

**В помощь радиолюбителю**

**Николаенко М. Н.**

---

**Настольная книга  
радиолюбителя-конструктора**



Москва, 2004

УДК 621.357

ББК 32.844

Н63

**Николаенко М. Н.**

Н63 Настольная книга радиолюбителя-конструктора – М.: ДМК Пресс, 2004.  
– 280 с.: ил. (В помощь радиолюбителю).

Всем известно, что можно прекрасно знать теорию, но, когда дело касается практической части – изготовления и наладки электронных устройств, возникает немало вопросов. Как организовать свое рабочее место? Как выбрать припой и флюс и научиться качественно паять? Как самому изготовить печатную плату и смастерить корпус для прибора? Здесь вы найдете ответы на эти и многие другие вопросы.

В книге приводятся схемы и чертежи простых и недорогих устройств, значительно облегчающих работу радиомонтажника; дается множество полезных рекомендаций, которые сопровождаются необходимыми расчетами и теоретическими сведениями, что позволит незамедлительно перейти к самостоятельной работе.

Издание предназначено для широкого круга читателей – не только начинающих, но и опытных радиолюбителей, занимающихся проектированием и изготовлением радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Оно также будет полезно работникам ремонтных мастерских.

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

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно остается, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможный ущерб любого вида, связанный с применением содержащихся здесь сведений.

ISBN 5-94074-235-1

© Николаенко М. Н., 2003

© ДМК Пресс, 2004

# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

	Введение .....	9
<b>1</b>	<b>Рабочее место радиомонтажника .....</b>	<b>11</b>
	1.1. Стол для монтажных работ .....	12
	1.2. Инструменты, приспособления и приборы .....	16
	1.2.1. <i>Примерный перечень</i> .....	17
	1.2.2. <i>Хранение инструмента</i> .....	22
	1.2.3. <i>Хранение деталей</i> .....	25
	1.2.4. <i>Подставка под паяльник</i> .....	27
	1.3. Полезные самоделки .....	30
	1.3.1. <i>Пробники для прозвонки электрических цепей</i> .....	30
	1.3.2. <i>Микропаяльник</i> .....	31
	1.3.3. <i>Браслет для снятия статического заряда</i> .....	32
	1.3.4. <i>Приборы для определения места обрыва и пути прохождения провода</i> .....	32
	1.3.5. <i>Универсальный источник питания</i> .....	35
	1.3.6. <i>Миниатюрная электродрель</i> .....	35
	1.3.7. <i>Приспособления для нанесения рисунка на печатную плату</i> .....	36
	1.3.8. <i>Намоточные станки</i> .....	36
	1.4. Меры безопасности при изготовлении и наладке устройств .....	37
	1.4.1. <i>Правила техники безопасности при работе с электричеством</i> .....	37
	1.4.2. <i>Правила безопасного пользования ручным инструментом</i> .....	41
<b>2</b>	<b>Гальваническое соединение деталей .....</b>	<b>43</b>
	2.1. Пайка – это очень просто .....	44
	2.1.1. <i>Припой для электромонтажных работ</i> .....	44
	2.1.2. <i>Флюсы для пайки</i> .....	46
	2.1.3. <i>Начинаем паять</i> .....	49
	2.1.4. <i>Лудильная ванна</i> .....	54
	2.2. Соединение деталей сваркой .....	55
	2.2.1. <i>Соединение сплавов высокого сопротивления</i> .....	55
	2.2.2. <i>Электросварка деталей</i> .....	57

---

2.3. Пайка алюминия и его сплавов .....	58
2.4. Токопроводящий клей .....	60

---

<b>3 Изготовление печатных плат .....</b>	<b>63</b>
3.1. Рисунок печатного монтажа .....	65
3.1.1. Подготовка топологии печатной платы .....	65
3.1.2. Использование ПК для проектирования печатных плат .....	73
3.2. Нанесение рисунка на плату .....	73
3.2.1. Изготовление рисунка вручную .....	73
3.2.2. Нанесение рисунка с помощью лазерного принтера .....	81
3.2.3. Рисование печатных плат с помощью плоттера .....	85
3.2.4. Использование фоторезиста .....	85
3.2.5. Изготовление печатных плат методом сеткографии .....	88
3.3. Химическое травление печатной платы .....	90
3.3.1. Основной раствор для травления .....	90
3.3.2. Восстановление раствора хлорида железа .....	92
3.3.3. Другие растворы для травления .....	93
3.3.4. Электролитический способ изготовления печатных плат с металлизацией отверстий .....	95
3.4. Механический способ .....	97
3.5. Способ переноса .....	99
3.6. Бумажные монтажные платы .....	101
3.7. Макетные платы .....	104
3.7.1. Простая макетная плата .....	104
3.7.2. Печатная макетная плата .....	105
3.7.3. Макетная плата из резины .....	107
3.8. Вторая жизнь старых печатных плат .....	107

---

<b>4 Монтаж печатной платы .....</b>	<b>109</b>
4.1. Особенности сборки и монтажа .....	110
4.1.1. Лужение печатной платы .....	110
4.1.2. Применение двусторонних плат .....	112
4.1.3. Защита полупроводниковых приборов от статического электричества .....	113
4.1.4. Защита электрических контактов .....	114
4.2. Монтаж радиоэлементов .....	116
4.2.1. Порядок монтажа .....	116
4.2.2. Монтаж ИС .....	119
4.2.3. Использование поверхностного монтажа .....	120

4.3. Ремонт печатного монтажа .....	122
4.3.1. Проверка печатных плат .....	122
4.3.2. Демонтаж деталей .....	124
4.3.3. Поиск тепловых неисправностей .....	128
<hr/>	
<b>5</b> Изготовление корпуса .....	129
5.1. Металлический корпус .....	130
5.1.1. Изготовление корпуса из металла .....	130
5.1.2. Соединение разнородных металлов .....	135
5.2. Работа с органическим стеклом .....	136
5.2.1. Обработка органического стекла .....	136
5.2.2. Склеивание органического стекла .....	138
5.2.3. Изготовление футляров и каркасов .....	139
5.2.4. Изготовление цилиндров и труб большого диаметра .....	140
5.3. Изготовление корпусов из эпоксидной смолы .....	141
5.3.1. Свойства смолы .....	141
5.3.2. Метод литья .....	142
5.3.3. Заливной корпус .....	144
5.4. Отделка деревянного корпуса .....	145
<hr/>	
<b>6</b> Окраска деталей .....	147
6.1. Подготовка к окраске .....	148
6.1.1. Обезжиривание .....	148
6.1.2. Полирование .....	149
6.1.3. Анодирование алюминиевых деталей .....	150
6.2. Окраска деревянных деталей .....	153
6.2.1. Покрытие лаком .....	153
6.2.2. Вошение .....	154
6.2.3. Имитация под ценные породы древесины .....	155
6.3. Окраска металлов .....	157
6.3.1. Окраска изделий из алюминия и его сплавов .....	157
6.3.2. Покрытия для латуни .....	160
6.3.3. Окраска меди .....	162
6.3.4. Окраска стальных изделий под алюминий .....	162
6.3.5. Окраска красками и лаками .....	163
6.3.6. Нанесение надписей .....	164
6.3.7. Несовместимость красок .....	164
6.3.8. Особенности восприятия цвета .....	165
6.3.9. Серебрение проводников и деталей .....	166

---

6.4. Окраска органического стекла .....	168
6.4.1. <i>Очистка поверхности</i> .....	168
6.4.2. <i>Способы окраски</i> .....	168
6.4.3. <i>Нанесение надписей и рисунков</i> .....	172
6.5. Покрытие деталей светящимися красками .....	172

---

<b>7</b> <b>Технологические секреты</b> .....	175
7.1. Новый старый паяльник .....	176
7.1.1. <i>Сменное жало паяльника</i> .....	176
7.1.2. <i>Латунный стержень</i> .....	176
7.1.3. <i>Миниатюрное жало паяльника</i> .....	177
7.1.4. <i>Комплект паяльных стержней</i> .....	178
7.1.5. <i>Стальное жало паяльника «Момент»</i> .....	180
7.1.6. <i>Терморезак</i> .....	181
7.1.7. <i>Демонтажный паяльник</i> .....	182
7.1.8. <i>Миниатюрный паяльник</i> .....	182
7.1.9. <i>Доработка электропаяльного набора</i> .....	182
7.2. Маленькие хитрости .....	182
7.2.1. <i>Изготовление разъемов</i> .....	182
7.2.2. <i>Тонкий щуп</i> .....	183
7.2.3. <i>Как снять ручки управления</i> .....	183
7.2.4. <i>Ручка настройки большого диаметра</i> .....	184
7.2.5. <i>Переменный резистор</i> .....	184
7.2.6. <i>Гайка-«барашек»</i> .....	185
7.2.7. <i>Как сматывать провод с бухты</i> .....	186
7.2.8. <i>Как определить диаметр провода</i> .....	187
7.2.9. <i>Ванночка за пять минут</i> .....	187
7.2.10. <i>Вырезание слюдяных прокладок</i> .....	188
7.3. Изготовление трансформатора .....	188
7.3.1. <i>Трансформатор из штампованных пластин</i> .....	188
7.3.2. <i>Ленточные трансформаторы</i> .....	190
7.3.3. <i>Ферритовые трансформаторы</i> .....	193
7.3.4. <i>Каркас трансформатора</i> .....	195
7.3.5. <i>Обмотка трансформатора</i> .....	197

---

<b>8</b> <b>Электрические измерения и расчеты</b> .....	201
8.1. Проверка исправности электрорадиоэлементов .....	202
8.1.1. <i>Проверка резисторов</i> .....	202
8.1.2. <i>Проверка конденсаторов</i> .....	202
8.1.3. <i>Проверка катушек индуктивности</i> .....	203
8.1.4. <i>Проверка трансформаторов и дросселей</i> .....	204
8.1.5. <i>Проверка полупроводниковых диодов</i> .....	205

8.1.6. Проверка транзисторов .....	206
8.1.7. Проверка тиристоров .....	207
8.1.8. Проверка элементов питания .....	208
8.1.9. Проверка полевых транзисторов .....	208
8.2. Методы определения неизвестных параметров .....	209
8.2.1. Определение цоколевки биполярного транзистора ....	209
8.2.2. Определение полярности источника постоянного тока без прибора .....	210
8.2.3. Определение параметров неизвестного трансформатора .....	211
8.2.4. Определение внутреннего сопротивления электроизмерительного прибора .....	212
8.3. Расчеты намоточных компонентов .....	213
8.3.1. Расчетные формулы при работе с проволокой .....	213
8.3.2. Электрические расчеты нагревательных элементов .....	215
8.3.3. Расчет катушек индуктивности .....	218
8.3.4. Пересчет катушек индуктивности .....	220
8.3.5. Расчет маломощных трансформаторов питания .....	222
8.3.6. Расчет тороидальных трансформаторов .....	225
<b>9</b> <b>Приложения</b> .....	229
Приложение 1	
Краткая характеристика некоторых веществ .....	230
Кислоты .....	230
Щелочи .....	230
Соли .....	231
Растворители .....	232
Лаки и политуры .....	233
Другие вещества .....	234
Несовместимость химических веществ .....	235
Приложение 2	
Провода .....	236
Проводники .....	236
Медные обмоточные провода .....	237
Высокочастотные обмоточные провода .....	241
Обмоточные провода высокого сопротивления .....	242
Монтажные провода .....	244
Приложение 3	
Маркировка электрорадиоэлементов .....	246
Маркировка резисторов и конденсаторов .....	246
Кодированные обозначения номиналов на резисторах и конденсаторах .....	250
Цветовая маркировка радиоэлементов .....	255

*Приложение 4*

<i>Аэрозоли, применяемые в электронике</i> .....	268
<i>Препараты для обработки контактов</i> .....	268
<i>Чистящие препараты</i> .....	268
<i>Смазывающие препараты</i> .....	269
<i>Средства для создания токопроводящих и защитных покрытий</i> .....	269

---

<b>Заключение</b> .....	271
-------------------------	-----

<b>Библиография</b> .....	271
---------------------------	-----

---

<b>Предметный указатель</b> .....	272
-----------------------------------	-----

---

*Автор выражает особую благодарность  
своей жене Ирине, оказавшей огромную  
помощь при работе над книгой*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Данная книга содержит наиболее полную подборку материалов по различным аспектам радиолюбительской деятельности и предназначена для широкого круга читателей – как радиолюбителей, так и специалистов, самостоятельно занимающихся проектированием и изготовлением радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Она также будет полезна и домашним мастерам при работе с различными поделками из дерева, металла или оргстекла.

Основная цель книги – заинтересовать читателя самостоятельной работой по изготовлению радиоэлектронных приборов, начиная с разработки топологии печатной платы и заканчивая сборкой готового устройства.

Анализ радиотехнической литературы за последние годы показывает, что изданий подобной тематики выпускалось очень мало, при этом они не охватывали весь спектр технологических процессов. Например, совсем не уделялось внимания таким важным сферам деятельности радиомонтажника, как изготовление печатных плат, приемы и способы пайки различных электрорадиоэлементов. Справочные сведения разбросаны по разным книгам и периодическим изданиям. Поиск нужной информации занимает порой слишком много времени. Предлагаемая книга призвана устранить эти «белые пятна» и вооружить радиолюбителя самыми необходимыми сведениями.

Первая глава посвящена вопросам организации рабочего места, содержит перечень приборов, инструментов и приспособлений, которые понадобятся при радиомонтажных работах, примеры изготовления полезных самоделок. Здесь также рассматриваются меры безопасности.

Во второй главе описаны способы пайки, разновидности флюсов и припоев, особенности пайки различных металлов и сплавов, выполнение контактного соединения с помощью токопроводящего клея.

В третьей главе представлены рекомендации по изготовлению печатных плат, методы разработки рисунка и нанесения его на плату, рецепты растворов для травления, рассмотрены также полезные возможности, появляющиеся при использовании ПК.

Четвертая глава посвящена особенностям проверки и сборки печатных плат, а также ремонту печатного монтажа.

В пятой главе описаны методики изготовления корпусов приборов из металла, дерева, органического стекла и эпоксидной смолы.

В шестой главе рассмотрены способы окраски металлических и деревянных деталей, применяемых в радиолобительской технологии, а также изделий из оргстекла.

Седьмая глава содержит множество полезных советов и сведений, необходимых монтажнику-радиолобителю для успешной работы.

В восьмой главе приведены методы проверки электрорадиоэлементов и расчета намоточных узлов аппаратуры.

В приложениях представлены различные справочные данные, необходимые при изготовлении и настройке радиолобительских конструкций, маркировка резисторов и конденсаторов и многое другое.

# 1 РАБОЧЕЕ МЕСТО РАДИОМОНТАЖНИКА

<b>Стол для монтажных работ</b>	<b>12</b>
<b>Инструменты, приспособления и приборы</b>	<b>16</b>
<b>Полезные самоделки</b>	<b>30</b>
<b>Меры безопасности при изготовлении и наладке устройств</b>	<b>37</b>

<b>2</b>	Гальваническое соединение деталей	43
<b>3</b>	Изготовление печатных плат	63
<b>4</b>	Монтаж печатной платы	109
<b>5</b>	Изготовление корпуса	129
<b>6</b>	Окраска деталей	147
<b>7</b>	Технологические секреты	175
<b>8</b>	Электрические измерения и расчеты	201
<b>9</b>	Приложения	229

## 1.1. СТОЛ ДЛЯ МОНТАЖНЫХ РАБОТ

*Рабочее место* радиолюбителя – это часть площади домашней мастерской, предназначенная для выполнения электро- или радиомонтажных работ. Оно должно быть оснащено необходимым оборудованием, инструментом, приспособлениями и другими материально-техническими средствами. Кроме того, всегда под рукой нужно иметь техническую документацию. Рабочее место должно обеспечивать максимальные удобства, так как от этого зависят качество и сроки выполнения работ.

Радиолюбительские работы сводятся в основном к электро- или радиомонтажу, демонтажу, замене деталей, сборке и регулировке, проверке изделия на работоспособность и соответствие его характеристик и параметров существующим нормам. Поэтому и оснащение рабочего места, насыщенность приборами и оборудованием должно максимально соответствовать выполнению этих задач.

*Рабочий стол*, предназначенный для электро- или радиомонтажных работ в условиях единичного мелкосерийного производства (рис. 1.1), изготавливается в зависимости от индивидуальных особенностей человека (учитывается, например, его рост, правша он или левша). Рабочее место должно оснащаться следующим оборудованием:

- одно- или двухтумбовый стол;
- винтовой стул;
- убирающаяся подвеска для чертежей;
- регулируемый по высоте и горизонтали светильник;
- урна для отходов и мусора;
- розетка для электропаяльника;
- газоприемник местной вытяжной вентиляции;
- панель для включения контрольно-измерительных приборов с клеммой для заземления.

Рабочая поверхность стола должна быть такой, чтобы на ней свободно размещались ремонтируемая аппаратура, паяльник, монтажный инструмент и измерительные приборы. Крышка стола покрывается жаропрочным изоляционным материалом (гетинакс, текстолит или резина). В ящиках стола обычно размещаются инструменты, монтажные провода и ремонтно-эксплуатационные материалы, крепежные детали (винты, гайки, шайбы, заклепки), материалы для пайки, чертежи, справочная литература, техническая документация и т.п.

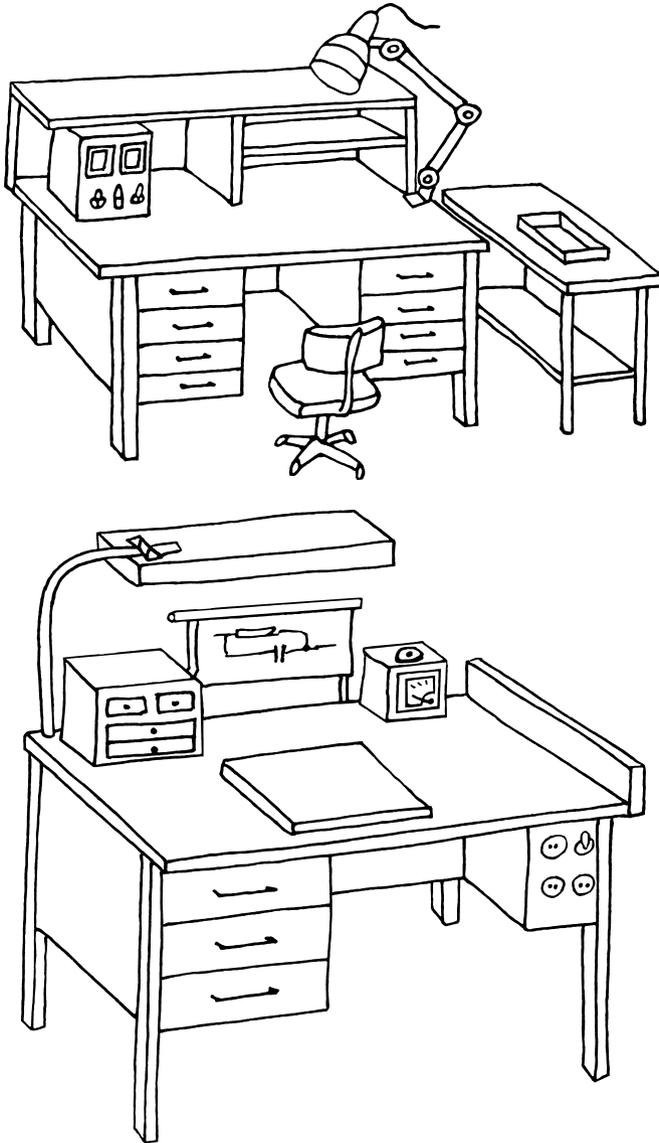


Рис. 1.1. Варианты рабочего стола радиомонтажника

На полках и под ними, на задней части крышки стола устанавливаются различные измерительные приборы, используемые для отладки и регулировки.

Все подводимые *питающие напряжения* рекомендуется вывести на щиток питания, откуда они распределяются по потребителям энергии. На этом же щитке могут размещаться специальный понижающий трансформатор или регулятор температуры жала паяльника, приборы защиты и клемма заземления. Розетки для электропитания измерительных приборов целесообразно располагать непосредственно на полках. Клеммы ввода электроэнергии к рабочему месту необходимо оградить во избежание случайного прикосновения. Штепсельные разъемы, а также заделка проводов и кабелей в электроинструментах должны строго соответствовать техническим требованиям. Напряжение питания для обжигалок и пробников должно составлять 6–12 В, для электропаяльника и тиглей – 36 В, для измерительной аппаратуры – 220 В. Таким образом, электрощиток должен обеспечивать выходное переменное напряжение 6, 12, 36 и 220 В. Для наладки создаваемых устройств и ремонта приборов желательно иметь отдельный блок питания с регулируемым постоянным выходным напряжением 3–30 В.

При работе с полупроводниковыми приборами и микросхемами необходимо помнить, что должны быть *заземлены* руки радиомонтажника, корпус ( жало) электропаяльника, корпуса полуавтоматических и автоматических установок, предназначенных для монтажа полупроводниковых приборов и микросхем, корпуса измерительной и другой аппаратуры.

Все неподсоединенные к линии заземления предметы (инструменты, малогабаритные приборы, комплектующие изделия в металлической антистатической таре и без нее и прочее) следует располагать на заземленной металлической пластине рабочего стола. Пол под ногами радиомонтажника должен быть сухим и изолированным от металлических частей оборудования.

Общего *освещения* обычно недостаточно, поэтому над столом устанавливают дополнительный светильник. Комбинированное освещение (общее и местное) должно обеспечивать освещенность в рабочей зоне 300–400 лк.

В рабочей зоне должен поддерживаться соответствующий *микроклимат* (табл. 1.1). В заводских производственных помещениях такие

параметры поддерживает общеобменная и местная вентиляция. В домашних условиях в лучшем случае приходится довольствоваться только местной вытяжкой.

Таблица 1.1. Параметры микроклимата в рабочей зоне

Параметр	Осень, зима, весна	Лето
Температура в рабочей зоне, °С	18–20	22–25
Относительная влажность воздуха, %	40–60	40–60
Скорость движения воздуха, м/с	0,2	0,3

Рациональное расположение инструментов и правильная планировка рабочего места способствует устранению излишних движений, уменьшению утомляемости, что сокращает потери рабочего времени и увеличивает производительность труда. Необходимо знать, что регулируемая высота сиденья стульев, а также расположение рабочих поверхностей (рис. 1.2) позволяют обеспечить радиомонтажнику наиболее благоприятные условия труда.

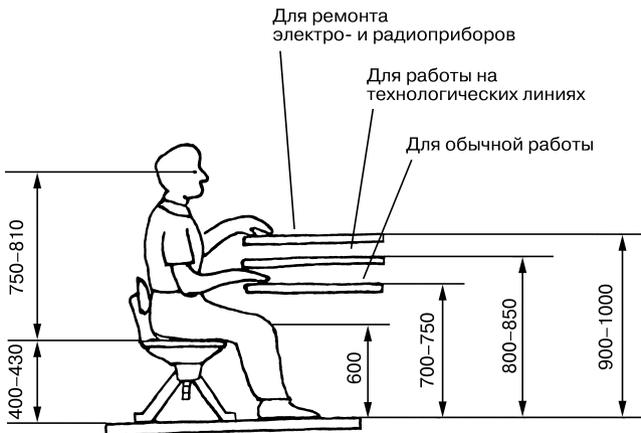


Рис. 1.2. Уровни рабочих поверхностей стола

При необходимости в мастерской могут быть оборудованы рабочие места для выполнения слесарных, токарных или других работ.

Площадь *рабочего места слесаря* должна быть не менее 1,6 м<sup>2</sup>. Основное оборудование – это верстак, табурет, тиски, приспособления для закрепления обрабатываемых деталей (рис. 1.3).

