение 3. Зарядка аккумуляторов

Обычно выделяют два больших семейства аккумуляторов: 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

Свинцовые аккумуляторы с пробками или без пробок (запаянные) 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 Ахч, 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.

Никель-кадмиевые аккумуляторы

В процессе зарядки никель-кадмиевых (NiCd) и никель-металл-гидридных (NiMH) аккумуляторов рекомендуется использовать ток, составляющий десятую часть номинальной емкости (например, 60 мА для батареи емкостью 600 мАхч), в течение 16 ч. 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.

Пользователям переносных компьютеров и сотовых телефонов хорошо знаком «эффект памяти». 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.

В настоящее время большой популярностью пользуются новые типы аккумуляторов: литий-ионные (Li-Ion) и литий-полимерные (Li-Pol), свободные от такого недостатка. Они значительно дороже, но имеют более широкие возможности применения.

Режимы зарядки аккумуляторов

Проблемы зарядки аккумуляторов по-прежнему актуальны. Какое зарядное устройство лучше? Как определить момент окончания зарядки? Какой режим зарядки предпочтительнее? Ответы на эти и другие вопросы изложены ниже.

Зарядное устройство обязано, прежде всего, передать аккумулятору соответствующий электрический заряд. Но это требование дополняется обычно пожеланиями обеспечить быстроту зарядки аккумулятора, сохранить на протяжении длительного времени его номинальную емкость, сделать зарядку безопасной и др.

В зарядных устройствах любого типа важнейшим является определение момента окончания зарядки аккумулятора. Это делается несколькими способами.

Первый способ. При зарядке аккумулятора постоянным, не изменяющимся в процессе зарядки током ее прекращают вручную по истечении определенного времени. На такой режим ориентированы многие наиболее дешевые зарядные устройства. Зарядный ток в них составляет обычно $I = 0,1E$, где I – зарядный ток в амперах, а E – емкость аккумулятора в ампер-часах. В этом режиме емкостный КПД аккумулятора принимают равным $2/3$ и, соответственно, длительность зарядки устанавливают равной 15 ч. Режим зарядки малым током (он может быть и меньше $0,1E$ при соответствующем увеличении продолжительности зарядки) замечателен тем, что даже при значительной перезарядке аккумулятор не будет поврежден, во всяком случае – не взорвется.

Второй способ. Аккумулятор заряжают постоянным током, многократно превышающим $0,1E$ (в 10–20 раз). Зарядка прекращается автоматически по истечении заданного, более короткого времени. В режиме такой интенсивной зарядки обязательно должно соблюдаться следующее. Во-первых, аккумулятор необходимо предварительно разрядить (обычно до 1 В на банку); во-вторых, должна быть обеспечена строгая зависимость продолжительности зарядки от установленного значения зарядного тока и, в-третьих, обеспечено аварийное его отключение (например, по перегреву корпуса). К этой категории относятся многие зарядные устройства, появившиеся на нашем рынке, но, к сожалению, далеко не все они обеспечивают должную безопасность.

Третий способ. Ток зарядки – не обязательно постоянный. Зарядку аккумулятора прекращают при увеличении его температуры. Этот способ имеет серьезные недостатки (аккумулятор почти всегда перезаряжается, ненадежен тепловой контакт и др.) и используется, как правило, лишь для аварийного отключения аккумулятора.

Четвертый способ. Ток зарядки – фиксированный, как правило, многократно превышающий $0,1E$. По достижении на аккумуляторе заданного напряжения зарядка заканчивается автоматически. Этот принцип долгое время использовался в самых лучших зарядных устройствах, потеснив систему зарядки аккумулятора малым током.

Установка порогового напряжения здесь весьма критична. Обычно его значение выбирают в пределах 1,45–1,55 В на аккумуляторную банку, чаще – 1,48 В. Пороговое напряжение зависит, к тому же, от температуры окружающей среды и «возраста» аккумулятора.

Неизменный ток зарядки здесь, вообще говоря, необязателен. Но это упрощает учет потерь на подводящих проводах. Если же не учитывать эти потери, то на аккумуляторе будет установлено заниженное пороговое напряжение, что обернется недобором заряда, а установленное лишь на один милливольт выше реального приведет к тому, что процесс зарядки аккумулятора никогда не кончится. Вернее, кончится тем, что аккумулятор либо перегреется при малом зарядном токе, либо взорвется при большом. Во избежание этого некоторые зарядные устройства по достижении напряжения, чуть меньше порогового, переходят на дозарядку аккумулятора безопасным током, которым ее и завершают, или переключаются в режим «капельного» заряда, то есть поддержания напряжения аккумулятора на определенном значении. Контроль уровня заряда осуществляется по изменению напряжения на клеммах аккумулятора (так называемый DV-метод).

Пятый способ. Процесс зарядки контролируют по скорости увеличения напряжения на аккумуляторе: оно быстро увеличивается непосредственно перед ее завершением. Отследив этот момент, зарядное устройство уменьшает большой ток зарядки (он доходит в них до $2E$) до малого, безопасного, которым зарядка и завершается. По причинам, изложенным в описании способа 4, оба эти тока также лучше иметь фиксированными, не изменяющимися во времени.

Шестой способ. Как и в предыдущем случае, при зарядке постоянным током состояние аккумулятора определяют по скачку напряжения. Для получения хороших характеристик зарядку ведут током не менее $2E$. В таких зарядных устройствах обычно используют аналого-цифровые преобразователи, которые позволяют заметить 1-процентный скачок напряжения и вовремя прекратить зарядку. Таким зарядным устройствам не нужны регулировки, связанные с изменением числа заряжаемых аккумуляторов. В качестве защитной меры в них контролируется продолжительность зарядки.