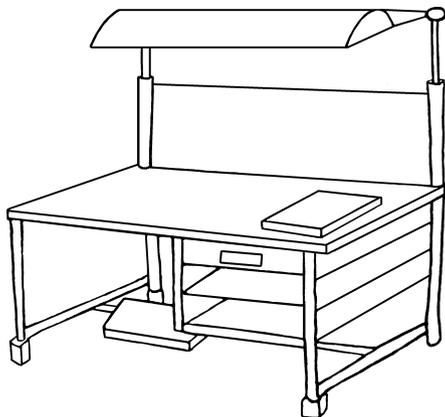


Рис. 1.3. Стол для слесарных работ

Если не полный комплект, то хотя бы некоторые элементы рабочего места для слесарных и столярных работ обязательно понадобятся. Рано или поздно каждый радиолюбитель сталкивается с необходимостью самостоятельного изготовления каких-либо деталей, корпусов приборов, их окраски и т.д. Не рекомендуется проводить радиомонтажные и слесарные работы на одном и том же рабочем месте. Для разных видов работ желательно иметь отдельные специально оборудованные места.

## 1.2. ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Радиомонтажнику приходится использовать самые различные приборы, инструменты и приспособления. Их состав каждый работник определяет для себя сам, исходя из своих потребностей и возможностей, а также целей и стоящих задач. Далее приведен примерный перечень оборудования рабочего места радиомонтажника, а также назначение некоторых инструментов.

### 1.2.1. Примерный перечень оборудования

К основным *электрическим приборам* и оборудованию относят следующее:

- контрольно-измерительные приборы (осциллограф, многофункциональные генераторы, частотомер, измеритель мощности и т.д.) для ремонта и настройки приборов;
- индикаторы и пробники для проверки радицепей;
- универсальный электроизмерительный прибор (тестер или мультиметр) для измерения режимов при ремонте аппаратуры;
- мегомметр для измерения сопротивления изоляции деталей (элементов схем) и проводов относительно корпуса («земли»);
- индикатор для определения наличия напряжения в цепях переменного и постоянного тока 110–380 В;
- пробники для прозвонки электрических цепей;
- универсальный источник питания;
- автотрансформатор.

В работе радиомонтажника непременно понадобятся следующие *инструменты* и приспособления:

- электрические паяльники на 50 и 150 Вт, желательно со сменными стержнями разного диаметра. При монтаже лучше использовать паяльники, рассчитанные на питание переменным током от понижающего трансформатора напряжением 36 В. Паяльники с питанием от сети 220 В применять не рекомендуется, так как в случае пробоя изоляции между нагревателем и стержнем работающий может попасть под опасное для жизни напряжение;
- подставка для электропаяльника;
- браслет для снятия статического заряда;
- мини-дрель для сверления отверстий диаметром 1–3 мм в печатных платах;
- микрометр 0–25 мм для измерения диаметра проводов (рис. 1.4а);
- нож перочинный или монтажный для зачистки проводов от изоляции, обрезки ниток и других вспомогательных работ;
- отвертки с шириной наконечника 3, 5 и 8 мм, разной длины, а также крестообразные (рис. 1.4б). Можно при необходимости приобрести набор отверток со сменными наконечниками разной

конфигурации. Размеры наконечника отвертки должны точно соответствовать шлицу винта (наконечник плотно входит в шлиц), иначе можно сорвать шлиц. Ручки отверток должны быть сделаны из изоляционного материала. Для работы в электрических цепях потребуется отвертка с изолированным наконечником (рис. 1.4в);



Рис. 1.4. Микрометр (а), набор отверток (б), отвертка электрика (в)

- отвертки диэлектрические или из немагнитного материала для регулировки контуров с сердечниками;
- отвертки часовые (набор) для выполнения мелких монтажных работ;
- пинцеты (часовые и анатомические). Они очень удобны для выполнения различных работ, особенно для фиксации деталей и проводов при пайке. Часовые пинцеты применяются при монтажных работах с малогабаритными деталями и проводом диаметром до 0,1 мм. Наиболее подходящий размер пинцета 150 мм;
- плоскогубцы разные (рис. 1.5). Первые – размером 100–120 мм с тонкими и узкими губками без насечки, чтобы при сгибании голого провода не портить его поверхность, а при укладке изолированного провода не повредить изоляцию. Вторые – размером 150–170 мм с насечкой на губках, которые служат для вытягивания или выпрямления толстых одножильных проводов, поджатия различных крепежных скобок и других работ. Третьи – с удлиненными (иногда изогнутыми) губками для работы в труднодоступных местах;
- круглогубцы разные (рис. 1.6а). Первые – размером 40–50 мм, тонкие, диаметром 1,5 мм у концов и 5 мм у основания губок. Ими удобно изгибать проволочные выводы деталей с радиусом от 0,75 до 2,5 мм. Вторые – размером 150 мм с насечкой на сходящихся поверхностях губок. Диаметр губок у концов 3–3,5 мм,

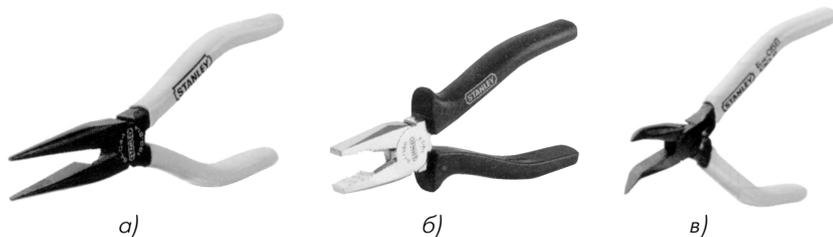


Рис. 1.5. Плоскогубцы с губками без насечек (а), плоскогубцы с насечками или пассатижи (б), плоскогубцы для работы в труднодоступных местах (в)

у оснований – 7–8 мм. Применяются при монтаже радиоаппаратуры оголенным проводом диаметром 1,5–2 мм. Ими удобно делать кольца на конце провода для крепления под гайку;

- кусачки торцовые и боковые («бокоре­зы»). Размер их 100–130 мм. Торцовые кусачки более прочны. Размер их может быть 150–200 мм (рис. 1.6б, в);



Рис. 1.6. Круглогубцы (а), кусачки торцовые (б) и боковые (в)

- кусачки (плоскогубцы) для зачистки (снятия изоляции) проводов или электропассатижи (рис. 1.7);

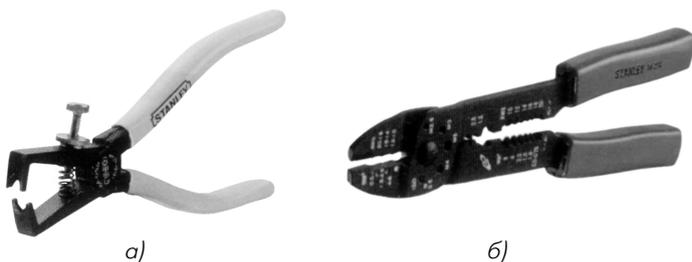


Рис. 1.7. Кусачки для зачистки проводов (а) и электропассатижи (б)

- лупа трехкратная для проведения мелких работ;
- зеркальце для осмотра труднодоступных мест;
- ножницы конторские размером 150–200 мм;
- удлинитель электрический;
- приспособление для намотки катушек;
- груша резиновая для продувки монтажа;
- набор щеток и кистей для чистки от пыли печатных плат и монтажа конструкции.

Для слесарных работ при изготовлении корпусов приборов, а также для окраски деталей понадобится дополнительный инструмент:

- молотки слесарные на 200 и 500 г с деревянной ручкой длиной 230–250 мм;
- киянка (деревянный молоток);
- зубило для рубки листового материала или вырубания в нем отверстий;
- кернер для обозначения места сверления (рис. 1.8а). Имеет форму цилиндра с концом в виде конуса, заостренным под углом 60°;
- бородки для пробивания отверстий в листовом металле (рис. 1.8б). Имеют коническую форму с плоским рабочим концом;

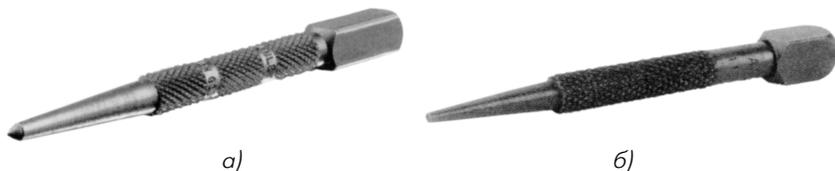


Рис. 1.8. Кернер (а) и бородок (б)

- выколотка для извлечения штифтов, шпилек, заглушек и т.д. В отличие от бородков имеют цилиндрическую форму с плоским рабочим концом;
- чертилка для разметки изделий (рис. 1.9а). Это круглый пруток из инструментальной стали диаметром 3–4 мм и длиной 100–120 мм с острозаточенным концом;
- стамески разной ширины для вырубания отверстий и пазов в деревянных деталях (рис. 1.9б);
- пассатижи или плоскогубцы;
- ножовки по дереву и металлу с запасными полотнами;
- ножницы по металлу;



Рис. 1.9. Чертилка (а) и стамеска (б)

- тиски стационарные и ручные;
- струбцины для зажимов;
- дрель ручная или электрическая (до 10 мм) либо коловорот (рис. 1.10);



Рис. 1.10. Дрель ручная (а) и коловорот (б)

- лобзик с пилками по дереву и металлу для выпиливания фигурных панелей, отверстий и т.д.;
- комплект отверток плоских и крестообразных разной длины диаметром 3, 4, 5 и 10 мм;
- комплект гаечных ключей (торцовые и накидные) размером от 3 до 16 мм;
- комплект метчиков и плашек для нарезания резьбы М2,5, М3, М4, М5, М6 с воротком и плашкодержателем;
- комплект сверл диаметром от 1 до 10 мм (желательно через 0,2–0,3 мм);
- напильники драчевые, личные, бархатные и набор надфилей;
- абразивы: бруски и точильные круги для заточки инструмента, шлифовальные шкурки, полировочные пасты и т.д. для отделочных и других работ;
- штангенциркуль (рис. 1.11а) для измерения внешнего и внутреннего диаметра;

- линейки металлические длиной 150, 300, 500 и 1000 мм;
- угольник для разметки и проверки правильности обработки изделий;
- разметочный циркуль (рис. 1.11б);

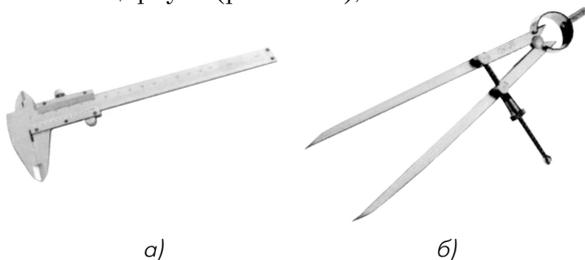


Рис. 1.11. Штангенциркуль (а) и разметочный циркуль (б)

- резьбомер;
- кисти разные для малярных работ;
- очки защитные для предохранения глаз от попадания пыли и стружки;
- перчатки хлопчатобумажные и брезентовые.

Практически все перечисленное оборудование и инструменты можно приобрести в специализированных магазинах или на рынках. Его ассортимент и качество всецело будет зависеть от ваших потребностей и финансовых возможностей. Приобретайте инструменты и приспособления последовательно, не стремитесь купить все сразу. Но не забывайте, что скупой платит дважды. Не поленитесь на дешевизну предлагаемого вам инструмента. Он может выйти из строя уже через несколько дней, а добротный и надежный инструмент прослужит вам долгие годы и сэкономит массу времени и нервов, не говоря уже о деньгах. Однако многие приспособления можно изготовить самому, потратив при этом минимум времени и средств (см. раздел 1.3).

### 1.2.2. Хранение инструмента

Приспособления для хранения инструмента можно изготовить самостоятельно. Никаких дефицитных материалов для этого не понадобится. Например, на стене перед рабочим столом или в другом удобном месте комнаты закрепляют деревянную планку, к которой в нескольких местах прибивают полосу толстой резины или старый ремень (рис. 1.12). Необходимые инструменты – отвертку, пассатижи, напильник и др. – вставляют между точками креплений резины.

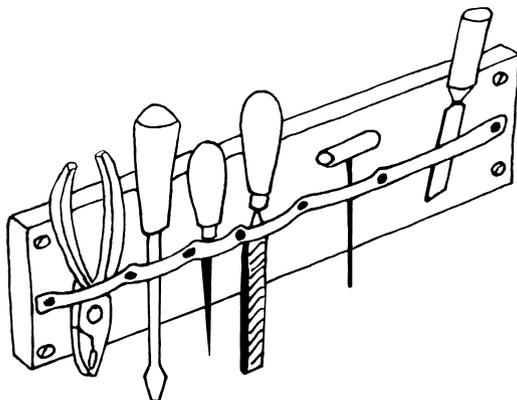


Рис. 1.12. Хранение инструмента под резиной

В другом варианте (рис. 1.13) понадобятся использованные деревянные швейные катушки. Они крепятся клеем или саморезами в любом удобном месте, скажем, на внутренней стенке шкафа или рабочего стола. С таким приспособлением инструменты во время работы всегда будут под руками. Вместо швейных катушек можно взять любые другие, имеющиеся в наличии.

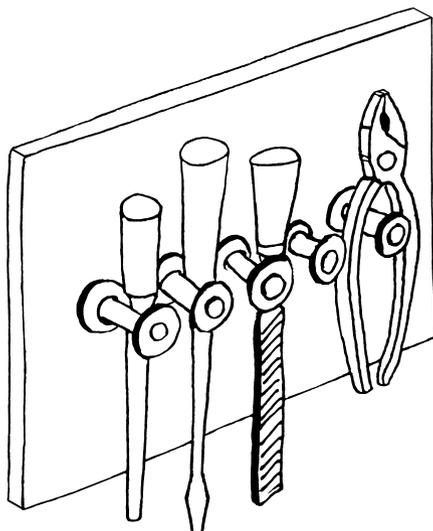


Рис. 1.13. Приспособление из швейных катушек для хранения инструмента

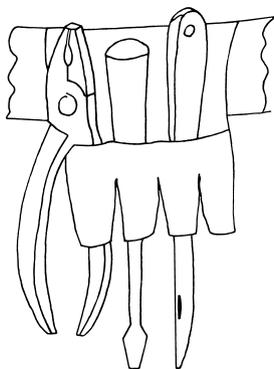


Рис. 1.14. Хранение инструмента в «патронташе»

Старые перчатки можно переделать в своеобразный «патронташ» для хранения рабочего инструмента (рис. 1.14). Для этого пальцы у перчатки обрезают, а остальную часть подгибают и сшивают петлей, куда продевается ремень. В отверстиях пальцев можно разместить нужный для работы в данный момент инструмент.

Некоторые инструменты, скажем, шило, отвертки, стамески, напильники, удобно хранить в вертикальном положении в ящике с песком.

Довольно часто при выполнении работ требуется определенный набор инструментов. Скомплектовать и разместить их очень просто на деревянной подставке (рис. 1.15). В верхней части подставки делают вырез, чтобы ее удобно было носить или вешать на гвоздь.

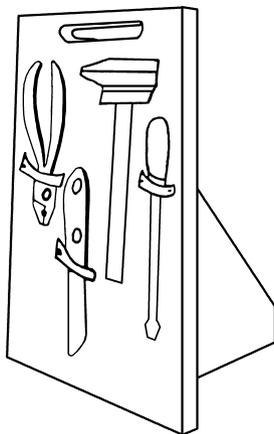


Рис. 1.15. Хранение инструмента на подставке

Можно изготовить более универсальную переносную подставку (рис. 1.16) и разместить на ней самый разнообразный инструмент и крепежные детали. Основание подставки диаметром 300–400 мм вырезают

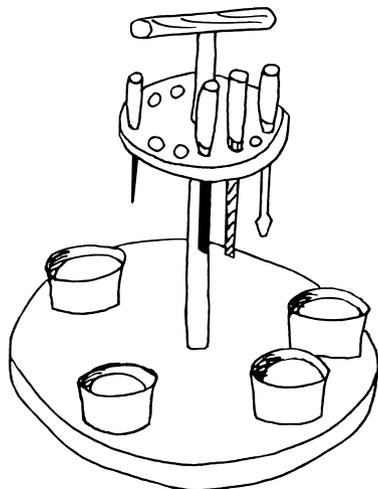


Рис. 1.16. Хранение инструмента на вращающейся стойке

из доски или фанеры толщиной 10–15 мм. В центре укрепляют стойку с ручкой, на которой размещают диск с отверстиями под инструмент. На основании подставки крепят пластиковые или металлические емкости.

Разумеется, варианты приспособлений для хранения инструмента не ограничиваются перечисленным выше. Любой радиомонтажник без особого труда может сконструировать свое собственное оборудование.

### 1.2.3. Хранение деталей

Для хранения *деталей* радиолюбители используют множество самых различных приспособлений. Простейшую кассетницу для мелких элементов (например, резисторов и конденсаторов) можно быстро изготовить из нескольких спичечных коробков (рис. 1.17), лучше деревянных, а не картонных. Их складывают в две, три или даже пять одинаковых стопок и склеивают. Чтобы конструкция была прочнее, коробки можно обмотать изоляционной лентой. На ящичках коробков подписывают номиналы тех деталей, которые будут в них храниться.

Подобную кассетницу можно также изготовить из ненужных детских пластмассовых кубиков, разрезав их пополам и получив, таким образом, сразу два ящичка. В качестве ручек удобно использовать колпачки от тюбиков с зубной пастой. Каркас кассетницы выполняется из гетинакса или тонкой фанеры.

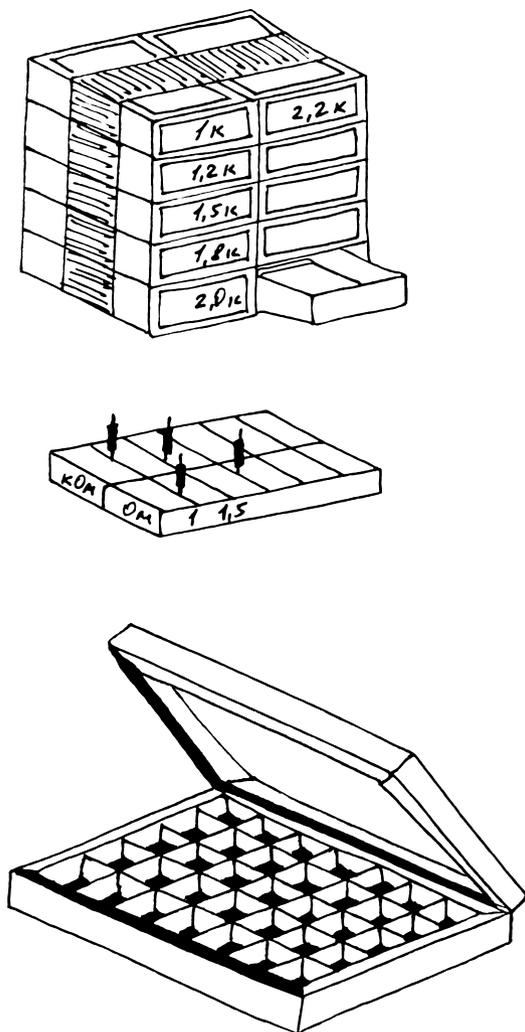


Рис. 1.17. Кассетницы для хранения деталей

Временную кассетницу для хранения небольшого количества резисторов или конденсаторов можно сделать из куска пенопласта – детали втыкают вдоль разграничительных линий, проведенных маркером или фломастером. Рядом с каждой линией проставляют соответствующее значение номинала.

Для хранения мелких деталей удобнее использовать фототеки – коробки с секциями. Для их изготовления подойдет органическое стекло, пластик, гетинакс, текстолит или тонкая фанера.

Более крупные радиодетали (транзисторы, переменные резисторы, оксидные конденсаторы) можно хранить в жестяных или пластиковых банках из-под молочных продуктов, растворимого кофе и т.д.

Если в рабочем столе есть выдвижной ящик, то его нетрудно переоборудовать в кассетницу (рис. 1.18), причем сам ящик никакой доработке не подвергается. Секции кассетницы разграничивают деревянными или изготовленными из органического стекла планками с прорезями.

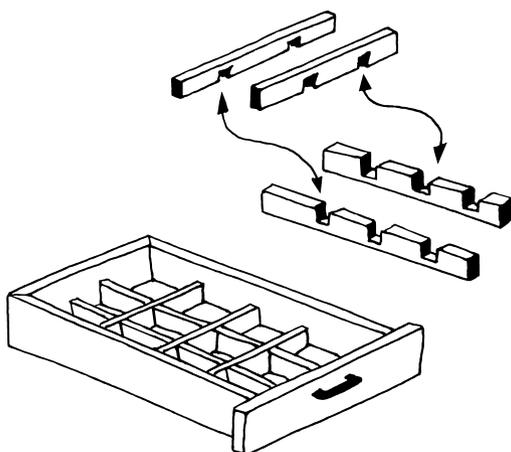


Рис. 1.18. Кассетница в ящике стола

Для хранения деталей можно изготовить самые разнообразные приспособления, их конструкция целиком зависит от вашей фантазии.

#### 1.2.4. Подставка под паяльник

Это приспособление настолько важно и необходимо, что следует посвятить ему отдельный раздел. Временную *подставку под паяльник* можно соорудить буквально за несколько минут, если воспользоваться металлической катушкой из-под медного обмоточного провода (рис. 1.19). Для большей устойчивости подставки щечки катушки нужно отогнуть.

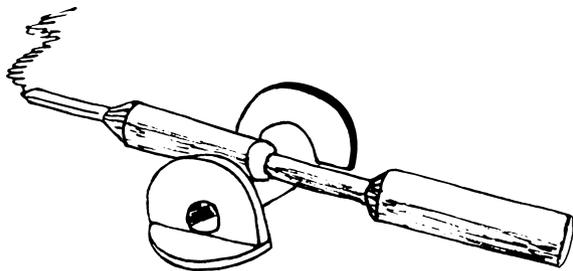


Рис. 1.19. Подставка под паяльник из металлической катушки

Однако более распространена деревянная подставка с двумя металлическими стойками (рис. 1.20). На основании целесообразно укрепить металлические баночки, скажем, от крема, под флюс и припой.

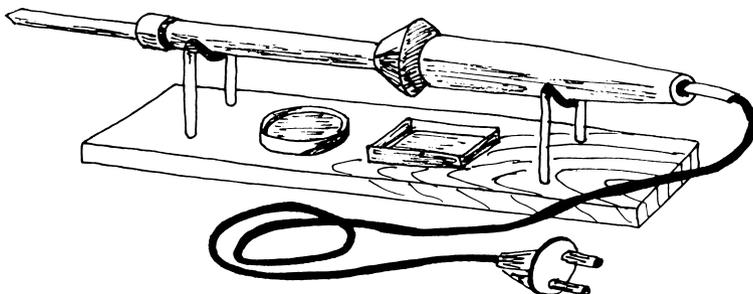


Рис. 1.20. Подставка под паяльник со стойками

Наиболее универсальной считается металлическая подставка-шкатулка (рис. 1.21) с открывающейся крышкой. Внутри шкатулки размещают отсеки для флюса, припоя и различных деталей. В рабочем положении паяльник лежит на двух откидывающихся стойках из толстой проволоки. По окончании паяльных работ крышку подставки закрывают, а стойки складывают.

Подставку желательно дополнить регулятором мощности паяльника, чтобы во время работы жало не перегревалось и не покрывалось окалиной. Для этого в приставке достаточно установить диод VD1 и кнопочный выключатель SA1 (рис. 1.22). В нижнем по схеме положении подвижного контакта переключателя сетевое напряжение

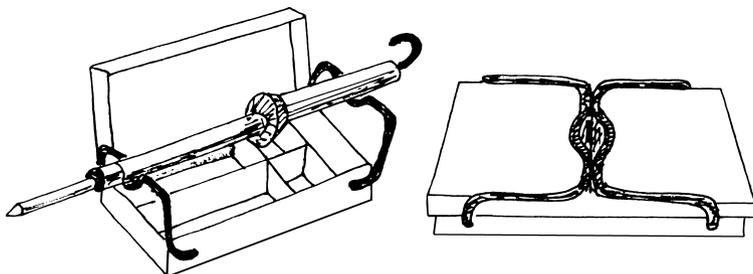


Рис. 1.21. Подставка-шкатулка под паяльник

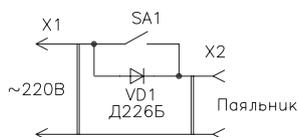


Рис. 1.22. Простая схема регулятора мощности паяльника

с вилки X1, включаемой в розетку осветительной сети, подается на паяльник, вилку которого подключают в гнезда розетки X2. Этот режим используется во время работы. Если паяльник кладут на подставку, то под действием его веса выключатель размыкает свои контакты, а в цепь питания паяльника включается диод, пропускающий только положительные полупериоды синусоидального сетевого напряжения. Среднее напряжение на паяльнике падает, нагрев его жала снижается.

Другой, более сложный регулятор позволяет плавно изменять напряжение на паяльнике примерно от 150 до 210 В (рис. 1.23). В нем помимо диода, выполняющего ту же роль, что и в предыдущем устройстве, использован каскад на тиристоре VS1, включенном параллельно диоду и шунтирующий его при отрицательных полупериодах напряжения на аноде диода.

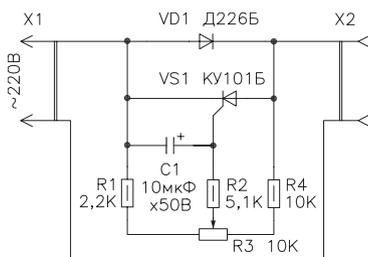


Рис. 1.23. Схема регулятора мощности паяльника

Продолжительность включения тиристора, а значит, шунтирования диода, может изменяться переменным резистором R3. В этом и заключается смысл регулирования напряжения на паяльнике. Подбором резисторов R1 и R4 смещают пределы регулирования напряжения в ту или иную сторону: резистором R1 устанавливают минимальное напряжение, R4 – максимальное.

Вместо диода Д226Б подойдет любой другой выпрямительный диод, рассчитанный на ток не менее 300 мА и обратное напряжение более 300 В, а вместо тиристора КУ101Б – КУ101Г, КУ101Е. Эти параметры указаны для паяльника малой мощности (до 30 Вт). Для более мощного паяльника необходимо установить соответствующий диод, скажем, Д245А, и тиристор КУ201Д–КУ201Л.

Опытные радиолюбители и профессиональные радиомонтажники могут приобрести паяльные инструменты нового поколения, такие как, например, универсальный настольный комбайн IR500R немецкой фирмы ERSA для ручной пайки и демонтажа (подробнее см. статью В. Новоселова «Паяльный инструмент нового поколения» в журнале «Радио», 1998, № 10).

### 1.3. ПОЛЕЗНЫЕ САМОДЕЛКИ

#### 1.3.1. Пробники для прозвонки электрических цепей

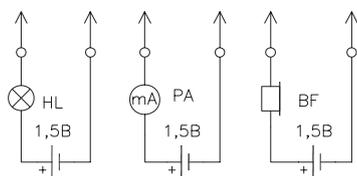


Рис. 1.24. Принципиальные схемы пробников

В ремонтной и любительской практике широко применяются различные пробники для прозвонки электрических цепей, поиска провода в жгуте или кабеле (рис. 1.24). Следует соблюдать особую осторожность при работе с пробником, использующим переменное напряжение 220 В.

#### 1.3.2. Микропаяльник

Монтаж микросхем на печатные платы является ответственной технологической операцией, поскольку необходимо поддерживать заданную температуру и не затягивать время пайки. *Микропаяльник*,

предназначенный для монтажа и демонтажа микросхем с печатных плат, можно изготовить самостоятельно. Он должен быть рассчитан на питание от стабилизированного источника напряжением 36 В и мощностью 10 Вт. Его вес составляет всего 30 г, жало должно быть заземлено.

Основной частью микропаяльника является нагреватель, выполненный на двухканальной керамике  $\varnothing 3$  мм (рис. 1.25а). Обмотка нагревателя изготавливается из оксидированного нихрома 0,1–0,12 мм, виток к витку. Общее сопротивление – 130 Ом.

Нагреватель размещается в металлическом кожухе (рис. 1.25б), на который надевается жало, изготовленное из медной или латунной трубки. Конец трубки сплющивается и обрабатывается, как показано на рис. 1.25в. Там же выпиливается небольшое углубление для лужения выводов микросхемы. Ручка микропаяльника выполняется из дерева или жаропрочного пластика.

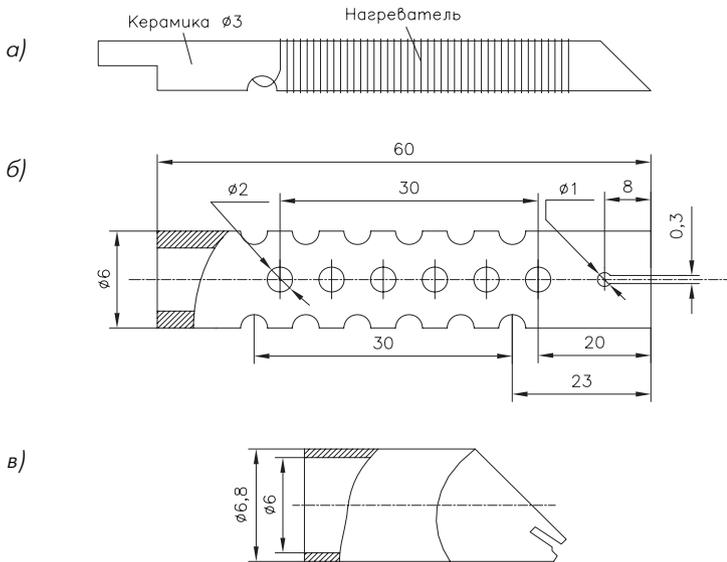


Рис. 1.25. Основные детали микропаяльника для монтажа и демонтажа микросхем на печатные платы: керамический нагреватель (а), металлический защитный кожух (б), жало (в)

### 1.3.3. Браслет для снятия статического заряда

При работе с транзисторами и микросхемами МОП структуры рекомендуется соблюдать меры предосторожности от повреждения приборов статическим электричеством. При установке данных деталей необходимо жало паяльника соединять с «землей», а монтажник должен надевать на руку специальный *антистатический браслет*. Обычно это ремешок от часов, на котором укреплена пластина, плотно прижатая к руке и соединенная гибким проводником с шиной заземления через резистор сопротивлением 1 МОм.

Чтобы браслет не стеснял движений во время работы, при его изготовлении можно использовать пластину, сделанную из полоски жести: обогнуть ее вокруг ремешка, а на конце гибкого соединительного проводника укрепить небольшой магнит. Вполне подойдет магнит от датчиков охранной сигнализации, микродвигателей постоянного тока или от мебельной дверной защелки. Поверхность магнита, контактирующую с пластиной браслета, желательно отшлифовать. Если магнит установить на пластину браслета, надетого на руку монтажника, заряд с его тела стечет на «землю». Заземление паяльника обеспечивают перестановкой магнита на его корпус. Удобнее, разумеется, иметь два браслета.

Простой, удобный и эффективно действующий браслет в виде эластичной манжеты можно изготовить из кухонной сетки-мочалки, сплетенной из упругой тонкой проволоки – лучше омедненной. Такая сетка продается в хозяйственных магазинах. Снаружи к сетке припаивают отрезок гибкого изолированного провода с зажимом «крокодил». Практика показывает, что такой браслет хорошо отводит статическое электричество, не мешает работе, легко снимается и надевается.

### 1.3.4. Приборы для определения места обрыва и пути прохождения провода

Существующие в настоящее время способы определения места обрыва сложны, так как требуют дорогостоящей аппаратуры (используются, как правило, электрические мосты) и сложных вычислений. Поэтому кабели с оборванными жилами обычно не ремонтируют, а заменяют новыми, что неэкономично. Чтобы определить путь прохождения провода в жгуте, приходится прозванивать всю цепь с последующим снятием вязки, а это приводит к значительной потере времени и снижению качества последующего монтажа. Предлагаемые приборы, которые позволяют сэкономить массу времени и средств,

предназначены для определения места обрыва провода в электрожгуте (кабеле), а также пути его прохождения без нарушения изоляции.

*Первый прибор* прост по конструкции и позволяет с высокой точностью (в пределах 1–2 см) без нарушения изоляции провода определять место обрыва в электрожгуте. Он включает генератор, вырабатывающий напряжение синусоидальной формы, и приемное устройство (рис. 1.26), состоящее из емкостного щупа (емкостного искателя).

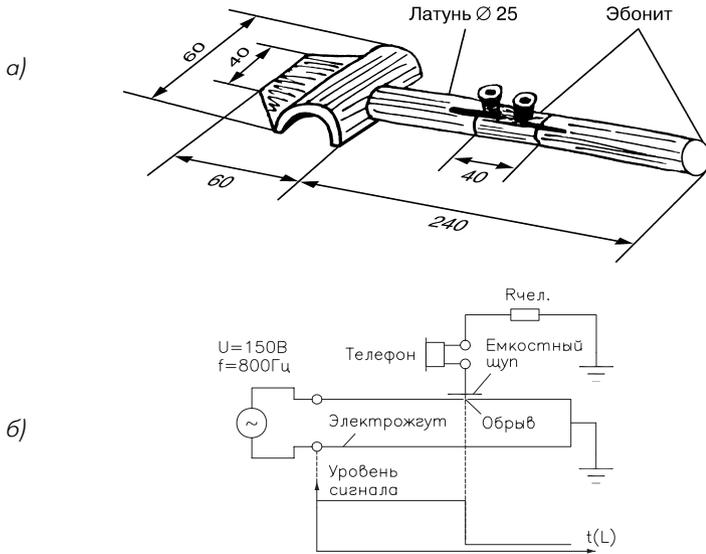


Рис. 1.26. Внешний вид емкостного щупа (а) и принцип работы прибора (б)

Испытываемый на обрыв провод присоединяется к переходной клемме генератора. При включении прибора вокруг провода образуется слабое электромагнитное поле переменной частоты. Мощность этого поля достаточна, чтобы при проведении емкостным щупом вдоль провода в телефонах прибора прослушивался легкий свистящий звук (фон). За местом обрыва электромагнитное поле будет отсутствовать, а следовательно, не будет и звукового эффекта в телефонах. На том участке кабеля, где пропадает звуковой фон, и находится место обрыва токопроводящей жилы. Аналогично производится поиск пути прохождения провода в жгуте.

В качестве генератора можно использовать любой источник гармонического колебания частотой 800 Гц. Максимальное напряжение, снимаемое с его выхода, не должно превышать 150 В.

*Второй прибор* более сложен. Он позволяет значительно сократить время на устранение неисправностей в системах электрорадиоэлектронного оборудования. Прибор состоит из генератора, вырабатывающего синусоидальное напряжение частотой 800 Гц, и приемного устройства цилиндрической формы (рис. 1.27).

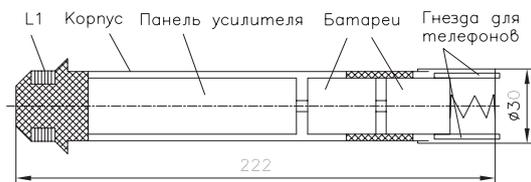


Рис. 1.27. Приемное устройство прибора

При подключении искомого провода к переходной клемме генератора вокруг провода образуется слабое электромагнитное поле соответствующей частоты. Если теперь приблизить к проводу приемный контур, то в телефонах будет прослушиваться звук. Диаметр приемного контура равен 15 мм, следовательно, точность определения по максимуму сигнала соответствует половине диаметра, то есть 7,5 мм, и вполне достаточна во многих случаях.

Приемное устройство представляет собой усилитель, работающий на четырех транзисторах типа МП39 (рис. 1.28). Коэффициент усиления составляет 12 000 (на частоте 1 кГц). Приемный контур L1 представляет собой провод ПЭЛ 0,1, в 200 витков намотанный на вставку из эбонита. С помощью конденсатора C2 он настраивается в резонанс с частотой генератора.

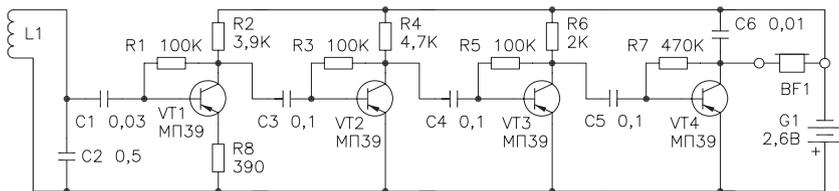


Рис. 1.28. Принципиальная схема приемного устройства



### 1.3.7. Приспособления для нанесения рисунка на печатную плату

Очень удобен простой *чертежный инструмент*, который можно изготовить самостоятельно. К концу обломанного ученического пера припаивается укороченная до 10–15 мм инъекционная игла диаметром 0,8 мм, сточенная под прямым углом к ее оси. Рабочую часть иглы надо зашлифовать мелкозернистой наждачной бумагой. На другой конец иглы надевается прозрачная медицинская пластмассовая трубка длиной 30–40 см.

Можно, конечно, укороченную иглу присоединить к шприцу. Тогда удобно будет набирать чернила для нанесения рисунка печатной платы, используя поршень шприца. При рисовании поршень нужно убрать, а чернила самотеком будут поступать в иглу. По окончании работы поршень вставляют, остатки чернил удаляют, а шприц с иглой промывают растворителем. Чтобы игла не засорилась, в нее продевают тоненькую проволочку.

### 1.3.8. Намоточные станки

*Простой намоточный станок* (рис. 1.30) позволяет наматывать на катушки провод диаметром 0,1–1,5 мм виток к витку или в навал с подсчетом количества витков.

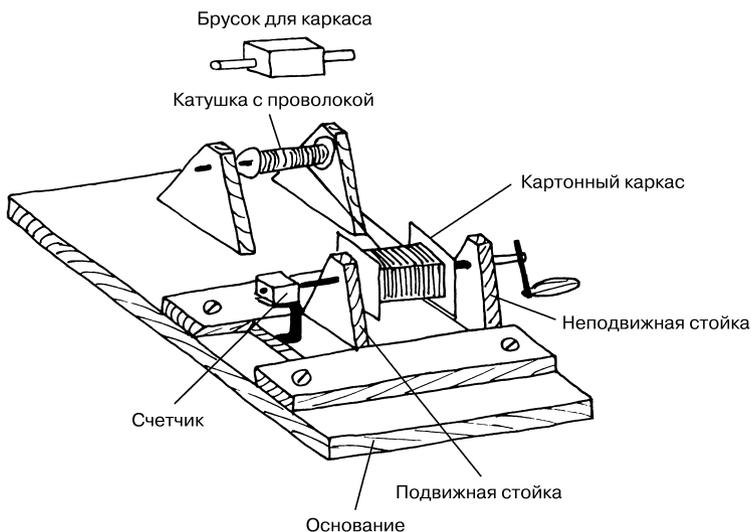


Рис. 1.30. Простой намоточный станок

На деревянном основании укрепляют шурупами два направляющих бруска с фасками под углом в  $45^\circ$ . Между ними устанавливают деревянные стойки, одна из которых подвижная, другая – нет. Между стойками помещается брусок с каркасом для намотки провода. Его размер должен соответствовать размеру каркаса катушки. С одной стороны на ось бруска надевают и закрепляют винтом ручку для вращения, а с другой стороны подсоединяют счетчик для подсчета количества витков провода (счетный механизм можно взять от старого электросчетчика). Во время работы намоточный станок крепят к столу струбциной или винтом.

*Приспособление для намотки катушек на базе точильного станка.* Для намотки катушек можно приспособить точильный станок, снабдив его специальной оправкой, навинчиваемой на валик точильного круга вместо крепежной гайки. Если намоточными работами приходится заниматься часто, то целесообразно изготовить универсальную оправку, состоящую из двух одинаковых частей в виде усеченных пирамидок.

*Приспособление для намотки катушек на базе ручной дрели.* Для намотки высокочастотных катушек, дросселей, малогабаритных трансформаторов в домашних условиях можно приспособить и обычную ручную дрель, зажатую в тиски.

*Станок для намотки тороидальных трансформаторов* используется не так часто, как предыдущие приспособления. К тому же его изготовление требует большого терпения и хороших навыков в слесарном деле. Проще отыскать нужный тороидальный трансформатор в магазине или на рынке. Но если у вас все же есть желание сделать такой станок, то его подробное описание можно найти, например, в статье А. Гвозденко «Станок для намотки тороидальных трансформаторов» (журнал «Радио», 1987 г., № 8).

## **1.4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И НАЛАДКЕ УСТРОЙСТВ**

### **1.4.1. Правила техники безопасности при работе с электричеством**

Радиолюбителям, занимающимся конструированием различных электронных устройств, постоянно приходится иметь дело с электричеством. Неосторожное обращение с током в процессе изготовления, наладки и эксплуатации устройств может привести к печальным

последствиям. Основы безопасности при работе с электрическим током должен знать каждый. Жизнь слишком ценный подарок, чтобы терять ее из-за невнимательности или неаккуратности.

Безопасным для человека считается напряжение, не превышающее 50 В. Разумеется, речь идет о нормальных условиях – сухое помещение, чистая и сухая кожа. Поскольку при питании устройств от гальванических элементов и батарей значения напряжений ниже, следует соблюдать безопасность при работе с устройствами, имеющими сетевое питание. Доказано, что ток около 10 мА уже вызывает легкое раздражение нервной системы и даже судороги. При увеличении тока до 30 мА мышцы могут утратить способность сокращаться, а при токе более 50 мА наступает паралич дыхательных органов, что представляет опасность для здоровья и жизни. Смертельным считается ток около 100 мА. Поэтому в целях безопасности необходимо помнить и выполнять следующие основные правила:

1. Значение тока, протекающего через тело человека, зависит от сопротивления. У всех людей это сопротивление различно. Оно снижается, если руки или одежда влажные. Другими словами, руки должны быть чистыми и сухими. Кроме того, величина тока, проходящего через человека, зависит не только от состояния кожи, а также от площади соприкосновения с токоведущими частями (грязь и влага ее увеличивают). Это необходимо учитывать, прежде чем приступить к работе. Не следует иметь дело с электрическим током в болезненном или утомленном состоянии – реакция человека снижается, и вероятность несчастного случая увеличивается.
2. Нельзя работать (например, проводить настройку) во включенном блоке сразу двумя руками или одной рукой при этом касаться токопроводящей поверхности (металлического корпуса устройства), так как степень поражения электрическим током зависит от пути его прохождения. Наиболее опасным является путь тока от руки к руке – через область сердца и легких, а также от левой руки к ноге. Не следует также держаться рукой за трубу отопления или водопровода. Недаром опытные монтажники, проверяя установки с опасным для жизни напряжением, стараются держать свободной левую руку, а то и вовсе убрать ее в карман, работая только правой рукой. Под ноги на рабочем месте желательно подкладывать резиновый коврик, являющийся изолятором.

3. Ремонт с заменой деталей необходимо выполнять при отключении питания устройства от сети 220 В. Для подстраховки лучше вытащить сетевую вилку из розетки (выключатель может сломаться в самый неожиданный момент). Жало паяльника следует заземлять – это обеспечит безопасность работы при нарушении изоляции паяльника и появлении на корпусе фазного напряжения (в этом случае сработают предохранители или автоматический выключатель и сеть будет обесточена). Предохранители электросети (плавкие вставки или электромеханические «пробки») должны быть исправными.
4. Если необходимо измерить напряжение на элементах, то один щуп вольтметра следует подключить к требуемой точке при обесточенном устройстве (например, с помощью лабораторного зажима типа «крокодил»); после включения устройства в сеть вторым щупом прикасаются к выводу элемента. При этом не стоит пользоваться щупом, имеющим неизолированную часть (спицу) значительной длины – из соображений безопасности лучше надеть на спицу отрезок изоляционной трубки, оставив неизолированным конец длиной 2–3 мм. Измерения желательно выполнять одной рукой.
5. Некоторые радиолюбители проверяют наличие напряжения на зажимах с помощью языка. Так делать ни в коем случае нельзя, даже если известно, что напряжение не превышает 5–7 В. Говорят, что незаряженное ружье один раз в год стреляет; так и на этих зажимах может оказаться значительное напряжение.
6. В большинстве случаев радиолюбители собирают приборы на транзисторах и микросхемах, питание которых осуществляется безопасным напряжением. Как правило, такие устройства питаются от сети через понижающий трансформатор. В этом случае опасное напряжение имеется на выводах первичной обмотки трансформатора, выключателе питания и патроне предохранителя (применение их обязательно). Монтаж этой части прибора, связанной с сетью, следует выполнять особенно тщательно, все соединения нужно изолировать ПВХ трубкой, лакотканью или изоляционной лентой.
7. Если в устройстве нет трансформатора, то все элементы имеют гальваническую связь с сетью. При настройке и эксплуатации такого устройства следует соблюдать особую осторожность. В процессе налаживания питание желательно осуществлять через раздельный трансформатор, у которого первичная и вторичная

обмотки рассчитаны на напряжение сети. Плату и элементы устройства необходимо тщательно изолировать от корпуса, а сам корпус лучше выполнить из непроводящего материала. Изнутри корпус желательно выложить асбестовыми пластинами. Ручки переменных резисторов, колпачки переключателей, другие элементы управления следует изготавливать из изоляционного материала.

8. Прежде чем включать прибор в сеть, необходимо подсоединить омметр к выводам сетевой вилки и убедиться в отсутствии короткого замыкания. Желательно измерить также сопротивление изоляции между выводами сетевой вилки и корпусом прибора. Если оно менее 10 МОм при какой-нибудь (проверьте обе!) полярности подключения щупов омметра, нужно отыскать неисправность и устранить ее. Такие проверки необходимо периодически повторять и в дальнейшем. Если с электронными устройствами работает начинающий радиолюбитель, желательно, чтобы в этом помещении находился второй человек, который в случае необходимости может отключить напряжение и оказать помощь. Если вы все же по неосторожности попали под напряжение или стали свидетелем такого случая, то надо как можно скорее освободиться от контакта с токоведущим проводником, любым способом разомкнув цепь. Последствия поражения зависят от времени нахождения человека под напряжением. Особая внимательность нужна при настройке схем, не имеющих электрической развязки от сети 220 В (то есть без понижающих напряжение трансформаторов). В этом случае подключение измерительных приборов лучше выполнять при отключенной схеме.
9. После выключения питания высоковольтные конденсаторы в устройстве могут некоторое время сохранять заряд, который вы получите при случайном касании цепей. Для исключения этой возможности их необходимо разрядить (вообще при проектировании устройства надо предусматривать разрядку таких конденсаторов после отключения напряжения питания). Разрядку высоковольтных конденсаторов производят закорачиванием выводов через резистор сопротивлением 100 Ом (использование короткозамыкающей перемычки может их повредить). Это правило особенно хорошо запоминается, после того как разряд высоковольтного конденсатора почувствуешь на себе.

10. При первоначальном включении устройства следует соблюдать осторожность, так как диоды и электролитические конденсаторы при неправильном включении полярности или превышении режимов могут взорваться. При этом конденсаторы взрываются не сразу, а сначала некоторое время греются.
11. Не рекомендуется оставлять без присмотра включенные и еще не настроенные устройства – это может вызвать пожар. При настройке приборов, включенных в сеть, пользуйтесь отверткой с изолированной ручкой.
12. Безопасным для человека в обычных условиях является источник тока с напряжением до 50 В, поэтому для монтажа элементов лучше использовать паяльник с рабочим напряжением, не превышающим это значение.
13. При работе с паяльником нельзя стряхивать с жала остатки расплавленного припоя: его брызги могут попасть в глаза или на тело и привести к ожогам. Осторожность необходима и при вытаскивании выводов элементов при демонтаже. Паяльник должен находиться на подставке, которая исключает случайное касание горячих частей к рукам, а также к столу.
14. При длительной работе с паяльником воздух в комнате насыщается вредными для организма парами свинца и олова. Поэтому помещение следует регулярно проветривать.

Таковы основные правила техники безопасности при работе с электроустановками, которые необходимо соблюдать каждому радиолюбителю. Обо всех опасностях невозможно рассказать в пределах данного раздела, поэтому будьте внимательны и осторожны при работе с электричеством.

#### **1.4.2. Правила безопасного пользования ручным инструментом**

А теперь об инструментах. Неправильное обращение с ними тоже может стать источником всевозможных травм. Поэтому необходимо всегда помнить о правилах безопасности и соблюдать их.

Например, режущий инструмент должен быть всегда остро заточен, поскольку при работе тупым инструментом придется прикладывать большее усилие, и он скорее соскользнет и поранит руки. Но это не значит, что острый инструмент безопасен, при работе с ним также нужно соблюдать осторожность. Не кладите режущие инструменты лезвием к себе или на самый край стола.