Однако ни один из рассмотренных выше способов зарядки сам по себе не является оптимальным. Поэтому нередко они сочетаются.

По установившейся терминологии зарядка аккумулятора может быть очень быстрой (до 15 мин), быстрой (до 1 ч), ускоренной (до 3–4 ч), нормальной (от 12 до 16 ч) и медленной. Реальная емкость аккумулятора зависит от температуры и значений тока зарядки и разрядки. Наибольшая измеренная емкость получается при зарядке аккумулятора большим током и разрядке малым.

Приложение 4. Список сокращений

Ниже приведен список некоторых англоязычных сокращений, которые часто встречаются в технической литературе и в периодических изданиях. Однако их перевод, возможно, не всем известен. Следует помнить, что указанные сокращения могут иметь не одно, а несколько различных значений. Здесь приведены наиболее распространенные варианты сокращений.

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

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.

BNS – байонетный разъем для коаксиального кабеля. Аналог отечественного СР-50.

CCD (Charger Coupled Device) – прибор с зарядовой связью (ПЗС). Электронное запоминающее устройство памяти, в котором пакеты электрически заряженных частиц непрерывно циркулируют через ячейки, нанесенные на полупроводник.

CPU (Central Processor Unit) – главная часть процессора. В широком смысле – сам процессор.

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.

DIN (Deutch International Normalization) – промышленный стандарт Германии. Стандарт для некоторых электрических соединительных элементов (разъемы DIN, шина DIN и т.д.).

DIP (Dual-in-line Package) – корпус с двухрядным расположением выводов. Термин для обозначения двухрядного расположения выводов интегральной схемы.

DVD (Digital Video (Versatile) Disk) – цифровой видеодиск (универсальный диск). Используется для хранения как видеoinформации, так и компьютерных данных в цифровом виде.

EEPROM (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory) – электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (ЭСППЗУ). Аналогично ППЗУ, но с электрическим стиранием при помощи программируемых процедур.

EPROM (Erasable and Programmable Read Only Memory) – стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (СППЗУ).

FE (Falling Edge) – спад (задний фронт) импульса.

GAL (Generic Array Logic) – типовые матричные логические схемы со стиранием.

IR (Infra-red) – инфракрасное (ИК) излучение. Используется 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) – светоизлучающий диод, светодиод.

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) – большая интегральная схема (БИС). 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.

PP (Peak-Peak) – размах сигнала, двойная амплитуда.

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.

RMS (Root Mean Square) – эффективное (действующее) значение.

ROM (Read Only Memory) – постоянное запоминающее устройство (ПЗУ). ЗУ только для считывания (программируемое при изготовлении).

RS-232 – стандарт последовательной передачи данных от компьютера к периферийным устройствам.

RSA – разъем, используемый для передачи композитного видео- и аудиосигналов («тюльпан»).

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).

TP (Test Point) – контрольная точка на печатной плате.

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 скачки напряжения.

VLSI (Very Large Scale Integration) – сверхбольшая интегральная схема (СБИС). ИС со степенью интеграции, большей, чем в БИС.

Николаенко Михаил Николаевич

САМОУЧИТЕЛЬ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Главный редактор *Захаров И. М.*

editor-in-chief@dmkpress.ru

Ответственный редактор *Тулсанова Е. А.*

Верстка *Кабанов В. В.*

Графика *Салимонов Р. В.*

Дизайн обложки *Клубничкин Д. Е.*

Издательство «НТ Пресс», 129085, Москва,
Звездный б-р, д. 21, стр. 1.

Издание осуществлено при техническом участии
ООО «Издательство АСТ»

Издано при участии ООО «Харвест».

Лицензия № 02330/0056935 от 30.04.04.

Республика Беларусь, 220013, Минск, ул. Кульман,
д. 1, корп. 3, эт. 4, к. 42.

Открытое акционерное общество

«Полиграфкомбинат им. Я. Коласа».

Республика Беларусь, 220600, Минск, ул. Красная, 23.

Николаенко М. Н.

САМОУЧИТЕЛЬ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

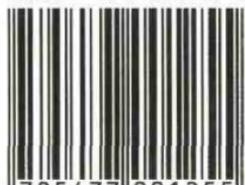
Всем известно, что проектирование и создание электронных устройств требует хотя бы минимальных знаний основ электроники. Но когда дело доходит до практической реализации, оказывается, что каких-то тонкостей вы не знаете. Ведь в процессе изучения теории мало кто обращает внимание на все нюансы использования радиоэлементов и схем.

Как правильно выбрать нужный компонент? Как подобрать оптимальное схемотехническое решение? Как самому разработать и изготовить печатную плату? Как грамотно использовать измерительные приборы при тестировании схемы? Как быстро устранить неисправность? Ответы на эти и другие вопросы вы найдете на страницах книги, представляющей собой самоучитель с практическими рекомендациями и советами по проектированию, изготовлению и наладке аналоговых и цифровых электронных устройств различного назначения.

Книга рассчитана на читателя с техническим складом ума и адресована всем тем, кто хочет научиться паять, читать схемы, конструировать и ремонтировать различные электронные устройства.

**В ПОМОЩЬ
РАДИОЛЮБИТЕЛЮ**

ISBN 5-477-00125-9



9 785477 001255

По вопросам оптовой
покупки книг
издательства «НТ Пресс»
обращаться по адресу:
Москва, Звездный бульвар,
дом 21, 7-й этаж
Тел. 615-43-38, 615-01-01,
615-55-13