Используя отвертку, помните, что ее наконечник должен соответствовать по размерам шлицу винта. Конец лезвия должен быть тупым. Передавая отвертку (шило, стамеску и т.д.) друг другу, держите ее наконечником к себе.

Не строгайте ничего на весу, а тем более располагая нож по направлению к себе. При спиливании металла следите за тем, чтобы пальцы левой руки не заходили за нижний край напильника. Не проверяйте пальцем качество опиливаемой поверхности. Металлическую стружку собирайте со стола не руками, а волосяной щеткой-сметкой.

При рубке металла обязательно надевайте защитные очки. Пользоваться зубилом, длина которого менее 150 мм, запрещается. Гаечные ключи подбирайте по размерам гаек. Удлинение ключей с помощью труб и других предметов запрещается.

Разрезаемый металл надежно закрепляйте в тисках. Полотно ножовки должно быть затянуто не слабо, но и не слишком туго. Слабо натянутое полотно может сломаться, а туго натянутое – лопнуть. В обоих случаях вы можете пораниться обломками.

Разрезая ручными ножницами тонкий листовой материал, держите его левой рукой в брезентовой рукавице – это предохранит руку от ранений острыми кромками металла и лезвиями ножниц. Не пользуйтесь тупыми ножницами и ножницами с разболтанными шарнирами.

Ручки инструментов должны быть изготовлены из твердых пород дерева (береза, бук, вяз, кизил). Из дерева хвойных пород и сырого материала делать ручки не рекомендуется. Не допускайте трещин на ручках напильников, молотков и т.п. Для предохранения рук от мозолей деревянные ручки инструментов следует обжечь на огне до получения коричневого цвета.

При выполнении слесарных работ следите, чтобы молоток был прочно насажен на ручку и заклинен металлическим клином. Зубило, молоток, бородок, кернер не должны иметь трещин, сколов и наклепа. Поверхность ударной части молотка не должна быть скошена.

Выполняя работу, не разговаривайте и не отвлекайтесь посторонними делами. Необходимо всегда под рукой иметь медицинскую аптечку на тот случай, если вы все же нарушите правила и случайно поранитесь.

<b>1</b>	Рабочее место радиомонтажника	11
----------	-------------------------------	----

## **2 ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ**

<b>Пайка – это очень просто</b>	<b>44</b>
<b>Соединение деталей сваркой</b>	<b>55</b>
<b>Пайка алюминия и его сплавов</b>	<b>58</b>
<b>Токопроводящий клей</b>	<b>60</b>

<b>3</b>	Изготовление печатных плат	63
<b>4</b>	Монтаж печатной платы	109
<b>5</b>	Изготовление корпуса	129
<b>6</b>	Окраска деталей	147
<b>7</b>	Технологические секреты	175
<b>8</b>	Электрические измерения и расчеты	201
<b>9</b>	Приложения	229

## 2.1. ПАЙКА – ЭТО ОЧЕНЬ ПРОСТО

Для соединения металлических деталей обычно применяется *пайка*, основанная на диффузии. Во время пайки происходит взаимное растворение, то есть диффузия, припоя и основного металла. После застывания получается механически прочное соединение, обладающее хорошей электропроводностью.

Различают пайку тугоплавкими (твердыми) и легкоплавкими (мягкими) *припоями*. При электромонтажных работах (сборка радиоаппаратуры) используют только легкоплавкие припои с относительно низкой температурой плавления (до 300 °С).

Пайке препятствуют пленки оксидов, жира и грязи на поверхности металлов. Для их удаления соединяемые поверхности тщательно зачищают. Кроме того, чтобы избежать окисления соединяемых деталей под действием тепла и кислорода во время самой пайки, применяют вспомогательное вещество – флюс.

### 2.1.1. Припои для электромонтажных работ

Припоем называют металлический сплав, которым соединяют проводники и выводы деталей. Самый хороший припой – чистое олово. Но оно стоит дорого и используется в исключительных случаях. При радиомонтаже чаще применяют *легкоплавкий припой*, представляющий собой сплав олова и свинца. По прочности пайки он не уступает чистому олову. Буквы в обозначении марки припоя указывают: П – припой, О – оловянный, С – свинцовый, цифры – массовое содержание в припое олова (в процентах). Например, в припое ПОС-18 содержится 18% олова (остальная часть – свинец).

Для получения особых свойств в состав оловянно-свинцовых припоев вводят кадмий, висмут, сурьму и другие металлы. Например, ПОСК-50 – оловянно-свинцовый припой с добавлением кадмия (50% олова, 18% кадмия, остальное свинец).

Наиболее предпочтительно применять припой ПОС-61 (температура плавления +190 °С) или, в крайнем случае, ПОС-40 (температура плавления +235 °С). Отличных результатов достигают при использовании специального трубчатого припоя, начиненного флюсом.

Легкоплавкие припои выпускаются в виде чушек, литых прутков, проволоки, лент фольги, зерен, заполненных канифолью, трубок диаметром от 1 до 5 мм, а также в виде порошков и паст, составленных из порошка припоя и жидкого флюса. Наиболее удобен для монтажа припой в виде трубок, заполненных канифолью.

## Область применения различных видов припоев указана в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Легкоплавкие припои

Марка припоя	Температура плавления, °С	Область применения
ПОС-90	220	Пайка пищевой посуды и медицинских инструментов
ПОС-61	190	Пайка тонких спиральных пружин в измерительных приборах и других важных деталей из стали, меди, латуни, бронзы, когда недопустим или не желателен высокий нагрев в зоне пайки. Пайка тонких (диаметром 0,05–0,08 мм) обмоточных проводов, в том числе высокочастотных (литцендрата), выводов обмоток радиоэлементов и микросхем, монтажных проводов в полихлорвиниловой изоляции; а также пайка в тех случаях, когда требуется повышенная механическая прочность и электропроводность
ПОС-61М	192	Лужение и пайка тонких медных проводов, печатных проводников, фольги
ПОС-50	222	Область применения та же, когда допускается высокая температура нагрева
ПОС-40	235	Пайка деталей из оцинкованной стали, толстых проводов токопроводящих деталей неотвественного назначения, наконечников, соединений проводов с лепестками, когда допускается более высокий нагрев, чем для ПОС-61 или ПОС-50
ПОС-30	256	Лужение и пайка механических деталей неотвественного назначения из меди и ее сплавов, стали и железа
ПОС-18	277	Пайка при невысоких требованиях к прочности шва, лужение перед пайкой. Пайка деталей неотвественного назначения из меди и ее сплавов, оцинкованного железа и стали
ПОС-10	299	Лужение и пайка контактных поверхностей электроаппаратуры
ПОСВ-33	130	Пайка плавких предохранителей
ПОСК-47-17	180	Пайка проводов и выводов элементов к слою серебра, нанесенного на керамику методом вжигания
ПОСК-50-18	145	Пайка деталей из меди и ее сплавов, не допускающих местного перегрева. Пайка полупроводниковых приборов. Обладает высокой прочностью на растяжение
ПОСр-15	276	Пайка деталей из цинка и оцинкованной стали
Авиа-1	200	Пайка тонкостенных деталей из алюминия и его сплавов
Авиа-2	250	Пайка тонкостенных деталей из алюминия и его сплавов

Таблица 2.1. Легкоплавкие припои (окончание)

Марка припоя	Температура плавления, °С	Область применения
Сплав Розе	97,3	Пайка и лужение, когда требуется особо низкая температура плавления припоя
Сплав д'Арсе	79	
Сплав Вуда	60,5	

Примечание: сплав Розе состоит из олова – 25%, свинца – 25%, висмута – 50%.

### 2.1.2. Флюсы для пайки

Кроме припоя, вам потребуется хороший *флюс* – вещество, которое защищает поверхность металла и припоя от окисления, поскольку во время пайки температура соединяемых деталей повышается, и скорость окисления их поверхности значительно возрастает. Вследствие этого припой не смачивает соединяемые детали. Для растворения и удаления оксидов применяют флюсы. Они надежно защищают поверхность металла и припоя от окисления и способствуют диффузии металлической поверхности и расплавленного припоя.

По действию, оказываемому на подвергающийся пайке металл, флюсы разделяют на химически активные (в большинстве своем кислотные) и химически пассивные (на основе канифоли). При монтаже электро- и радиоаппаратуры применение *кислотных флюсов* (табл. 2.2) не допускается, так как с течением времени их остатки разрушают место пайки и изделие выходит из строя.

Таблица 2.2. Активные (кислотные) флюсы

Название и состав, %	Область применения	Способ удаления остатков
Кислота паяльная: хлористый цинк – 25–30; соляная кислота – 0,6–0,7; вода	Пайка деталей из черных и цветных металлов	Тщательная промывка в воде
Флюс-паста водная: хлористый цинк (насыщенный раствор) – 3,7; вазелин технический – 85; дистиллированная вода	Область применения та же, когда по роду работы удобнее пользоваться пастой	Тщательная промывка в воде
Флюс спиртоканифольный: канифоль – 16–24; хлористый цинк – 1; спирт этиловый	Пайка цветных и драгоценных металлов (в том числе золота), важных деталей из черных металлов	Промывка в ацетоне или спирте

Таблица 2.2. Активные (кислотные) флюсы (окончание)

Название и состав, %	Область применения	Способ удаления остатков
Флюс-паста канифольная: канифоль – 16; хлористый цинк – 1–4; вазелин технический	Область применения та же, для получения соединений высокой прочности, но только деталей простой конфигурации, не затрудняющей промывку	Промывка в ацетоне или спирте
Флюс спиртоглицериновый: хлористый цинк – 14; глицерин – 3; спирт этиловый – 40; вода дистиллированная	Пайка никеля, платины и сплавов, в которые входит платина	Тщательная промывка в воде
ФИМ	Пайка нержавеющей стали, никеля, меди и их сплавов	Промывка в ацетоне или спирте
Ф61	Пайка алюминия и его сплавов, меди и сплавов, никеля оловянным припоем	Промывка в ацетоне или спирте
Ф38Н	Пайка нихрома, константина, люминиевой и берилиевой бронз, нержавеющей стали	Промывка в ацетоне или спирте

К бескислотным флюсам (табл. 2.3) относятся канифоль и составы,готавливаемые на ее основе с добавлением неактивных веществ (спирта, скипидара, глицерина). Остаток канифоли не гигроскопичен и не вызывает коррозии паяного соединения.

Таблица 2.3. Бескислотные флюсы

Состав, %	Область применения	Способ удаления остатков
Канифоль светлая сосновая	Пайка и лужение латуни, меди, бронзы мягкими и легкоплавкими припоями	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне
Флюс спиртоканифольный: канифоль – 15–30; спирт этиловый	Область применения та же, а также пайка в труднодоступных местах	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне
Флюс стеариновый: канифоль – 24; стеарин – 1; спирт этиловый	Область применения та же	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне
Флюс глицериновый: канифоль – 6–9; глицерин – 14–50; спирт этиловый	Область применения та же, при повышенных требованиях к герметичности паяного соединения	Протирка мягкой тканью, смоченной в спирте или ацетоне
Флюс вазелиновый: канифоль – 6–9; вазелиновая мазь – 14–50; спирт этиловый	Область применения та же, при лужении печатных плат	Протирка мягкой тканью, смоченной в спирте или ацетоне

Таблица 2.3. Бескислотные флюсы (окончание)

Состав, %	Область применения	Способ удаления остатков
Паста канифольно-вазелиновая: порошок канифоли; вазелиновая мазь	Область применения та же, при лужении печатных плат	Протирка мягкой тканью, смоченной в спирте или ацетоне
Флюс бензиноканифольный: канифоль – 40; бензин Б-70 – 60	Пайка и лужение латуни и меди	Протирка кистью или тампоном, смоченным в бензине

Самым простым флюсом является канифоль. В магазинах встречается смычковая канифоль, которой натирают смычки музыкальных инструментов. Она вполне пригодна для пайки. Но можно воспользоваться «природной» канифолью, совершив прогулку в сосновый лес. Наберите смолы, растопите ее в жестяной банке на слабом огне, чтобы смола не воспламенилась. Расплавленную массу разлейте в спичечные коробки или другие подходящие емкости. После застывания смола-канифоль готова к употреблению.

Канифольный флюс дешев и доступен, но не всегда удобен в применении. Поэтому в радиолобительской практике все большую популярность приобретает жидкая канифоль, которая очень хорошо зарекомендовала себя при пайке в труднодоступных местах. Ее можно изготовить самостоятельно. Твердую канифоль измельчают в порошок, высыпают его в емкость, например, с глицерином, помешивая раствор палочкой и добавляя канифоль до получения густой кашицы. Хранить такую канифоль необходимо в пузырьке с плотно закрывающейся крышкой, а наносить на спаиваемые места тонкой палочкой или проволокой. При отсутствии глицерина можно использовать этиловый или борный спирт.

Использование спиртоканифольного флюса позволяет получить высокое качество пайки, кроме того, такая пайка выглядит аккуратнее. Однако флюс быстро засыхает на кисточке, и по окончании работы ее приходится отмывать в спирте. Намного удобнее наносить флюс одноразовым шприцем объемом 2 или 5 см<sup>3</sup>. В него надо набрать немного жидкого флюса, а остальной объем заполнить воздухом. Слегка сжимая шприц пальцами, выдавливают каплю флюса на место пайки. Для удобства работы иглу шприца следует затупить.

Чтобы флюс не засыхал в канале иглы, после пайки в шприц надо набрать немного воздуха, держа его иглой вверх. В таком же положении

и хранят шприц с флюсом. Если флюс все-таки засох, достаточно коснуться кончиком иглы разогретого паяльника – игла сразу же очистится.

---

**Совет** *После пайки отмойте печатную плату спиртом и покройте спиртоканифольным флюсом – плата приобретет хороший внешний вид, а ее проводники будут защищены от окисления.*

---

Следует отметить, что глицериновый и спиртовой флюсы электропроводны. Вазелиновый флюс не имеет этого недостатка и, кроме того, не требует дорогих растворителей, длительное время не высыхает в открытой посуде. Во многих случаях очень удобно использовать канифольно-вазелиновую пасту. Для ее приготовления твердую канифоль надо растолочь и просеять через мелкое сито (подходит сито для муки). Далее канифольный порошок перемешивают с любым косметическим вазелином, предвзвешенно убедившись в его изоляционных свойствах. Пригодны для этой цели и некоторые кожные кремы, например «Детский». Основу берут в количестве, необходимом для получения пасты с консистенцией густой сметаны.

Остатки флюса после пайки легко удаляются лоскутом мягкой ткани, а плата промывается спиртом, бензином или ацетоном.

### 2.1.3. 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.

Для начала следует правильно выбрать припой и флюс (см. разделы 2.1.1 и 2.1.2). От этого в первую очередь зависит качество и надежность пайки.

Далее нужно подобрать подходящий паяльник. При монтаже радиоаппаратуры используют *электрические паяльники*, выбирая их в зависимости от предполагаемого применения по мощности и температуре нагрева рабочей части. Например, при пайке соединений на печатной плате наиболее удобен небольшой паяльник с тонким жалом, а для лужения толстых медных проводов лучше взять мощный паяльник.

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.

---

**Совет** *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.*

---

Прежде чем припаивать вывод детали, его нужно *облудить*. Делать это следует непосредственно перед самой пайкой. Вывод зачищают монтажным ножом, кладут на кусочек канифоли (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.

Чтобы спаять выводы двух подготовленных таким образом 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 изящней, 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 борным спиртом, бензином или ацетоном.

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*.

Припаивая, например, проводник к пустотелой заклепке (рис. 2.1а), его конец пропускают в отверстие заклепки, отгибают, удаляют излишек провода кусачками, а затем пропаивают провод с заклепкой так, чтобы припой полностью заполнил отверстие заклепки. Так же припаивают скрученные концы двух проводников (рис. 2.1б) или выводы двух деталей (рис. 2.1в).

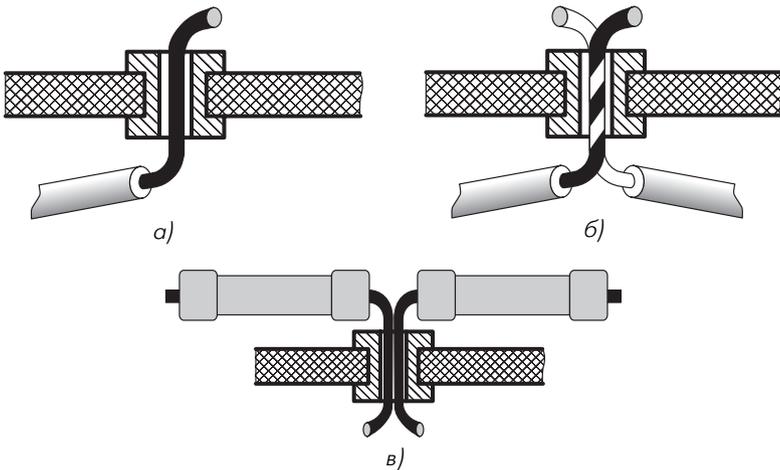


Рис. 2.1. Припаивание к пустотелой заклепке одного проводника (а), двух скрученных проводников (б) и выводов двух деталей (в)

Бывает, что на плате установлены монтажные шпильки из толстого медного провода, тогда конец вывода детали загибают вокруг шпильки колечком (рис. 2.2а), 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. 2.2б). Лишнюю часть вывода можно удалить и после пайки. Сам вывод желательно предварительно изогнуть с помощью круглогубцев (рис. 2.2в).

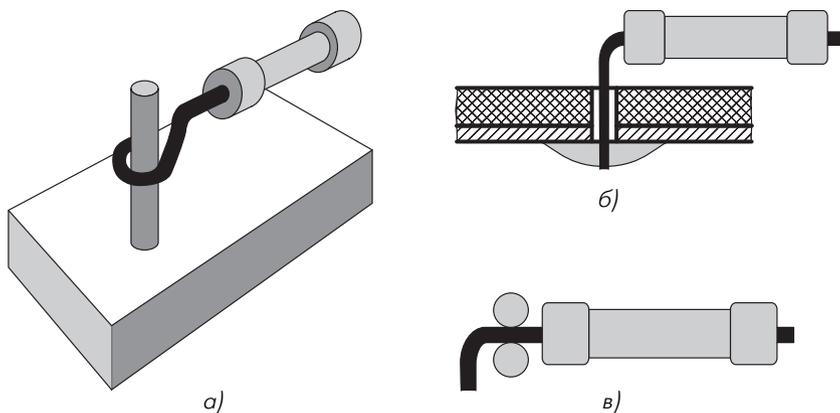


Рис. 2.2. Пайка деталей на печатную плату

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.

Если при монтаже нужно срastить два проводника, совсем не обязательно скручивать их концы. Проще сложить их на длине 6–8 мм (рис. 2.3а) и спаять. Когда же надо соединить проводники под прямым углом, конец одного проводника можно согнуть, прижать к другому проводнику и спаять (рис. 2.3б). При соединении нескольких деталей или проводников с общим проводом места пайки следует располагать на некотором расстоянии друг от друга (рис. 2.3в), чтобы при замене какой-либо детали в дальнейшем не страдали пайки остальных.

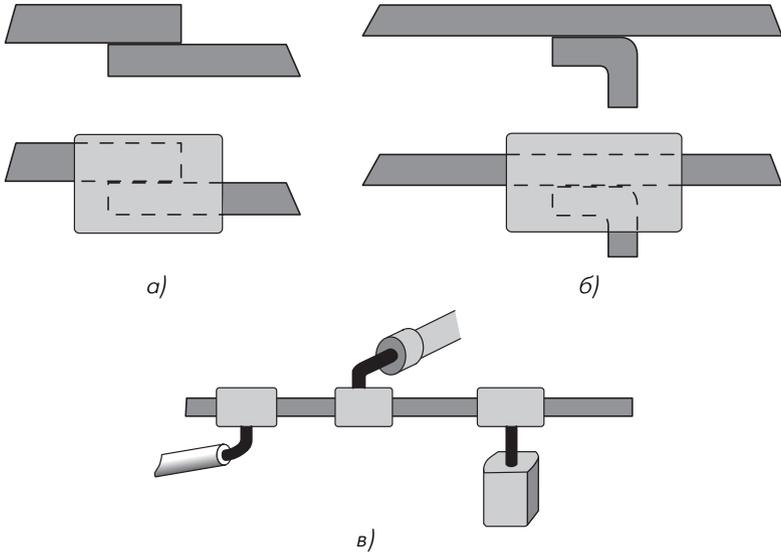


Рис. 2.3. Сращивание (а) и соединение (б) двух проводников, пайка нескольких деталей в одной точке (в)

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

Если требуется паять детали на миниатюрной плате в условиях плотного монтажа, из медной проволоки диаметром 2–3 мм можно изготовить простое приспособление – удлинитель жала паяльника (рис. 2.4). Конец удлинителя зачищают и облуживают так же, как и жало паяльника.

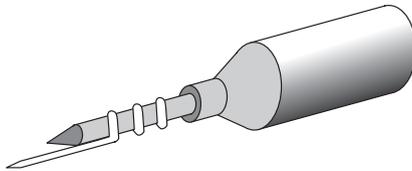


Рис. 2.4. Удлинитель жала паяльника

И в заключение необходимо напомнить о мерах безопасности. При пайке выделяются вредные для здоровья пары олова и свинца. Ни в коем случае не наклоняйтесь над местом пайки и не вдыхайте испарения. Летом старайтесь паять у открытого окна, зимой чаще проветривайте помещение. После окончания работ обязательно вымойте руки теплой водой с мылом.

При пайке соединений на печатных платах и выводах транзисторов температура жала паяльника не должна превышать 260 °С. Ее удобно регулировать, изменяя напряжение питания с помощью автотрансформатора или других регулирующих устройств.

Еще раз следует напомнить, что надежность соединения в месте пайки зависит не столько от количества нанесенного припоя, сколько от качества предварительного облужения и прогрева деталей. Если припоя 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».

#### **2.1.4. Лудильная ванна**

Выводы микросхем, транзисторов и других деталей удобно лудить, погружая в расплавленный припой. Для этого используется специальная *лудильная ванна*. На широкой массивной подставке из теплоизолирующего материала, лучше всего из асбестоцемента, монтируется узел нагревателя с ванной.

Он представляет собой дюралюминиевую пластину размерами 55×40×3 мм (размеры могут быть и другими), на которую наложена сверху такая же пластина, но имеющая в середине окно размерами 40×20 мм. В этом окне уложен нагреватель из нихромового провода диаметром 0,6 мм и длиной 50–60 см. Провод навивают на стержень-оправку диаметром 1 мм. Спираль обматывают стеклотканью. Выводы изолируют, пропускают через отверстие в нижней пластине нагревателя и подключают к гибкому шнуру.

Сверху нагреватель прикрывают дюралюминиевой пластиной с такими же внешними размерами, на которой тем или иным способом укреплена тонкостенная ванна, изготовленная, например, из кожуха реле РЭС22. Глубина ванны должна быть около 4 мм. Все три пластины сжимаются в пакет гайками, навинченными на резьбовые стойки. Нагреватель питают от понижающего трансформатора с регулируемым напряжением. Потребляемая мощность – около 50 Вт.

Устройство включают, температуру доводят до плавления припоя. Припой в ванну добавляют до тех пор, пока его уровень не станет несколько выше ее края. Выводы облуживают, погружая в припой на короткое время. Это устройство очень удобно и при демонтаже многовыводных деталей. Плату печатной стороной опускают на ванну, чтобы выводы деталей погрузились в припой. Через несколько секунд деталь беспрепятственно отделяют от платы. При некотором навыке можно таким же образом припаивать детали к плате.

---

**Совет** *Облудить эмалированный провод очень легко. На лист мелкой наждачной бумаги надо нанести 2–3 капли канифоли. Жалом хорошо прогретого паяльника набрать немного припоя и, прижав жалом конец провода к наждачной бумаге с канифолью, вытянуть провод. Поворачивая провод каждый раз, операцию повторяют до тех пор, пока конец провода не будет освобожден от изоляции и равномерно облужен.*

---

## 2.2. СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ

### 2.2.1. Соединение сплавов высокого сопротивления

Для соединения проводов из сплавов высокого сопротивления (нихром, константан, никелин, марганец и др.) есть несколько простейших способов *сварки* без применения специального инструмента.

Концы свариваемых проводов зачищают, скручивают и пропускают через них ток такой силы, чтобы место соединения накалилось докрасна. На это место пинцетом кладут кусочек ляписа (нитрат 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.

Перегоревший провод обмотки реостата или нагревательного прибора можно восстановить следующим образом: концы провода в месте обрыва вытягивают на 15–20 мм и зачищают до блеска. Затем из листовой стали или алюминия вырезают небольшую пластинку, делают из нее муфту и надевают на провода в месте соединения. Провода предварительно скрепляют обычной скруткой. Затем муфту плотно сжимают плоскогубцами. Соединение проводов с помощью муфты обеспечивает достаточно высокую механическую прочность, но контакт в месте соединения не всегда надежен, что может привести к местному перегреву провода и его перегоранию.

Соединение сплавов высокого сопротивления часто требуется при изготовлении *термопар*, которые применяются для измерения температуры жала электропаяльника, расплавленного припоя в ванне для лужения проводников, нагрева электрических машин и т.п. Для этого в железный тигель с металлической подставкой насыпают угольный порошок – измельченные электроды от сварки или гальванических элементов. Один конец электрического провода от автотрансформатора соединяют с тиглем, другой – подключают к скрученной термопаре, которую захватывают плоскогубцами с изолированными ручками, и подают от автотрансформатора напряжение порядка 60–80 В (рис. 2.5а). Скрученные проволочки (например, хромель-копель) опускают в угольный порошок, в который добавлено немного флюса (бура), в результате чего возникает небольшая электрическая дуга, и концы термопары свариваются, образуя шарик на концах проволочек.

При другом способе сварки (рис. 2.5б) вместо порошка применяется угольный электрод. Напряжение 12 В с понижающего трансформатора подводят к ручке плоскогубцев и угольному электроду. При прикосновении последнего к скрутке концы проволочек оплавляются, образуя на конце шарик.

Такой способ пригоден для соединения хромоалюминиевых, медноконстантановых и платинородиевых термопар, спиралей нагревательных элементов и проводов обмоток трансформаторов и электродвигателей.

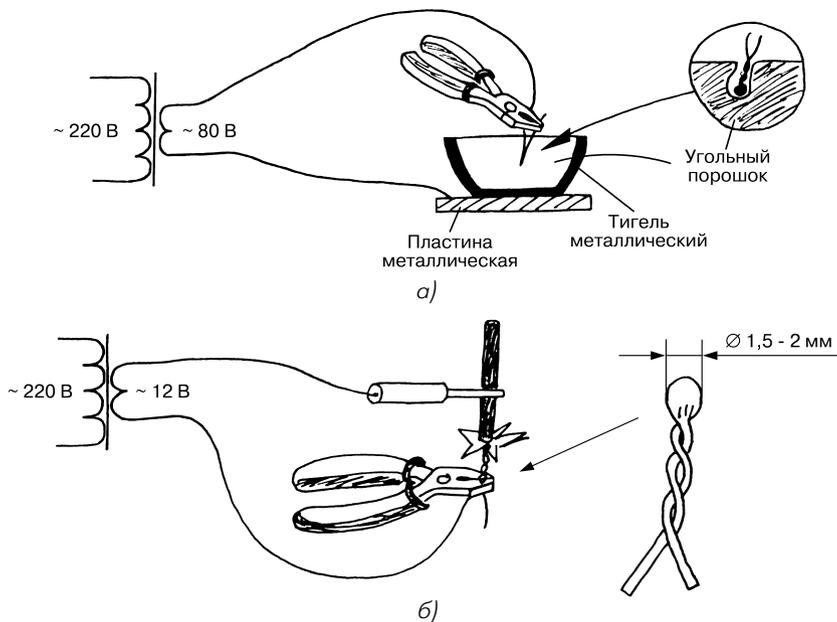


Рис. 2.5. Способы изготовления термопар

### 2.2.2. 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 более короткими, с сечением по меди не менее 0,75 мм<sup>2</sup>.

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 проволоочной 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, вилку устройства включают в сеть и, используя плоскогубцы с изолированной ручкой, касаются выводом к 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.

### 2.3. 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. Ниже описываются различные способы *пайки алюминия* оловянно-свинцовыми припоями ПОС-61, ПОС-50, ПОС-90.

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.

---

**Совет** *Лучшие результаты получаются, если вместо канифоли применяется минеральное масло для швейных машин или щелочное масло (например, для чистки оружия после стрельбы).*

---

При пайке листового алюминия или его сплавов на шов горячим паяльником наносят канифоль с мелкими железными опилками. Паяльник залуживается, и им начинают протирать место шва, постоянно добавляя припой. Опилки своими острыми гранями снимают с поверхности оксид, и олово прочно пристает к алюминию. Работают хорошо нагретым паяльником: для пайки тонкого алюминия достаточна мощность 50 Вт, для алюминия толщиной 1 мм и более желательна мощность 90 Вт, если толщина более 2 мм – место пайки необходимо прогреть паяльником и только после этого наносить флюс и производить пайку. В качестве флюса можно использовать минеральное масло.

При соединении алюминиевых проводов и поверхностей иногда применяют достаточно оригинальный способ пайки. Перед началом работы алюминиевый провод или пластину *омедняют*, используя установку для гальванического покрытия. Но можно сделать проще. Место пайки зачищают шлифовальной шкуркой и аккуратно наносят на него несколько капель насыщенного раствора медного купороса. Далее к алюминиевой детали подключают отрицательный полюс источника постоянного тока (например, выпрямитель, батарейку от карманного фонаря или аккумулятор). А к положительному полюсу присоединяют кусок медного провода 1–1,2 мм (без изоляции), являющегося частью изготовленного из старой зубной щетки «устройства» (рис. 2.6). Находящийся в щетине провод не должен касаться поверхности алюминия во время трения щетки (омеднения) о поверхность детали. Через некоторое время на поверхности алюминиевой детали оседает слой красной меди, который после промывки и сушки лудят обычным способом.

К известным методам пайки алюминия можно добавить еще один, очень простой. 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.

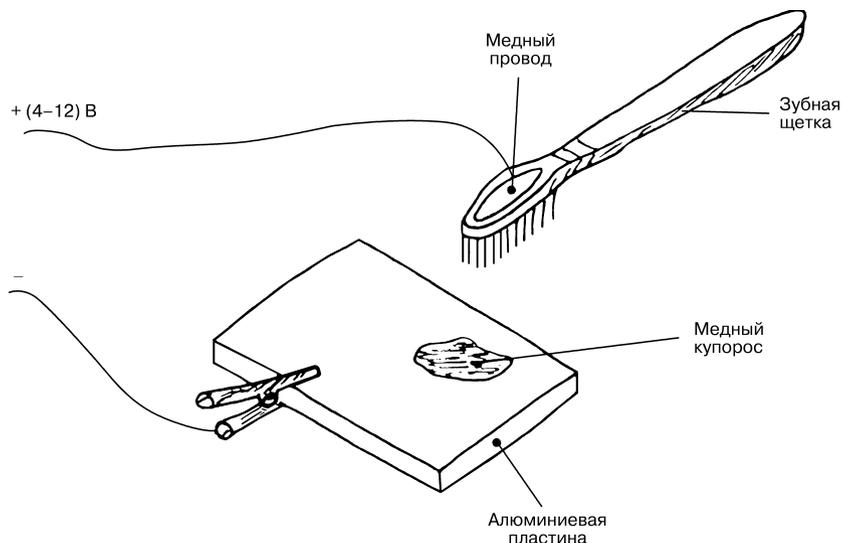


Рис. 2.6. Устройство для омеднения алюминиевой поверхности

В промышленности и ремонтной практике для пайки монтажных элементов из алюминия и его сплавов, а также соединения их с медью и другими металлами применяют припои 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 иодида лития.

## 2.4. 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. Для любителей поэкспериментировать приведены несколько рецептов такого клея.

*Первый рецепт.* В фарфоровой ступе тщательно перемешивают все компоненты (табл. 2.4). Приготовленный состав (сиропообразная жидкость серо-черного цвета) переливают в стеклянную посуду с притертой пробкой. Перед употреблением клей хорошо перемешивают стеклянной палочкой и, если необходимо уменьшить вязкость, добавляют ацетон. Время высыхания клея составляет 10–15 мин.

Таблица 2.4. Первый рецепт токопроводящего клея

Состав	Количество, г
Графит порошок (самый тонкий отмученный)	15
Серебро порошковое	30
Сополимер винилхлорид-винилацетат	30
Ацетон чистый	32

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

*Второй рецепт.* Перечисленные в табл. 2.5 вещества тщательно перемешивают в ступе. К полученной смеси добавляют связующее вещество, составленное из следующих компонентов (табл. 2.6).

Таблица 2.5. Второй рецепт токопроводящего клея

Состав	Количество, г
Графит порошок (самый тонкий <b>отмученный</b> )	6
Серебро порошковое	60

Таблица 2.6. Компоненты связующего вещества

Состав	Количество, г
Нитроцеллюлоза	4
Канифоль натуральная	2,5
Ацетон или этилацетат	30

Все составляющие перемешивают и растирают до получения однородной пастообразной массы. Перед употреблением клей снова перемешивают и добавляют небольшие порции ацетона или этилацетата, чтобы придать ему необходимую вязкость.

*Третий рецепт.* Можно использовать другое связующее вещество (табл. 2.7). Его вливают в порошок смесь, состоящую из серебра и графита. Токопроводящий клей с шеллачным связующим употребляется главным образом для приклеивания выводов к различным устройствам, механически не нагруженным. Хранят его в стеклянной посуде с притертой пробкой.

Таблица 2.7. Связующее вещество на основе шеллака

Состав	Количество, г
Шеллак натуральный	3
Этиловый спирт денатурированный	31

*Четвертый рецепт.* Можно 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.

---

**Совет** *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.*

---

*Пятый рецепт.* В этом 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.

<b>1</b>	Рабочее место радиомонтажника	11
<b>2</b>	Гальваническое соединение деталей	43

## **3**      **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

<b>Рисунок печатного монтажа</b>	<b>65</b>
<b>Нанесение рисунка на плату</b>	<b>73</b>
<b>Химическое травление печатной платы</b>	<b>90</b>
<b>Механический способ Способ переноса</b>	<b>97</b>
<b>Бумажные монтажные платы</b>	<b>99</b>
<b>Макетные платы</b>	<b>101</b>
<b>Вторая жизнь старых печатных плат</b>	<b>104</b>
	<b>107</b>

<b>4</b>	Монтаж печатной платы	109
<b>5</b>	Изготовление корпуса	129
<b>6</b>	Окраска деталей	147
<b>7</b>	Технологические секреты	175
<b>8</b>	Электрические измерения и расчеты	201
<b>9</b>	Приложения	229

Вся современная радиоаппаратура собирается на печатных платах, что позволяет повысить ее надежность, а также упростить сборку. Необходимо помнить, что при изготовлении печатных схем следует придерживаться некоторых простых правил, несоблюдение которых может привести к отказам устройств или даже навсегда вывести их из строя. Эти ограничения касаются в основном определения теплового режима при размещении компонентов на плате, взаимного расположения проводников для устранения их влияния друг на друга и т.п. Однако, имея некоторый практический опыт, ограничения можно обойти или упростить. Научиться делать *печатные платы* своими руками несложно, тем более что особых секретов в данной технологии нет. Положительные и отрицательные стороны применения печатных схем можно свести к следующим показателям (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Преимущества и недостатки использования печатных схем

Преимущества	Недостатки
Высокая надежность	Плохая ремонтопригодность
Простота проверки	Проблемы с теплоотводом
Легко обнаружить причины отказов	Необходимость следовать определенным правилам и ограничениям при конструировании
Близкое соответствие расчетных и реально получаемых характеристик	Очень трудно, а иногда невозможно вносить изменения в схему

Разработать изделие простое и в то же время обладающее высокой прочностью, с конфигурацией, облегчающей его эксплуатацию, задача не из легких. Кроме того, изделие должно иметь хороший внешний вид. Различают три способа изготовления печатного монтажа и печатных схем. Радиоловитель может выбрать любой из них.

**Механический способ.** На фольгированный гетинакс или текстолит наносится рисунок печатного монтажа, а затем фольга с пробельных мест удаляется ножом, резаком, скальпелем или фрезой. Этот способ самый простой, однако он требует от мастера определенных навыков. Кроме того, он непригоден для изготовления сложных устройств.

**Химический способ.** На фольгированный текстолит тем или иным способом наносится рисунок печатного монтажа, после чего незащищенные места вытравливаются. Этот способ более трудоемок, кроме того, вам потребуется раствор для травления. Травленные платы по внешнему виду более похожи на заводские, потому многие радиолубители предпочитают именно этот способ. Химический способ

универсален, но порой отпугивает радиолюбителей сложностью из-за незнания некоторых правил при проектировании и изготовлении травленных плат.

*Способ переноса.* Проводники печатного монтажа, вырезанные из медной или латунной фольги и смонтированные на какой-либо временной подложке (например, на миллиметровой бумаге), наклеиваются на диэлектрик, после чего подложка удаляется. Это достаточно трудоемкий способ, но он ценен тем, что позволяет наклеивать печатные проводники на любой плоский диэлектрик и не требует применения сложной оснастки и дефицитных материалов. В настоящее время в радиолюбительской практике практически не используется.

В изготовлении печатной платы механическим или химическим способом можно выделить три стадии работ, которые и будут подробно рассмотрены в этой главе:

- подготовка рисунка печатного монтажа;
- нанесение рисунка на фольгу;
- удаление ненужных участков (травление или вырезание).

Итак, если вы решили собрать понравившуюся электрическую схему, а раньше этим никогда не занимались, внимательно прочитайте приводимые ниже советы, а со временем, когда появится опыт, вы сможете выбрать наиболее удобную для себя методику.

### **3.1. РИСУНОК ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА**

При изготовлении различных устройств радиолюбители часто вынуждены самостоятельно разрабатывать *рисунок печатной платы*. Об основных правилах и способах создания такого рисунка и рассказывается в этом разделе.

#### **3.1.1. 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.

Итак, вы выбрали схему и приобрели необходимые детали. Теперь можно приступить к разводке топологии печатных проводников, учитывая реальные габариты деталей. Удобнее делать это на миллиметровой бумаге, но можно взять и обычный лист в клеточку. Нарисуйте контуры платы. Лучше, если ее габариты будут соответствовать размерам какого-либо готового корпуса. Корпус прибора можно изготовить и самостоятельно, однако это потребует много времени, и не каждый сможет его сделать аккуратно и красиво. Некоторые рекомендации по этому вопросу приведены в главе 5.

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.

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.

Отверстия с шагом 2,5 мм, находящиеся на сторонах квадрата 7,5×7,5 мм, удобно монтировать *микросхему* в круглом металlostеклянном корпусе. Для установки микросхемы в пластмассовом корпусе с двумя рядами жестких выводов в плате необходимо просверлить два ряда отверстий. Шаг отверстий – 2,5 мм, расстояние между рядами кратно 2,5 мм. Следует заметить, что микросхемы с жесткими выводами требуют большей точности разметки и сверления отверстий.

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 проложена 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.

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.).

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 следует чередовать с «тонкими». Если нужно, расстояние между контактными площадками той или иной детали увеличивают.

В этой работе удобно использовать небольшую *пластину-шаблон* (рис. 3.1) из стеклотекстолита или другого материала, в которой с шагом 2,5 мм насверлены рядами отверстия диаметром 1–1,1 мм, и по ней планировать возможное взаимное расположение элементов.

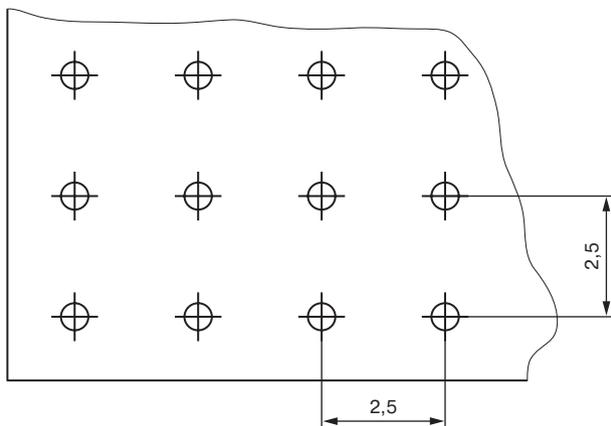


Рис. 3.1. Пластина-шаблон

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 перпендикулярно печатной плате, 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 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. 3.2 (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, припаиваемых на другой стороне платы). Такой вариант показан в верхней части рис. 3.2 (в центре). Вполне можно проложить проводник между контактной площадкой, центр которой лежит в 2,5 мм от края платы, и этим краем (рис. 3.2, справа).

При реализации печатной схемы часто появляется множество побочных эффектов, например, возникают помехи. Детали необходимо размещать так, чтобы они не имели между собой паразитных связей,

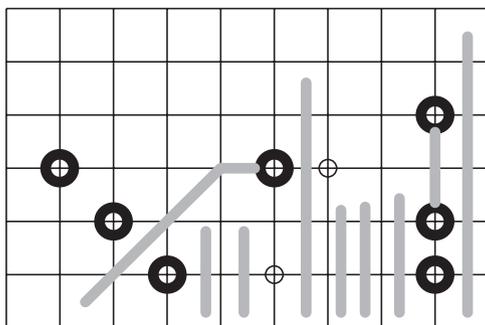


Рис. 3.2. Типичные варианты расположения контактных площадок, отверстий и проводников на печатных платах

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 образом можно избавиться и от других паразитных связей.

Не следует размещать рядом магнитную антенну, динамик и выходной трансформатор. Их магнитные поля могут оказать влияние друг на друга, 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. Во избежание этого необходимо обратить внимание на форму заземляющих проводников.

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.

Микросхемы, выводы которых расположены параллельно корпусу (серии 133, К134 и др.), можно смонтировать, предусмотрев соответствующие контактные площадки с шагом 1,25 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. 3.3); 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 пластмассовые, изгибая выводы и пропуская их в отверстия платы. Контактные площадки в этом случае располагают в шахматном порядке (рис. 3.4).

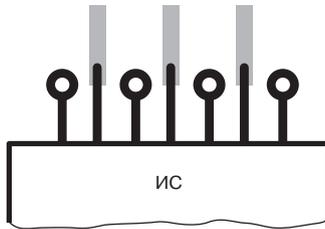


Рис. 3.3. Контактные площадки для микросхем в планарных корпусах

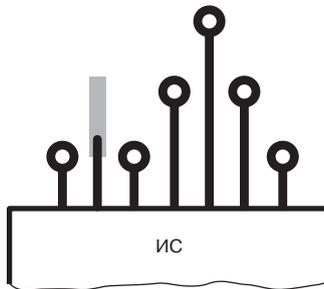


Рис. 3.4. Контактные площадки для микросхем с длинными выводами

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. Проводники 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 как для подсоединения к нему, так и исключения его из цепи.

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.

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.

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.

Приведенных выше рекомендаций вполне достаточно для проектирования простых радиолюбительских конструкций. Если же приступают к разработке достаточно сложных и ответственных устройств, необходимо учитывать множество других характеристик печатных плат. Это, к примеру, материал диэлектрика, способ крепления платы, ее резонансная частота, место установки (стационарно, переносное устройство, автомобиль), электрические параметры печатного монтажа и др. Однако рассмотрение этих вопросов выходит за рамки данного издания.

### **3.1.2. Использование ПК для проектирования печатных плат**

Радиолюбителям, знакомым с компьютерными технологиями, можно рекомендовать использование программного обеспечения из САПР P-CAD (для Windows ACCEL EDA), OrCAD (PCB Desing Studio), eProduct Designer (PowerPCB) и др. Программа ACCEL P-CAD PCB, например, значительно упрощает разработку топологии печатной платы, однако требует определенных навыков работы с ней. Использование таких программ оправдано только в том случае, если вам часто приходится создавать рисунки печатных плат или вы проектируете достаточно сложную цифровую схему. Не стоит тратить время на их изучение, если вам нужно сделать одну простую плату для стабилизатора напряжения.

Ознакомиться с подобными программами вы можете на специальных курсах или прочитав соответствующие пособия по работе с САПР.

## **3.2. НАНЕСЕНИЕ РИСУНКА НА ПЛАТУ**

### **3.2.1. Изготовление рисунка вручную**

Теперь можно приступить к изготовлению платы. Для этого из фольгированного стеклотекстолита следует вырезать заготовку печатной платы (ножовкой, резаком или ножницами по металлу) соответствующих размеров и разметить ее (с помощью измерительного циркуля

или штангенциркуля) сеткой с шагом 2,5 мм. Кстати, размеры платы удобно выбрать кратными 2,5 мм – в этом случае разметать ее можно с четырех сторон. Если на плате должны быть какие-либо вырезы, их делают после разметки. Двустороннюю плату размечают со стороны, где проводников больше.

К заготовке прикрепляется *рисунок* платы (липкой лентой или пластырем), по которому с помощью керна или шила намечаются отверстия для выводов радиоэлементов и крепления платы (рис. 3.5а). Для удобства дальнейшей работы эти точки на плате можно пометить фломастером. Если между рисунком и заготовкой поместить копировальную бумагу, то можно перенести на фольгу весь рисунок. Это особенно необходимо в том случае, когда топология печатной платы достаточно сложна.

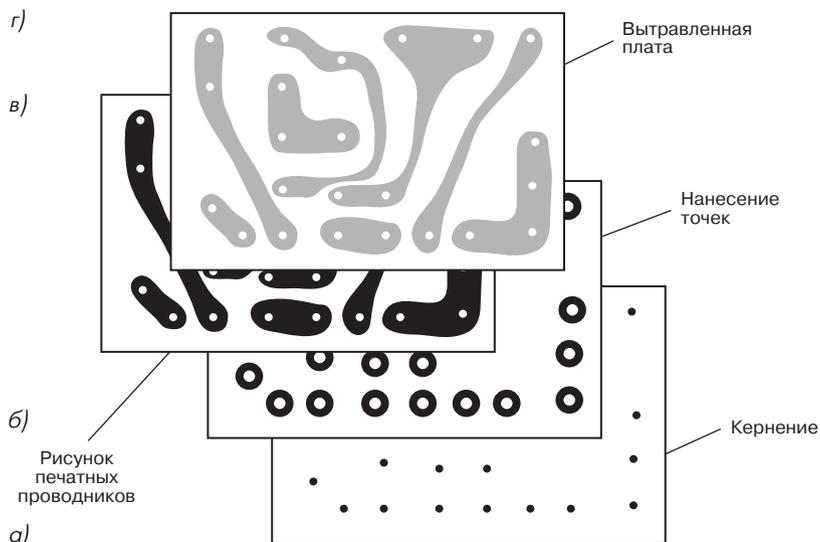


Рис. 3.5. Химический метод изготовления печатных плат

Сняв бумагу, сверлят *отверстия* диаметром 0,8–1,5 мм для радиоэлементов и 3–3,5 мм для крепления платы. Можно сверлить плату и по бумаге. Это несколько ускоряет изготовление, однако в случае необходимости рисунок будет трудно использовать во второй раз, не гарантируется также точность расположения отверстий и аккуратность исполнения.

Для сверления плат удобно пользоваться миниатюрной электродрелью. Окончив сверление, заусенцы с краев отверстий снимают сверлом большего диаметра, мелкозернистым бруском или мелкой наждачной шкуркой («нулевкой»).

Перед нанесением рисунка плату нужно обезжирить техническим спиртом или ацетоном, протерев поверхность смоченной салфеткой, подойдут и другие растворители, а также моющие растворы. После этого, ориентируясь на положение отверстий, на плату переносят рисунок печатных проводников в соответствии с чертежом.

Для нанесения рисунка можно воспользоваться двумя методами:

- рисуются проводники от отверстия к отверстию (рис. 3.6а) в соответствии с топологией;
- счищаются или протравливаются только узкие промежутки между токопроводящими дорожками (рис. 3.6б).

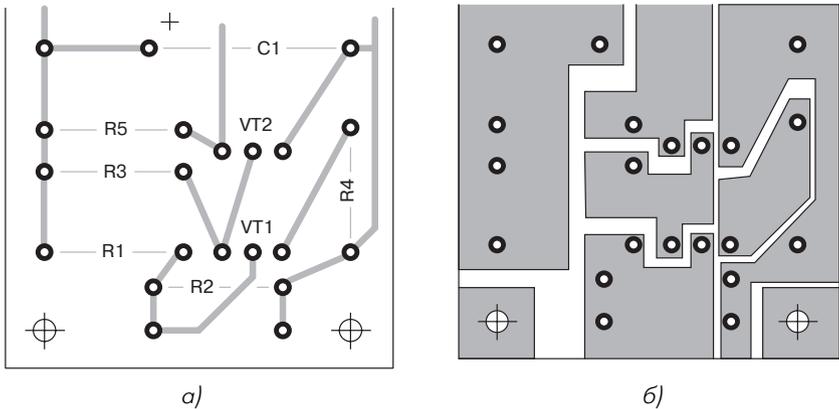


Рис. 3.6. Рисунок печатной платы

Нанесение рисунка первым методом занимает меньше времени, поэтому чаще используется именно он. Однако второй метод иногда необходим при изготовлении различных высокочастотных схем и схем с очень большой плотностью монтажа.

В первом случае для выполнения *рисунка проводников* применяют любой быстро сохнущий лак, например косметический для ногтей или мебельный (в лак можно добавить пасту шариковой авторучки, чтобы рисунок был хорошо виден на плате), а также нитрокраску.

Очень удобно рисовать печатные соединения тонким водостойким маркером, но для этого подходит не каждый маркер. Нужно заранее взять все имеющиеся маркеры, нарисовать ими полоски на ненужном куске стеклотекстолита и протравить в хлориде железа. Вам нужен маркер, которым будет нарисована оставшаяся после травления линия.

После нанесения рисунка, когда лак подсохнет, топологию проводников можно подретушировать и скорректировать, аккуратно соскоблив скальпелем лак с лишних участков. Очень удобен в работе простой чертежный инструмент, который можно изготовить самостоятельно (см. раздел 1.3.7).

Рисунок на плату можно наносить также тушью, нитрокраской, эмалью или битумным лаком, которые подсасывают через трубку, погрузив иглу от шприца в раствор краски или лака. Наружную поверхность иглы нужно обтереть и провести рисунок будущей печатной дорожки, пользуясь для этого линейкой с наклеенными кусочками резины, чтобы край линейки не касался фольги. Имея набор игл разного диаметра, можно наносить дорожки самой различной ширины вплоть до очень узких.

Консистенция краски или лака должна быть такой, чтобы рисунок не расплывался по фольге. Необходимую густоту краски определяют опытным путем по качеству проводимых линий. При необходимости ее разбавляют уксетом или растворителем 647. Если же надо сделать краску более густой, ее оставляют на некоторое время в открытой посуде.

Не всегда удобно рисовать шприцем. Для этих целей можно изготовить следующее приспособление. Берется мягкая пластиковая бутылочка, например, из-под клея. В ее крышку заделывается достаточно жесткая трубочка диаметром 3–4 мм и длиной 15–20 см, на ее конец надевается игла от шприца. Необходимо предварительно спилить иглу под прямым углом. Одной рукой следует давить на бутылку, второй – рисовать. Если ослабить давление на стенки бутылки, краска вытягивается в иглу, капель и клякс не бывает. Краска, эмаль ЭП52 (или аналогичная) разбавляется по мере надобности. Она дает очень плотный и ровный след и легко смывается (не растворяется, а именно снимается пленкой) при помощи спирта, уксетона или растворителя. После работы игла промывается и затыкается стальной проволочкой до следующего раза.

Для нанесения рисунка также используют стеклянные рейсфедеры разного диаметра, пишущие узлы от шариковых авторучек (удалив предварительно шарик иглой), кисточки, спички, перья и т.д.

В первую очередь рисуют контактные площадки (рис. 3.5б), а затем проводят соединения между ними, начиная с тех участков, где проводники расположены тесно (рис. 3.5в). После нанесения рисунка следует по возможности расширить проводники общего провода и питания, что уменьшит их сопротивление и индуктивность, а значит, обеспечит стабильность работы устройства. Целесообразно также увеличить контактные площадки, особенно те, к которым будут припаяны стойки и крупногабаритные детали. Для защиты от травильного раствора свободные участки фольги закрашивают или заклеивают любой липкой пленкой.

В случае *ошибки* при нанесении рисунка не торопитесь сразу же исправлять ее – лучше поверх неверно намеченного проводника положить правильный, а лишнюю краску удалить при окончательном исправлении рисунка (это необходимо сделать, пока краска не засохла). Острым скальпелем или бритвой плату ретушируют, то есть прорезают удаляемый участок по границам, после чего его выскребают (рис. 3.5г).

Специально сушить нитрокраску после нанесения рисунка не нужно. Пока вы исправляете плату, отмываете инструмент, краска высохнет. Канал иглы чистят от краски при помощи отрезка тонкой стальной проволоки или промывают ацетоном. Внутри иглы вставляют мандрен (проволочку, препятствующую засорению).

При единичном изготовлении небольших печатных плат удобно пользоваться рамкой, которую можно вырезать или склеить из толстого картона. Толщина рамки должна быть на 1–1,5 мм больше толщины заготовки платы.

Заготовку помещают в окно рамки, лежащей на столе, и по линейке отмечают расположение проводников. Рамка позволяет наносить новые линии, не дожидаясь высыхания краски на только что проведенных. Заготовку целесообразно зафиксировать в рамке.

Для нанесения рисунка хорошо подходит лак на основе клея ПВА. Состав представляет собой смесь трех объемных частей клея ПВА и одной части водорастворимой туши. Готовить его надо на один раз, так как долго он не хранится. Загустевший состав разбавляют водой.

Рисунок можно выполнять обычными перьями, а широкие линии – плакатными. Травят плату после полного высыхания лака около четырех часов при температуре 50–60 °С. За это время красящий состав набухает и легко смывается лоскутом ткани под струей воды. Качество дорожек – очень хорошее, боковое подтравливание отсутствует.

Вместо краски можно использовать изоляционную ленту ПВХ, полоски и кружки которой наклеивают на фольгу в соответствии с рисунком печатного монтажа. Кружки и полоски заготавливают следующим образом. На мотке изолянты делают надрезы глубиной 1,5–2 мм (рис. 3.7а), отделяют от круга несколько слоев ленты и острым ножом по линейке вырезают полоски, а высечкой вырезают кружки. Ширина полосок и диаметр кружков зависят от чертежа печатного монтажа (обычно полоски имеют ширину 1–2 мм, а диаметр кружков – 2,5–3 мм).

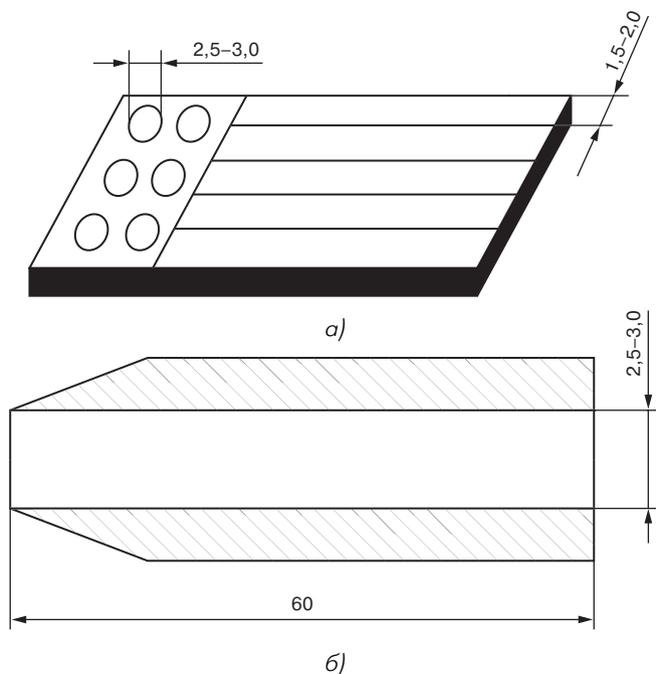


Рис. 3.7. Заготовка кружков (а) и полосок (б) из изолянты

Высечку лучше всего выточить из стали и закалить (рис. 3.7б). После вырубki получается стопка лежащих друг на друге кружков. Вырезав детали из изоленты, приступают к изготовлению печатной платы.

Пластину из фольгированного стеклотекстолита готовят, как было описано в самом начале раздела. Далее из стопки кружков при помощи скальпеля и пинцета отделяют один кружок и наклеивают его на точку размещения отверстий, строго следя за центровкой.

Закончив наклеивать кружки, липкими полосками соединяют между собой контактные площадки (кружки) согласно чертежу печатной платы. При этом надо придерживаться следующих правил: не касаться руками клеящей поверхности полоски; при наклейке не растягивать ленту, а укладывать ее без дополнительных усилий; проводники изгибать с возможно большим радиусом; соединять полоски с кружками так, как показано на рис. 3.8а, то есть встык, и закрашивать промежуток между кружком и полоской краской или лаком. Если же соединять заготовки внакладку (рис. 3.8б), что кажется более простым, то при травлении раствор попадет между полоской и кружком, концы полосок подтравятся и будут выглядеть, как на рис. 3.8б (внизу). Следовательно, такое соединение все равно требует закраски мест стыка кружка и полоски. Затем плату травят, промывают и сушат.

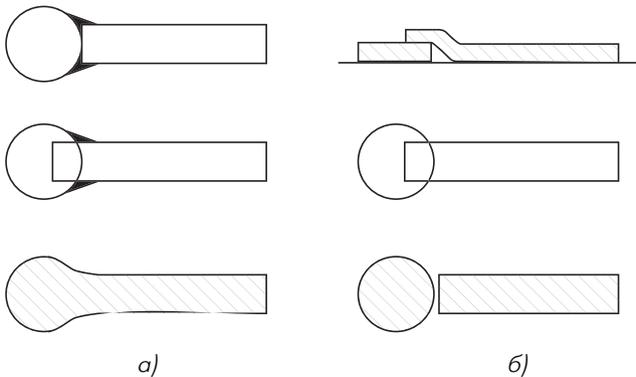


Рис. 3.8. Выполнение рисунка печатного монтажа лентой ПВХ

Самый простой и быстрый вариант, но возможно не самый лучший, – это покрытие платы, на которую предварительно нанесен рисунок, скотчем (не все виды подходят!). Потом по рисунку дорожек проводят либо острым ножом, либо горячим выжигателем с острым нагревательным элементом (так работать намного удобнее). Затем ненужные участки удаляются, а плату травят. После травления слой скотча снимается, и плата готова!

Второй метод изготовления печатного монтажа используют, если на плате необходимо оставить почти всю фольгу, убрав лишь узкие промежутки между контактными площадками (см. рис. 3.6б). В этом случае традиционная технология становится слишком трудоемкой – ведь надо покрыть лаком всю поверхность платы и после высыхания счистить лишние участки лака при помощи скальпеля и линейки, оставшаяся закрашенными только токопроводящие поверхности.

Но есть другой, более удобный прием. На предварительно обезжиренной поверхности заготовки (фольге) рейсфедером, ручкой или другим инструментом рисуют все линии, которые надо стравить. В качестве краски используют тушь, в которой растворен сахар в соотношении 1:1. Когда тушь просохнет, всю поверхность платы покрывают асфальтобитумным лаком. После высыхания лака заготовку кладут в теплую (но не горячую) воду. Через некоторое время тушь разбухает и прорывает лак. Ватным тампоном аккуратно удаляют лак и остатки туши. После этого травят плату обычным способом.

Описанный прием удобен при формировании на плате плоских катушек индуктивности, различных надписей, видимых на просвет, и т.д. На практике удается получить протравленные промежутки шириной около 0,1 мм. Для этого толщина лакового слоя должна быть очень небольшой – по цвету покрытая лаком плата должна быть похожа на слабый чай.

В заключение отметим, что существует способ изготовления печатной платы без использования химических реактивов. При этом зазоры между контактными дорожками выполняются резакром при помощи металлической линейки, но этот метод требует больше сил и определенных навыков, так как резакром может соскочить и испортить нужные участки фольги. Часть фольги в этом случае механически удаляется, образуя изолирующие дорожки. Необходимо знать, что такой способ достаточно трудоемок и при изготовлении печатной платы сложной топологии не применяется. Его используют очень редко, в основном когда нужно быстро сделать небольшую плату с простой топологией, а хлорида железа нет под руками (подробнее см. раздел 3.4).

### 3.2.2. Нанесение рисунка с помощью лазерного принтера

*Первый метод.* Для нанесения рисунка необходимо следующее:

- фольга алюминиевая, обязательно тонкая. Покупается в хозяйственном магазине. Одна сторона должна быть зеркальной, а вторая – матовой. Чтобы понять, подходит ли фольга для этого способа нанесения рисунка, можно провести маленький тест. Если отрезать полоску такой фольги размером 1×10 см и пытаться удерживать ее горизонтально за один конец, то полоска будет гнуться под собственным весом. Если фольга толстая, гнуться она не будет. В новой упаковке тонкая фольга обычно имеет зубчатый край листа, а рулон запаян в прозрачную пленку;
- принтер лазерный. Пойдет любой, но лучше, чтобы он пропускал бумагу с наименьшим изгибом. Можно использовать нижний лоток. Необходимо отключить экономичный режим, чтобы принтер делал рисунок темнее, то есть расходовал больше тонера;
- утюг электрический. Терморегулятор устанавливается на одну точку (синтетика). Нужную температуру определяют экспериментально: утюг должен расплавлять изображение, сделанное лазерным принтером, не сразу. То есть тонер при такой температуре должен стать из твердого вязким, но не жидким;
- самоклеющаяся бумага для лазерной печати;
- лист резины. Резина должна быть как можно более гладкая, лучше мягкая, толщиной 5 мм.

Возьмите лист обычной бумаги, на которой печатает *принтер*. Наложите на него кусок фольги чуть меньшего размера, матовой стороной вверх, и осторожно, но ровно скрепите его по короткой стороне полосками из самоклеющейся бумаги. Скотчем клеить нельзя, потому что в принтере есть нагреватель, на котором скотч и останется. Клейкая поверхность не должна, естественно, заходить за края бумаги. Теперь направьте эту «конструкцию» в принтер таким образом, чтобы приклеенный край фольги при печати шел первым. Заставить принтер протащить этот «фольгированный» лист нетрудно – напечатайте текстовый файл, состоящий из одного пробела. Испортить принтер фольгой очень нелегко. А забить его фольгой можно точно так же, как и бумагой. Фольга должна быть приклеена прочно, ровно, чтоб не образовывалось складок. Разрывов по краям также не должно быть. Вышедший из принтера лист фольги имеет явные полосы от колесиков, которыми устройство протаскивает бумагу. Запомните,

где расположены полосы, эти места будут нерабочими, так как на них не удастся сделать точный рисунок.

Теперь нужен собственно рисунок будущей платы. Формат изображения практически не имеет значения. Если рисунок растровый, то возникнут проблемы с точными размерами, будут видны пиксели и т.п., но в принципе можно использовать и его. С векторными же форматами (.wmf, например) трудности могут возникнуть только при установке масштаба. Очень легко чертить и задавать точные размеры в AutoCAD. Невытравливаемые места (дорожки) должны быть черными. Не забудьте о том, что рисунок на плате будет зеркальным по отношению к чертежу. Плата должна быть обведена дорожкой шириной 2 мм, по которой удобно будет потом обрезать.

Возможно, проще всего нарисовать плату на листе бумаги А4 в масштабе 1:1 и отсканировать, чтобы затем напечатать. Следите, чтобы рисунок был в масштабе и на нужном месте листа. Сделайте еще одну «конструкцию» из листа бумаги, фольги и липкой полоски, но отрезок фольги возьмите небольшой, так как теперь известно, где будет располагаться рисунок. Используйте только чистую бумагу, иначе фольга может приклеиться к листу. Напечатайте рисунок платы и внимательно его рассмотрите. Наверняка где-то получился брак из-за неровностей фольги, попавшей соринки и т.п. В таком случае лучше напечатать все еще раз, на новом куске фольги. Если весь рисунок уехал и растянулся, значит, вы напечатали его не на матовой, а на гладкой стороне фольги. Когда все получится правильно и качественно, осторожно отрежьте фольгу от бумаги.

Теперь положите на какую-нибудь теплостойкую поверхность лист резины, на него фольгу рисунком вверх, и накройте куском тщательно очищенного фольгированного стеклотекстолита, медной фольгой вниз. Сверху поставьте горячий утюг, и прижмите его чем-нибудь тяжелым (16 кг). Через 5 минут аккуратно снимите утюг, а на его место поставьте что-нибудь холодное и тяжелое с ровной нижней поверхностью. Минут через десять конструкция окончательно остынет. Теперь нужно протравить стеклотекстолит с прилипшей к нему фольгой. Тонкая алюминиевая фольга стравливается в хлориде железа очень быстро, оставляя, правда, какие-то частички, которые мешают нормально травиться меди. Поэтому плату нужно промыть водой, заодно можно посмотреть на качество получившегося рисунка, и если нужно, подретушировать. Если дорожки смазанные, значит, вы неаккуратно снимали утюг или ставили холодный груз.

Если дорожки где-то отсутствуют, то утюг был недостаточно горячим или выделяющийся при травлении алюминия газ сорвал алюминий вместе с краской. Если дорожки стали широкими, значит, утюг перегрелся или вы очень долго грели плату.

После травления у вас получится односторонняя плата. Синхронизировать рисунок на обратной стороне платы достаточно трудно. Проще сделать две платы, и склеить обратными сторонами. Достигается точность в 0,3 мм. Дорожки или пробелы между ними менее 0,3 мм получаются с трудом.

*Второй метод.* В качестве носителя используется восковая бумага-подложка от декоративных самоклеящихся пленок. Используя лазерный принтер, напечатайте рисунок на блестящем слое. Если плата двусторонняя, обе стороны должны быть на одном листе во избежание сильного рассогласования из-за разной термоусадки бумаги. Кстати, если перед печатью ее прогнать через принтер, то этот недостаток не будет заметен.

Обезжиренную плату положите медной фольгой вверх на ровную поверхность, а сверху – бумагу отпечатком вниз. Прижмите все это утюгом, разогретым до температуры глажения крепдешина, сначала через тонкую сухую хлопковую материю, а потом уже как можно аккуратнее приглаживайте бумагу до полного приставания тонера к плате. Когда плата остынет, ее нужно опустить в воду, нагретую до 40°С, подержать там пару минут, пока бумага не размокнет так, чтобы ее легко было удалить. Если плата двусторонняя, то сначала нужно на просвет совместить обе бумажки и сделать два технологических отверстия. Первую сторону платы «прогладить» как обычно, потом просверлить тонким сверлом по технологическим отверстиям, и с другой стороны по ним на просвет совместить с другой бумажкой, которую можно зафиксировать, а потом так же «пригладить», как и первую. Естественно, размачивать плату нужно тогда, когда обе стороны уже приглажены. Отслоения дорожек не будет. После травления нужно просверлить отверстия. Сверлить будет гораздо удобнее, если первоначально настроить программу OTCad таким образом, чтобы при печати внутри площадок оставались незакрашенные точки, которые с успехом заменяют кернение. Вместо бумаги можно использовать *фторопластовую пленку*.

*Третий метод.* Используя лазерный принтер, на тонкой мелованной бумаге напечатайте зеркально перевернутый рисунок платы. При печати надо установить плотность тонера на максимум, его слой при этом

должен легко прощупываться пальцем. Можно взять тонкие мелованные листы из иллюстрированных журналов, типографская краска не помешает. Обычная бумага для этого способа не подходит.

Стеклотекстолит вырезается под размер платы с полями минимум по сантиметру с каждой стороны и зачищается мелкой шкуркой круговыми движениями. Главная задача – покрыть всю поверхность меди микроцарапинами, чтобы она выглядела матовой. Плату нужно тщательно обезжирить очищенным бензином или ацетоном, а также удалить всю пыль, даже из царапин. Стеклотекстолит следует положить медной фольгой на тонер, бумагу обернуть вокруг платы и зафиксировать (чтобы не съехала при нагревании). Иногда полезно обернуть полученный «бутерброд» еще одним листом писчей бумаги, чтобы бумага с тонером не «поехала» под утюгом. На плату ставится горячий утюг (регулятор установлен на «лен») на 20–30 с, чтобы стеклотекстолит прогрелся. Потом ребром утюга с умеренным нажимом (в этом надо набить руку) несколько раз тщательно нужно прогладить всю поверхность. Если слишком сильно надавить утюгом, тонер растечется и рисунок получится размазанным, если недожать – тонер может не прилипнуть.

Как только плата остыла, положите ее в теплую воду на 20–30 мин, после чего размокшая бумага легко удаляется, оставляя тонер на плате, а меловой слой с бумаги – на тонере. Если бумага раскисла и оставила лохмотья, их можно скатать подушечкой пальца под водой. Также бумагу можно удалить при помощи серной кислоты, но при этом необходимо соблюдать особую осторожность.

Если тонер легко соскребается ногтем, значит, утюг был плохо прогрет или вы недостаточно на него нажимали при проглаживании. Меловой слой на поверхности тонера играет роль дополнительной маски, которая закрывает поры в тонере. Бумагу нужно удалить полностью, иначе она будет закрывать отверстия под последующее сверление. Сушится плата без нагрева, поскольку тонер может отвалиться, если мокрую плату сушить под лампой или на батарее. Непропечатанные дорожки подрисовываются несмываемым маркером или тушью. Если меловой слой где-то прикрыв отверстия (на сухой плате это хорошо видно), можно его аккуратно убрать иголкой.

Плата травится в подогретом растворе хлорида железа. Раствор должен быть концентрированным. Добиваться температуры выше 50 °С не нужно, уже при 40 °С на травление уходит всего несколько минут, а при более горячем растворе тонер может поплыть. Тереть

плату ватным тампоном также нежелательно, лучше покачивать, но при этом надо следить, чтобы не было воздушных пузырьков на поверхности платы. После травления тонер удаляется (можно использовать растворитель, жидкость для снятия косметического лака или аэрозоль Flux-Off). Дорожки менее 0,5 мм могут не отпечататься, лучше придерживать ширины 0,8 мм.

### 3.2.3. Рисование печатных плат с помощью плоттера

Для рисования можно использовать *плоттерный рапидограф* 0,3 мм на скорости примерно 5–7 см/сек. В качестве чернил лучше всего взять насыщенную спиртоканифоль. Чертежный узел плоттера необходимо избавить от пружины прижима, но при этом утяжелить, иначе процарапаются ранее нарисованные дорожки. Сначала плату следует обезжирить ацетоном, а потом спиртом. Наждачную шкурку лучше не применять. После нанесения рисунка надо дать плате просохнуть в течение одного часа. Для ускорения сушки можно использовать фен. Травить надо в вертикальной кювете 3×40×40 см горячим (около 50 °С) раствором хлорида железа. По дну кюветы проводится пластиковая трубка с несколькими мелкими отверстиями (можно использовать аквариумный компрессор). В нее подается воздух для перемешивания раствора. Время травления составляет 5–7 мин. Замечено, что чем тоньше фольга на плате и чем концентрированнее раствор, тем лучше результат. Применение импортного стеклотекстолита предпочтительнее. Данный способ позволяет достичь разрешения выше 0,3 мм.

### 3.2.4. Использование фоторезиста

При изготовлении печатных плат, как промышленном, так и самостоятельном, часто применяются светочувствительные лаки. Одним из лучших является *лак-фоторезист POSITIV-20* фирмы КОНТАКТ СЕМІЕ. Он прост в употреблении, легко удаляется, высокочувствительный и относительно недорогой.

При работе с этим лаком изображение экспонируется с фотоплафона-позитива напрямую, без изготовления промежуточных негативов. Аэрозольной упаковки в 200 мл достаточно для покрытия 4 м<sup>2</sup> медной фольги.

Рассмотрим основные этапы изготовления печатной платы. Поверхность фольги, на которую будет нанесен фоторезист, должна быть абсолютно чистой и обезжиренной. После удаления окислов и загрязнений

медь приобретает яркий розовый цвет. Затем заготовка платы промывается в большом количестве воды для удаления остатков моющего состава и абразивных частиц. В дальнейшем рабочая поверхность заготовки уже не должна контактировать с другими растворителями (ацетон, спирт), ее нельзя касаться руками.

После промывки плата сушится теплым воздухом при помощи фена. Наносить лак нужно сразу после сушки, чтобы на фольге не успела образоваться оксидная пленка. POSITIV 20 не обязательно наносить в полной темноте – в жидком состоянии фоторезист малочувствителен к свету. Работу можно проводить при слабом освещении, исключая прямое попадание на поверхность заготовки солнечных лучей или яркого света. Важно также, чтобы на месте работы не было сквозняков и пыли.

Наносится *фоторезист* при комнатной температуре. Заготовка платы размещается на горизонтальной поверхности, лак распыляется из аэрозольной упаковки с расстояния примерно 20 см. Чтобы создать равномерное покрытие, распылять состав нужно непрерывными зигзагообразными движениями, начиная с верхнего левого угла. Не следует наносить слишком много аэрозоля, так как это приводит к образованию подтеков и неодинаковой толщине слоя. А это потребует увеличения экспозиции.

Допустимо распылять аэрозоль с меньшего расстояния, это позволит сэкономить некоторое количество фоторезиста.

Толщину полученного слоя можно приблизительно оценить по его цвету – светлый оттенок стального цвета соответствует толщине 1–3 мкм, темный оттенок – 3–6 мкм, синий цвет – 6–8 мкм и темно-синий – более 8 мкм. На светлой меди цвет покрытия может иметь зеленоватый оттенок.

После распыления фоторезиста заготовка платы должна быть немедленно помещена для сушки в темное место. По мере просыхания фотолака степень светочувствительности покрытия, особенно к ультрафиолетовым лучам, возрастает. При комнатной температуре фотолак сохнет не менее 24 ч. Для ускорения процесса можно использовать сушильный шкаф или термостат, но при этом необходимо убедиться в отсутствии подсветки снаружи и от нагревательного элемента. Поднимать температуру следует медленно. При 70 °С для сушки достаточно 20 мин. Нагревание заготовки выше 70 °С недопустимо, так как может привести к порче фотослоя. Запас высушенных заготовок плат до экспонирования нужно хранить в темном, сухом и прохладном месте.

Оригинал изображения печатных проводников, используемый для переноса на фольгу, должен быть тщательно подготовлен и отретуширован, иначе все его недостатки отразятся на качестве копии. Важно, чтобы рисунок был контрастен, а темные участки полностью непрозрачны. Нельзя гнуть и складывать оригинал. Основа фотошаблона – пленка или бумага – должна пропускать ультрафиолетовые лучи, а краска – нет.

В некоторых журналах предлагаются чертежи печатных плат, специально предназначенные для описываемой технологии – обратная сторона таких чертежей оставлена чистой. После обработки страницы специальным аэрозолем TRANSPARENT 21 бумага становится прозрачной для ультрафиолетовых лучей, то есть пригодной для прямого копирования чертежа непосредственно со страницы на заготовку платы. Аэрозоль избавляет от утомительного копирования чертежей плат.

Полученный *фотошаблон* плотно прижимают к слою фоторезиста заготовки и интенсивно освещают. Время экспонирования зависит от толщины слоя фоторезиста на заготовке и силы света. Поскольку лак POSITIVE 20 чувствителен к ультрафиолетовым лучам, для экспонирования необходимо использовать ртутные или кварцевые лампы мощностью 300 Вт. Однако удовлетворительные результаты дает и обыкновенная лампа накаливания мощностью 200 Вт при расстоянии до платы примерно 12 см. До начала засветки лампа прогревается в течение 2–3 мин.

Время экспозиции ртутной лампой с расстояния 25–30 см обычно не превышает 1–2 мин. Разумеется, можно использовать и яркий солнечный свет, богатый ультрафиолетом (время экспозиции 5–10 мин). Прижимать фотошаблон к заготовке лучше листом органического стекла, так как обычное стекло поглощает до 65% ультрафиолета, что потребует соответствующего увеличения времени экспонирования.

Экспонированные заготовки можно *проявлять* при рассеянном дневном свете. Состав проявителя: 7 г порошковой каустической соды NaOH (можно и гидрооксид калия KOH) на один литр холодной воды. Заготовку следует поместить в сосуд с проявителем, причем раствор периодически помешивать. Для правильно экспонированного слоя фоторезиста толщиной 4–6 мкм время проявления в свежем растворе обычно не превышает 0,5–1 мин, максимальное – 2 мин. Температура проявителя должна быть в пределах 20–25 °С.

Проявитель полностью удаляет с заготовки фоторезист с засвеченных участков покрытия. Не следует держать заготовку в растворе

дольше, чем нужно для проявления, иначе он начнет действовать и на незасвеченные участки. Если время экспонирования превысило допустимое или использовались прозрачные для ультрафиолета чернила, изображение токопроводящих дорожек появится на некоторое время, но затем будет удалено проявителем.

После извлечения заготовки из раствора необходимо тщательно промыть ее в проточной холодной воде. Не забудьте после работы тщательно вымыть руки.

Далее плата травится обычным способом. Слой лака-фоторезиста устойчив к кислотным растворам, содержащим хлорид железа (III)  $\text{FeCl}_3$ , персульфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ , соляную  $\text{HCl}$  и фтороводородную  $\text{HF}$  кислоты.

После окончания травления заготовка платы промывается мыльным раствором и очищается от остатков фоторезиста тканью, пропитанной любым органическим растворителем, например, ацетоном.

### 3.2.5. Изготовление печатных плат методом сеткографии

Для изготовления небольшой партии печатных плат в домашних условиях или ремонтных мастерских можно использовать метод *сеткографии*. Основным материалом служит ровная и прозрачная капроновая ткань (можно использовать кусок капронового чулка). Ткань следует обезжирить в содовом растворе, промыть, просушить и ровно натянуть на рамку из фанеры или органического стекла.

В темном помещении нужно изготовить светочувствительный состав: 8 г желатина залить 50 мл теплой воды и оставить набухать на 2–3 ч. Затем в водяной бане при температуре  $40^\circ\text{C}$  распустить желатин до однородной сиропообразной массы.

Отдельно в 50 мл воды растворить 4 г дихромата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , и полученный раствор влить в желатиновый сироп. После тщательного размешивания к образовавшейся массе добавить 15–20 капель 25-процентного раствора аммиака и 10 мл спирта-ректификата. Полученную эмульсию отстаивать в полной темноте 24 ч, а затем осторожно слить, оставляя на дне образовавшийся осадок.

На капроновую ткань эмульсию следует наносить в два слоя мягкой широкой кистью. Первый слой – вдоль одних волокон ткани, второй – вдоль других, перпендикулярных первым. Время высыхания первого слоя эмульсии 10 мин, второго – 12 ч. Оставшуюся эмульсию можно хранить в темноте до 10 дней и использовать для других целей.

Копирование производится с позитива контактным способом. Выдержка при экспонировании двумя электрическими лампами по 150 Вт с расстояния 50 см составляет 10–15 мин.

Рисунок нужно проявить в теплой воде при температуре 40 °С, покачивая сосуд. Во время проявления участки эмульсии, не освещенные при экспонировании, растворятся в воде. Затем рамку переносят в *дубящий раствор* (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Рецепт дубящего раствора

Состав	Количество, г/л
Квасцы хромовые $K_2SO_4 \cdot Cr_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$	20
Двуххромовокислый калий $K_2Cr_2O_7$	50
Спирт этиловый $C_2H_5OH$	20

Дубящий раствор готовят на дистиллированной воде (можно использовать конденсат из бытового холодильника). В этом растворе рамку выдерживают 2–3 мин, затем ополаскивают, опускают на 1–2 с в 1-процентный раствор метилвиолета и промывают. Время просыхания рисунка после обработки около 1 ч.

Поверхность фольгированного стеклотекстолита для печатной платы зашкуривают и обезжиривают. Рамку с рисунком плотно накладывают на фольгированный гетинакс и резиновым шпателем (ракелем) или кистью с коротким волосом средней жесткости сквозь сетку продавливают специальную краску (табл. 3.3). Рамку с сеткой осторожно снимают, и на фольге остается четкий рисунок будущего печатного монтажа, который припудривают тальком.

Таблица 3.3. Рецепт краски

Состав	Количество, %
Литопонная краска	75
Типографские белила (прозрачные)	20
Ультрамарин	5

Если нет возможности приготовить специальную краску, допускается использовать вязкий кислотоупорный лак (асфальтовый, асфальтобитумный и др.). Вязкость лака можно повысить, оставив его на 1–2 суток в широкой открытой посуде.

После высыхания краски плату травят в растворе хлорида железа (III). Сетку с рисунком промывают в керосине, протирают мягкой ветошью и сушат. Сетку хранят в закрытой коробке.

### 3.3. ХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

#### 3.3.1. Основной раствор для травления

Основным материалом для травления фольгированных печатных плат является раствор хлорида железа (III)  $\text{FeCl}_3$  с концентрацией 20–50%. Для его получения нужно насыпать в литровую банку 500 г порошка хлорида железа и залить теплой кипяченой водой до 1 л. Раствор хранят в обычной литровой стеклянной банке, а перед травлением подогревают до 45–60°C, поставив банку в горячую воду.

Платы размером до 130×65 мм удобно травить в этой же банке, подвесив их на медном обмоточном проводе диаметром 0,5–0,6 мм. Платы больших размеров травятся в пластмассовой или стеклянной посуде, например, фотографической кювете. Для этого в угловые крепежные отверстия платы вставляют обломки спичек, обеспечивающие зазор 5–10 мм между платой и дном кюветы. Продолжительность травления составляет 10–60 мин и зависит от температуры, концентрации раствора, толщины медной фольги. Чтобы процесс проходил интенсивнее, раствор перемешивают, покачивая банку или кювету. Поскольку жидкость быстро остывает, банку лучше поставить в другой сосуд больших габаритов с горячей водой. Воду желательно периодически подогревать или заменять более горячей.

При травлении образуются ядовитые испарения, поэтому работать следует либо в хорошо проветриваемом помещении, под вытяжкой, либо на открытом воздухе. Периодически проверяйте состояние платы, приподнимая ее для осмотра деревянными или пластмассовыми палочками, металлические инструменты и приспособления применять нельзя.

Убедившись в том, что фольга в незащищенных местах исчезла полностью, процесс травления прекращают. Далее плату переносят под струю проточной воды, тщательно промывают и сушат при комнатной температуре.

---

**Совет** *Если вы собираетесь использовать раствор повторно, слейте его в плотно закрывающуюся посуду и храните в прохладном темном месте. Но учтите, что при повторном использовании эффективность раствора снижается.*

---

Протравленную плату тщательно отмывают от следов хлорида железа под струей горячей воды, скребком очищая ее от рисунка, сделанного нитроокраской. Затем плату сушат и рассверливают. Отверстия, в том числе и не имеющие контактной площадки, при необходимости раззенковывают. Плату зачищают мелкозернистой наждачной бумагой, протирают салфеткой, смоченной спиртом или ацетоном, а затем покрывают канифольным лаком (раствор канифоли в спирте).

Раствор хлорида железа можно изготовить самостоятельно, обработав железные опилки соляной кислотой. Для этого 25 весовых частей 10-процентной соляной кислоты  $\text{HCl}$  смешивают с одной весовой частью железных опилок. По окончании реакции получается светло-зеленый раствор, который, постояв еще несколько дней, становится желто-бурым. Смесь в плотно закрытой посуде выдерживается 5 суток в темном месте, после чего ее можно использовать. Переливая раствор в сосуд для травления, не взбалтывайте его, осадок должен остаться в той посуде, в которой раствор готовился.

Приготовить хлорид железа можно и посредством сложной химической реакции. Порошок железного купороса ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) необходимо высыпать в фарфоровый тигель и прокалить на огне. Вода испаряется и остается белая масса безводной соли сульфата железа  $\text{FeSO}_4$ . При дальнейшем нагревании (при температуре более  $480^\circ\text{C}$ ) масса разлагается с выделением газообразных оксидов серы  $\text{SO}_3$ , которые образуют в воздухе пары серной кислоты. Поэтому подобную работу надо проводить под хорошей вытяжкой или на открытом воздухе. В процессе прокаливания необходимо дробить спекающуюся массу. Через некоторое время она превращается в тонкодисперсный порошок ржавчины довольно высокой чистоты. Хранить порошок следует в герметичной посуде, так как он очень гигроскопичен и из-за этого могут образовываться комки. Обработывая ржавчину соляной кислотой, получают хлорид железа.

Еще один доступный способ изготовления хлорида железа не требует дефицитных компонентов, но сам процесс занимает довольно много времени. Для этого необходимо взять только порошкообразный железный купорос и аптечный водный 10-процентный раствор хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$ .

Сначала нужно повысить концентрацию раствора. Содержимое нескольких пузырьков хлорида кальция выливают в широкую эмалированную или стеклянную посуду, которую ставят на несколько дней в теплое место. Как только часть воды испарится и начнется выпадение

бесцветных кристаллов, раствор готов. Если при интенсивном перемешивании выпавшие кристаллы снова не растворятся, следует добавить немного воды.

В другом сосуде растворяют железный купорос, постепенно доводя его концентрацию до максимальной. После чего примерно равные объемы обоих растворов сливают, постоянно перемешивая. Выпавший белый осадок гипса отфильтровывают и удаляют. В результате получается светло-зеленый раствор хлорида железа (II)  $\text{FeCl}_2$ , который оставляют в широкой открытой посуде на 5–10 дней. В результате окисления кислородом хлорид железа (II) превращается в хлорид железа (III)  $\text{FeCl}_3$ . Признаком готовности раствора является изменение цвета от светло-зеленого к желто-бурому.

---

**Совет** *Не допускайте попадания раствора хлорида железа на открытые части тела, а также на поверхность ванны и раковин, поскольку на последних могут остаться трудно смываемые желтые пятна.*

---

### 3.3.2. Восстановление раствора хлорида железа

Раствор хлорида железа можно использовать в течение нескольких лет. Однако в процессе травления печатных плат раствор постепенно теряет активность, и скорость травления уменьшается. Это объясняется тем, что раствор насыщается ионами меди  $\text{Cu}^{2+}$ . Обычно его выливают. Однако активность можно *восстановить* простым способом. Существует способ регенерации хлорида железа из отработанных растворов, что позволяет использовать состав многократно. Принцип *регенерации* состоит в извлечении из отработанного раствора металлической меди  $\text{Cu}^0$ . Для этого можно задействовать стеклянную банку емкостью 0,5–0,8 л с полиэтиленовой крышкой. В крышке делают множество отверстий, в которые вставляют стальные гвозди такой длины, чтобы они доставали до дна банки. Расстояние между отверстиями и их диаметр зависят от диаметра гвоздей.

Отработанный раствор хлорида железа наливают в банку, закрывают ее крышкой с гвоздями и оставляют примерно на сутки. Через некоторое время излишек меди из раствора осядет на поверхности гвоздей и на дне сосуда. После этого раствор сливают в другую посуду, удаляют медь из банки, очищают гвозди, а затем помещают их в ванну и заливают этим же раствором. Так поступают несколько раз до полного извлечения меди из раствора. В результате выделяющаяся

медь осаждается на поверхности гвоздей. Таким образом, удастся значительно продлить «жизнь» раствора хлорида железа.

Дополнительно *активизировать* полученный раствор хлорида железа можно следующим образом. В небольшом количестве воды растворяют одну таблетку гидроперита (концентрат пероксида водорода  $H_2O_2$ , продается в аптеках) и вливают в раствор хлорида железа, после чего банку вновь закрывают крышкой с чистыми, не покрытыми медью гвоздями. Под воздействием пероксида (перекиси) водорода двухвалентное железо окисляется до трехвалентного, которое переходит в раствор, а на гвоздях дополнительно оседает медь.

---

**Совет** *Омедненные гвозди можно использовать по их прямому назначению: покрытие предохранит их от коррозии.*

---

Регенерировать отработанный раствор хлорида железа можно и *электролитическим* способом. Хорошо отстоявшийся раствор осторожно сливают в новую посуду, отделяя от выпавшего осадка. Затем в сосуд устанавливают два электрода произвольной формы – медный анод и железный катод. Электроды подключают к источнику напряжения, регулируемого в пределах 9–15 В. Ток устанавливают таким, чтобы на аноде интенсивно выделялась медь, катод при этом будет разрушаться, насыщая раствор ионами железа.

Когда выделение меди на аноде замедлится, процесс можно остановить. Окончание регенерации раствора можно также определить по результату простого опыта: в сосуд с раствором на короткое время (около 20 с) помещают железный предмет, например обычный гвоздь. Если на нем осела медь, то процесс восстановления следует продлить.

Для компенсации недостатка хлора в раствор добавляют поваренную соль, четыре столовых ложки на литр. После этого он снова готов к использованию. Качество восстановленного раствора проверяют пробным травлением небольшого образца фольгированного текстолита.

### 3.3.3. Другие растворы для травления

1. Растворы для травления плат можно приготовить не только на основе хлорида железа. Для многих радиолюбителей более доступен водный раствор медного купороса  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  и поваренной соли  $NaCl$ . Приготовить его нетрудно – растворите в 500 мл горячей воды (около  $80^\circ C$ ) 4 столовые ложки поваренной соли и 2 столовые ложки растолченного в порошок медного купороса. Раствор приобретает темно-зеленую окраску. Его хватает для

снятия 200 см<sup>2</sup> фольги. Если раствор применять сразу, его эффективность будет невысокой, но она значительно повышается после выдержки раствора в течение двух-трех недель. Время травления платы в таком растворе составляет три часа и более. Если рисунок печатной платы выполнен теплостойкой краской или лаком, температуру раствора можно довести примерно до 50 °С, и тогда интенсивность травления увеличится.

2. Значительного сокращения времени травления можно добиться, используя растворы на основе *кислот*. Например, процесс травления платы в концентрированном растворе азотной кислоты HNO<sub>3</sub> длится всего 5–7 мин. После травления плату тщательно промойте водой с мылом.
3. Хорошие результаты дает применение раствора соляной кислоты HCl и пероксида водорода H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Для приготовления возьмите 1 (объемную) часть 38-процентной соляной кислоты (плотностью 1,19 г/см<sup>3</sup>), 1 часть 30-процентного пероксида водорода и 3 части воды. Если пероксид водорода имеет концентрацию 16–18%, то на 1 массовую часть кислоты берут 2 части пероксида и столько же воды. Сначала воду смешайте с пероксидом водорода, затем осторожно добавьте кислоту. Рисунок в этом случае наносится кислотостойкой нитроэмалью или нитролаком. Время травления составит около пяти минут. А если количество воды уменьшить, то можно сократить время травления до 1–2 мин (правда, если лак не очень хорошего качества, он будет отслаиваться вместе с медной подложкой).

Такой же раствор можно приготовить, растворив в стакане холодной воды 4–6 таблеток пероксида водорода и осторожно добавив 15–25 мл концентрированной серной кислоты. Для нанесения рисунка печатной платы на фольгированный материал можно пользоваться клеем БФ-2. Время травления в данном растворе приблизительно 1 ч.

4. В 1 л горячей воды (60–70 °С) растворяют 350 г хромового ангидрида CrO<sub>3</sub>, затем добавляют 50 г поваренной соли. После того как раствор остынет, приступают к травлению. Время травления 20–60 мин. Если в раствор добавить 50 г концентрированной серной кислоты, то травление будет более интенсивным.

---

**Совет**     *Растворы на основе кислот заливайте в стеклянную или керамическую посуду и работайте с ними только в хорошо проветриваемых помещениях.*

---

5. Травильные составы на основе *щелочи* растворяют нелуженую медь, практически не затрагивая луженые дорожки. В табл. 3.4 приведены наиболее часто применяемые промышленно-лабораторные рецепты.

Таблица 3.4. Рецепты щелочных растворов для травления

Состав раствора	Количество, г/л
<b>Первый состав</b>	
Медный купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	170–190
Сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	150–170
Аммиак водный, 25-процентный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$	400–500
<b>Второй состав</b>	
Хлорид меди (II) $\text{CuCl}_2$	100–110
Хлорид аммония $\text{NH}_4\text{Cl}$	150–170
Аммиак водный, 25-процентный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$	400–500
Бикарбонат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	20–30

6. Особый интерес представляет способ гальванического травления плат. Для этого потребуется источник постоянного напряжения 25–30 В и концентрированный раствор поваренной соли. При помощи зажима «крокодил» соедините положительный полюс источника с незакрашенными участками фольги платы, а к оголенному и свернутому в петлю концу провода, идущего от отрицательного полюса источника, прикрепите ватный тампон, обильно смоченный раствором соли. Слегка прижимая к фольге, перемещайте его по поверхности платы (движение должно напоминать вырисовывание цифры 8). Фольга будет смываться. По мере загрязнения тампон меняйте.

### 3.3.4. Электролитический способ изготовления печатных плат с металлизацией отверстий

На изоляционной нефольгированной плате (обычно из стеклотекстолита или гетинакса) размечают отверстия, которые зенкуют с обеих сторон. Поверхность пластины обрабатывают шкуркой (вначале крупной, а затем мелкой), чтобы она стала матовой. Затем пластину обезжиривают бензином (отверстия и зенковки промывают с помощью кисточки). Плату после такой обработки можно брать руками только за края, чтобы на плоскостях не оставалось следов жира. Токпроводящие дорожки вычерчивают на поверхности платы 10–20-процентным раствором нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$  (ляписа) с помощью стеклянного

рейсфедера. Если раствор плохо смачивает поверхность, нужно повторить обезжиривание. Отверстия и зенковки также покрывают раствором ляписа с помощью маленькой кисточки.

Панель после нанесения линий сушат на свету при температуре 40–60 °С в течение 5–10 мин (можно использовать настольную лампу мощностью 75–100 Вт). Нитрат серебра разлагается на окись серебра  $\text{Ag}_2\text{O}$  и металлическое серебро  $\text{Ag}^0$ . Затем пластину погружают в раствор, и на местах, покрытых нитратом серебра, через 45–60 мин осаждается слой меди  $\text{Cu}^0$  телесного цвета толщиной 1,5–2 мкм. В табл. 3.5 приводится рецепт раствора для химического меднения.

Таблица 3.5. Раствор для химического меднения

Состав раствора	Количество
Сульфат меди (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	2 г
Гидроксид натрия (едкий натр) $\text{NaOH}$	4 г
Нашатырный спирт 25-процентный	1 мл
Глицерин	3,5 мл
Формалин 10-процентный	8–15 мл
Вода	100 мл

Примечание: формалин – это 40-процентный водный раствор формальдегида.

После осаждения меди пластину промывают и сушат. Слой меди получается очень тонким. Его толщину необходимо увеличить до 50 мкм *гальваническим способом*. Перед погружением в ванну все отверстия в платах соединяют друг с другом голой медной проволокой. Дефекты (разрыв токопроводящих дорожек, щербинки на проводниках и т.д.) исправляют мягким графитовым карандашом перед погружением пластины в ванну. Затем плату подсоединяют к минусу источника тока. Анодом в ванне служит лист меди, а в качестве электролита применяется раствор, состав которого приведен в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Раствор электролита

Состав раствора	Количество
Сульфат меди (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	20 г
Серная кислота $\text{H}_2\text{SO}_4$	5 мл
Вода	100 мл

Гальванический процесс в ванне продолжается 1–2 ч при плотности тока 2–3 А/дм<sup>2</sup>. Затем плату промывают и сушат.

---

**Совет**     *При составлении раствора во избежание ожогов серную кислоту нужно вливать в воду, а не наоборот.*

---

Следует помнить, что плата и детали, на которые осаждается металл, должны быть тщательно обезжирены (чтобы на них не оставалось следов пальцев и жирных пятен). Для устранения жирных пятен изделие погружают на 1–2 с в раствор хлорида олова (II) SnCl<sub>2</sub> (5 г соли на 1 л воды), затем промывают в проточной воде и немедленно погружают в ванну для осаждения металла.

После сушки плату сразу же покрывают защитным *флюсующим лаком* (15-процентным раствором канифоли в этиловом спирте) для защиты проводников от коррозии и облегчения пайки навесных радиоэлементов. Хорошим защитным лаком является и 15-процентный раствор смолы ПН-9 в ацетоне.

На этом процесс изготовления печатной платы химическим способом можно считать завершенным.

### 3.4. МЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ

Существуют две разновидности этого способа изготовления печатных плат: удаление фольги с пробельных мест путем *фрезеровки* и срезание или соскабливание фольги ножом или резаком.

*Фрезерование.* На фольгированный гетинакс наносят рисунок печатного монтажа (см. рис. 3.66). Причем ширина пробельных участков должна равняться диаметру бора. Металлическую фольгу с пробельных участков удаляют фрезой (зубным бором), закрепленной в патроне на оси электромотора (рис. 3.9).

После фрезерования плату шлифуют мелкой шкуркой, сверлят в ней отверстия и обрезают.

*Вырезание фольги.* Это, пожалуй, самый простой способ изготовления печатного монтажа, он не требует почти никакой оснастки. Из материалов необходим только фольгированный стеклотекстолит или гетинакс.

Как и в ранее описанном способе, на плату наносят рисунок печатного монтажа и по контуру пробельных участков острым ножом по линейке прорезают фольгу. Затем край фольги ножом отделяют от текстолита и отрывают вдоль разрезов (рис. 3.10).

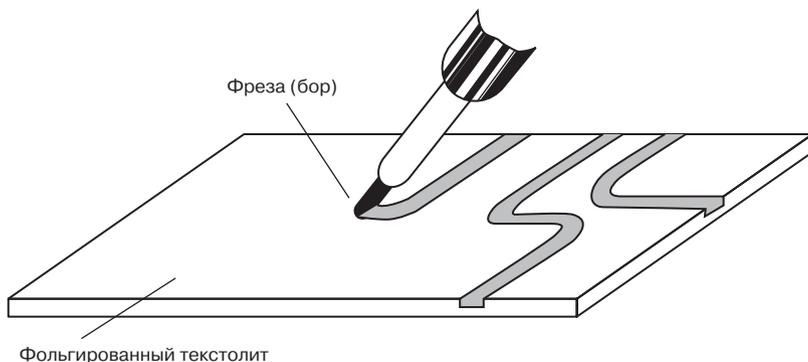


Рис. 3.9. Изготовление печатной платы методом гравировки

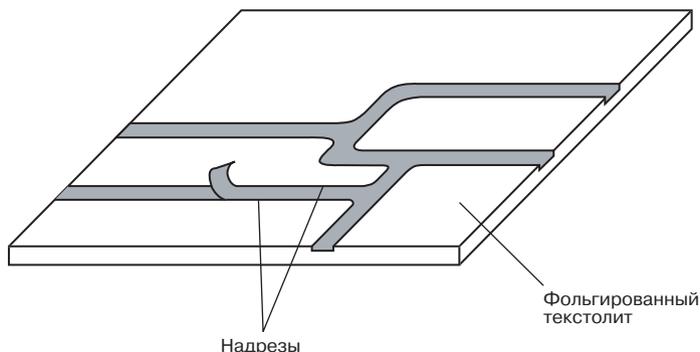


Рис. 3.10. Изготовление печатной платы путем вырезания фольги

Чтобы нож не соскальзывал и не прорезал схему, на линейку устанавливают металлический ограничитель (рис. 3.11).

На линейке ставят черточку, показывающую, до какого места доходит режущий конец ножа, когда он упирается в ограничитель. Линейку кладут таким образом, чтобы риска показывала конец разреза, который делается в фольге.

Как показывает практика, для формирования на печатной плате узлов, требующих большой точности изготовления (полосковых линий, емкостных и индуктивных элементов и т.п.), традиционные способы – нанесение рисунка краской с последующим травлением или

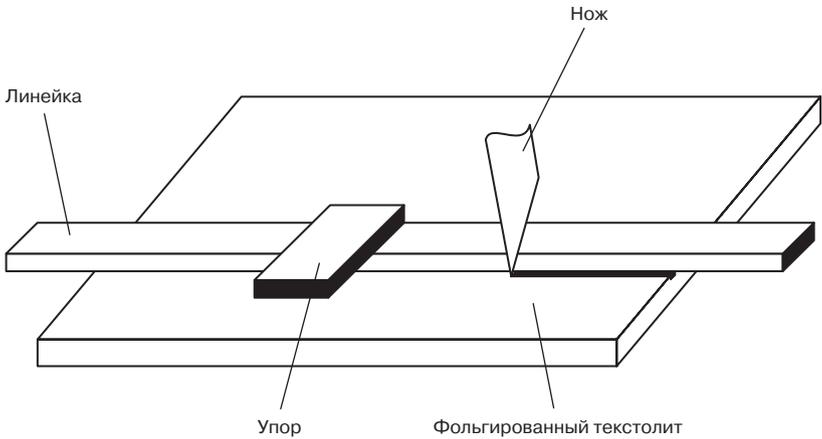


Рис. 3.11. Линейка с упором для надрезания фольги

прорезание фольги резакром – оказываются малопригодными. Можно использовать другой метод, дающий хорошие результаты, особенно при большой плотности монтажа.

Очищенную и обезжиренную поверхность платы покройте слоем клея БФ-2, предварительно разбавленного спиртом или растворителем и подкрашенного пастой от шариковой авторучки. После подсушки в течение 2–3 ч тонким ножом с острым концом вырежьте по металлической линейке требуемый рисунок проводников. С тех участков, где фольга должна быть удалена, слой клея снимите пинцетом, подцепляя с краев острием ножа. Далее, как обычно, травите плату в растворе хлорида железа.

### 3.5. СПОСОБ ПЕРЕНОСА

Для работы потребуется следующее: гетинакс толщиной 1–2 мм, медная фольга толщиной 0,05–0,06 мм, клей БФ-2, клей конторский универсальный казеиновый, миллиметровка, пергамент (калька), копировальная и писчая бумага. Из приспособлений понадобятся только две металлические пластины, между которыми зажимается плата при наклейте печатной схемы.

Под миллиметровку, на которой вычерчен в натуральную величину печатный монтаж, подкладывают последовательно копировальную

бумагу, кальку карандашную, фольгу и, наконец, какую-либо подложку, например, несколько листов бумаги или картон. Все листы скрепляют по краям, после чего полученную пачку кладут на ровный металлический лист или стекло и остро заточенным твердым карандашом тщательно обводят контуры проводников печатного монтажа. После снятия скрепок получают пергамент, на котором будет виден четкий рисунок печатного монтажа. Такой же рисунок виден и на фольге.

Перед нанесением рисунка фольгу надо обработать с одной стороны шлифовальной шкуркой, чтобы она лучше приклеивалась к гетинаксу. При копировке фольгу кладут шероховатой стороной вниз. Из фольги по контурам печатного монтажа ножницами вырезают проводники и приклеивают их глянцевой стороной к пергаменту при помощи казеинового клея (рис. 3.12).

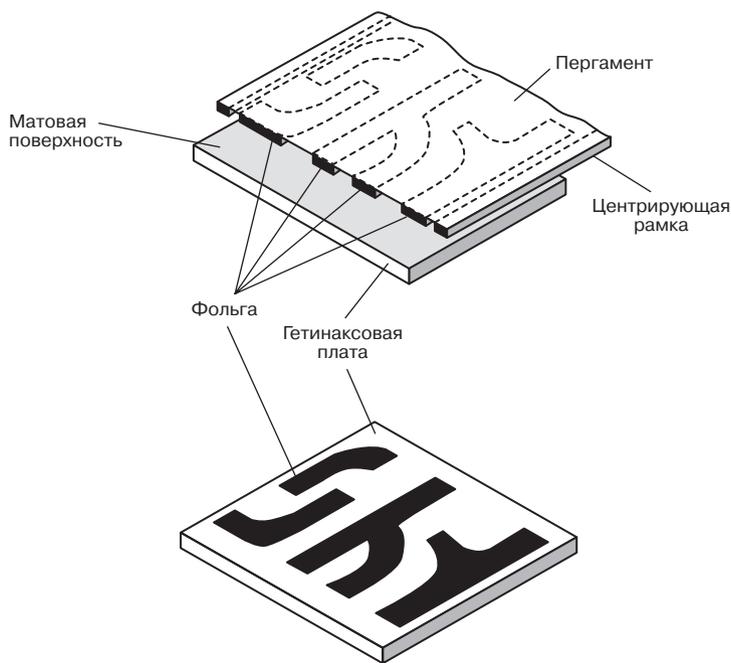


Рис. 3.12. Способ переноса (наклейка печатных проводников на плату)

Клей следует наносить тонким равномерным слоем, а при наклейке проводников следить за точным совмещением контуров проводников

с рисунком на пергаменте. Чтобы точно расположить проводники относительно краев гетинаксовой платы, на пергамент наклеивают центрирующую рамку. Схему наклеивают на гетинаксовую плату сразу же после того, как проводники схемы смонтированы на пергаменте; если клей высохнет, проводники могут отделиться от пергаamenta. Плату обрезают так, чтобы она точно входила внутрь наклеенной на пергамент центрирующей рамки. Сторону гетинаксовой платы, где будут наклеены проводники, обрабатывают шлифовальной шкуркой.

Проводники, смонтированные на пергаменте, а также гетинаксовую плату обезжиривают ацетоном или растворителем. После этого обе склеиваемые поверхности (проводники и гетинаксовую плату) покрывают тонким слоем клея БФ-2, которому дают подсохнуть в течение 10–20 мин. Затем на поверхность проводников кисточкой вторично наносят слой клея и на смазанный клеем печатный монтаж кладут гетинаксовую плату шероховатой стороной вниз. Весь пакет зажимают между двумя металлическими пластинами, которые стягивают винтами и выдерживают в таком виде в течение часа при комнатной температуре. После этого пакет нагревают до 120 °С и выдерживают при этой температуре 3 ч. Если печатная плата небольшого размера, то нагревать ее можно с помощью электрического утюга с терморегулятором, прикрепив пакет к гладильной доске.

После остывания пакет разбирают и острым скальпелем или ножом соскабливают приклеенный к плате пергамент. Для ускорения процесса подложку увлажняют горячей водой. Когда весь пергамент будет удален, плату шлифуют мелкой шкуркой и промывают растворителем. В плате сверлят отверстия для крепления деталей. Необходимо следить за тем, чтобы отверстия находились в центре контактных площадок.

### **3.6. БУМАЖНЫЕ МОНТАЖНЫЕ ПЛАТЫ**

Этот способ монтажа также называют «*прошивкой*». Проводником служит тонкий медный провод, а инструментом – обычная толстая швейная игла. «Плата» представляет собой пакет из перемежающихся слоев бумаги и полиэтиленовой пленки. Вместо бумаги можно использовать также тонкую ткань (например, сатин или ситец). Проводники располагаются между слоями бумаги, на поверхность выходят только контактные площадки-петли для припайки выводов деталей (рис. 3.13).

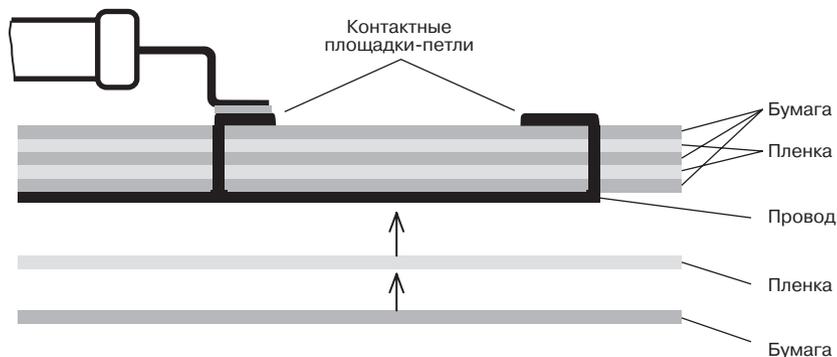


Рис. 3.13. Строение бумажной платы

На листе миллиметровой бумаги рисуют контуры элементов проектируемого устройства в натуральную величину, их обозначение и тип, расположение выводов и контактные площадки. Затем в соответствии со схемой соединяют площадки между собой. Линии соединения могут пересекаться, иными словами, допускается расположить их в несколько слоев, используя для этого цветные карандаши. По окончании этой стадии получают карту прошивки.

Теперь можно приступить к изготовлению самой «платы». На лист плотной бумаги в масштабе 1:1 переносят рисунок расположения элементов, но без линий проводников. Лист переворачивают рисунком вниз, накладывают слой полиэтиленовой пленки, сверху еще лист бумаги и проглаживают горячим утюгом так, чтобы листы бумаги склеились. Затем сверху накладывают еще один слой полиэтиленовой пленки и лист бумаги и снова проглаживают утюгом. Обычно для первого этапа бывает достаточно четырех слоев бумаги, склеенных пленкой.

Далее выполняют прошивку первого слоя монтажа платы. Отрезок медного провода (лучше ПЭВТЛК или подобный) продевают на 10–15 мм в ушко иглы, подгибают и прокладывают согласно карте прошивки все проводники первого слоя и контактные площадки-петли, не обрезая проволоки. Затем со стороны деталей петли зачищают и облуживают.

**Совет** Для прошивки удобно использовать медицинскую иглу, укоротив ее до 10–15 мм. Конец иглы стачивают под углом 45°, а острые кромки сглаживают. В канал иглы пропускают медную проволоку и вытягивают ее на несколько сантиметров. Прошивку выполняют со стороны выводов.

Плату переворачивают обратной стороной и кусачками удаляют ненужные отрезки проволоки, оставляя только проводники первого слоя. На проводники накладывают пленку, лист бумаги и снова проглаживают утюгом. После этого выполняют прошивку второго слоя. Так слой за слоем изготавливают весь многослойный монтаж. Для нормальной жесткости платы необходимо 8–10 слоев бумаги. На рис. 3.14 показана плата со стороны деталей.

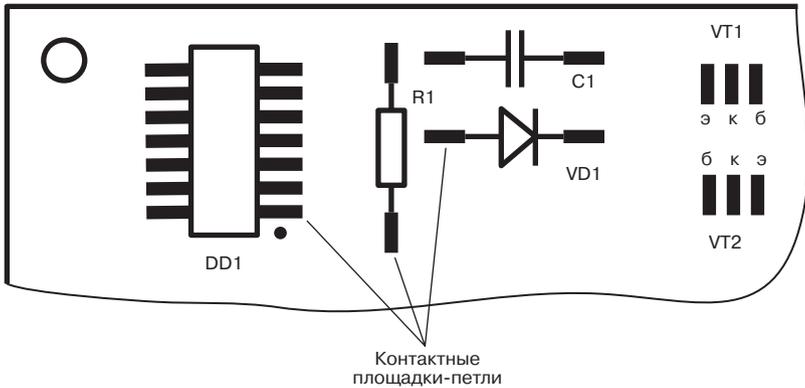


Рис. 3.14. Вид платы со стороны деталей

Соседние контактные площадки обычно соединяют по кратчайшему пути, а если необходимо изменить направление проводника, в месте изгиба образуют небольшую петлю на лицевую сторону платы (точка 1 на рис. 3.15).

Для длинных проводников, чтобы они не провисали, также целесообразно выполнить одну-две петли (точки 2 на рис. 3.15); это избавит от возможных замыканий при прошивке последующих слоев.

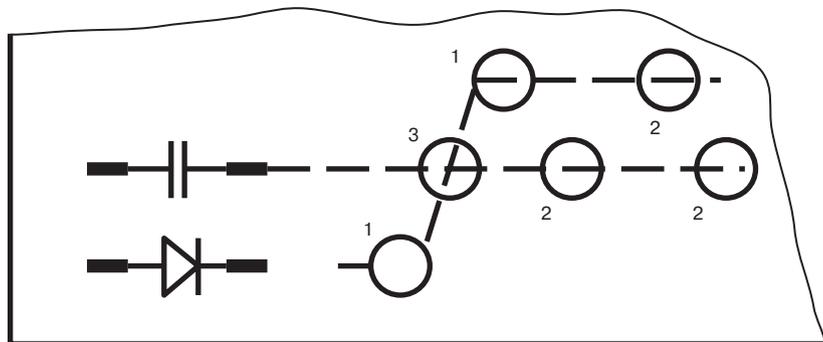


Рис. 3.15. Прошивка бумажной платы

Проводники одного слоя также можно взаимно пересекать, нужно лишь у одного из них выполнить петлю (точка 3 на рис 3.15). Лучше всего использовать неизолированный провод. Толщину провода следует выбирать исходя из величины тока через самую нагруженную цепь.

Подобным способом можно выполнить монтаж схемы на листе резины или другом подходящем изоляционном материале. После прошивки такую плату для жесткости наклеивают на текстолит или гетинакс.

### 3.7. МАКЕТНЫЕ ПЛАТЫ

Для каждой новой схемы, даже самой простой, приходится каждый раз делать рисунок на фольгированном диэлектрике. В этом заключается основная трудность производства печатных плат, если необходимо в короткие сроки проверить работоспособность новой схемы или наладить ее. Ведь, как правило, полупроводниковые приборы различаются по своим параметрам, поэтому для установки режима каскадов схемы приходится подбирать номиналы пассивных элементов, в частности, резисторов. Для черновой или экспериментальной сборки схем и налаживания несложных электронных устройств удобно использовать специальные *макетные платы*. Их, конечно, можно купить в радиомагазине, но несложно изготовить и самостоятельно.

#### 3.7.1. Простая макетная плата

Предлагаемая макетная плата представляет собой стенд с контактными площадками. На нем можно спаять детали проверяемого устройства и подобрать режимы работы.

Плата изготавливается из текстолита, гетинакса или другого изоляционного материала толщиной 2–3 мм. На ней располагаются контактные площадки, шины питания и зажимы для подачи напряжения (рис. 3.16).

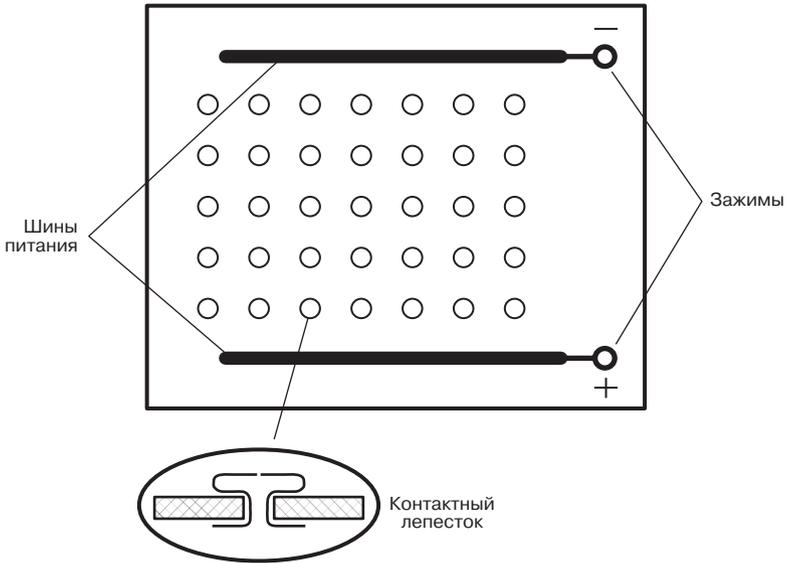


Рис. 3.16. Макетная плата

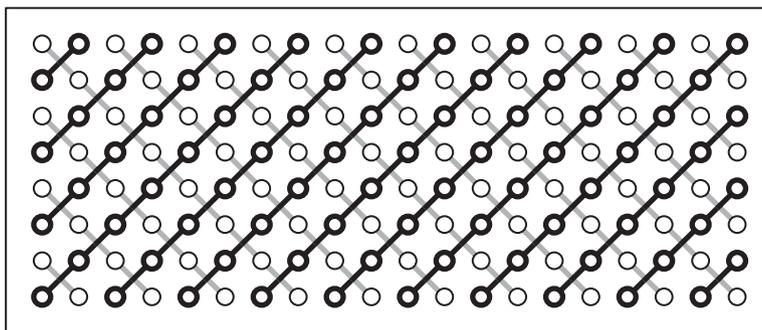
Контактные лепестки можно сделать из жестяных полосок от консервной банки. Они устанавливаются в отверстия на стенде и закрепляются. С лицевой стороны контактные площадки обязательно облуживаются. В верхнем и нижнем ряду устанавливаются шины питания, которые изготавливаются из толстой луженой медной проволоки или полосы шириной 3–5 мм. Шины соединены с зажимами для подачи напряжения. При необходимости можно дополнительно установить выключатель питания.

Для удобства работы макетную плату размещают наклонно к поверхности стола, используя стойки. Монтаж производится в соответствии со схемой, выводы деталей при этом не укорачиваются.

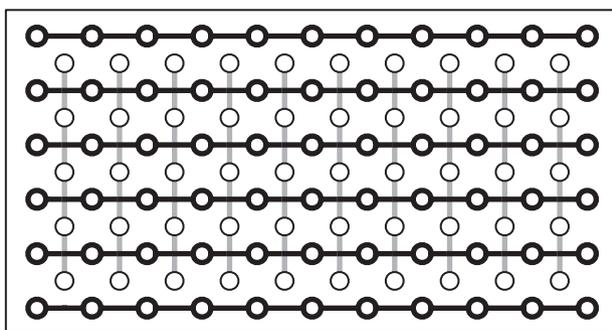
### 3.7.2. Печатная макетная плата

Описываемая печатная макетная плата очень удобна и для мелкосерийного производства, например, 10–20 устройств или приборов. Так

на плате (рис. 3.17а) можно смонтировать любую схему, лишь бы хватило места для деталей. А если места недостаточно, размеры платы можно увеличить.



а)



б)

Рис. 3.17. Печатная макетная плата

Технология изготовления печатных плат такова. На фольгированный диэлектрик наносят координатную сетку. Для этого необходима линейка, угольник и карандаш. Линии проводят под углом  $45^\circ$  к основанию. На рис. 3.17 дорожки с лицевой стороны платы показаны черным цветом, а с обратной – серым. Затем, отступая от карандашных линий в обе стороны на ширину токопроводящей дорожки, ножом по линейке прорезают фольгу и удаляют ненужные участки. Тонким сверлом высверливают отверстия под выводы радиоэлементов. Расстояние между отверстиями выбирают 2,5 мм или кратное.

При необходимости можно соединить определенные дорожки обеих сторон платы либо пайкой, либо контактными перемычками из луженой проволоки. Плата готова. Выгода этого метода очевидна – вся работа проводится лишь ножом, а однотипность печати позволяет использовать плату для любых устройств, особенно в малых сериях. Если время позволяет, то такую плату можно сделать, используя традиционное травление.

Описанная технология позволяет изготовить плату с несколько другим расположением дорожек (рис. 3.17б). Выбирайте то, что вам больше нравится.

### 3.7.3. Макетная плата из резины

Хорошие диэлектрические качества и эластичность листовой *резины* позволяют использовать ее в качестве макетной платы. Лист резины размерами 150×150 мм толщиной не менее 3 мм укрепляют с небольшим натяжением на деревянной рамке. Выводы деталей изгибают под прямым углом так же, как и для монтажа на обычную печатную плату.

Припаивать детали при этом нет необходимости. Толстой иглой или шилом в резине прокалывают отверстия, в которые вставляют выводы деталей, смежных по схеме. Несколько выводов, помещенных в одно отверстие, упруго сжимаются резиной, что обеспечивает надежный электрический контакт. Окисленные выводы следует зачистить, а их концы целесообразно слегка заострить надфилем.

Соединительные перемычки выполняют из медного неизолированного жесткого провода диаметром 0,4–0,5 мм. Желательно использовать белую резину, так как она в меньшей степени портит покрытие выводов.

Преимущества резиновой макетной платы заключаются в ее доступности, простоте изготовления, возможности быстро заменить детали при налаживании собранного устройства. Она будет наиболее интересна начинающим радиолюбителям.

## 3.8. ВТОРАЯ ЖИЗНЬ СТАРЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Обычно старые печатные стеклотекстолитовые платы после демонтажа деталей выбрасывают. Между тем они могут служить прекрасным материалом для изготовления множества различных деталей, корпусов для небольших приборов, кронштейнов, стоек, перегородок, сборно-разборных каркасов трансформаторов, крышек отсеков питания, изолирующих шайб и прокладок и т.д. В зависимости от того, как

будет использоваться отработанный стеклотекстолит, следует решить, надо ли удалить с него фольгу. Фольгу удобнее снимать с помощью раствора хлорида железа или соляной кислоты. Для изготовления каркаса трансформатора многослойная плата не годится, поскольку удалить фольгу из ее внутренних слоев не удастся, и она может создать в трансформаторе замкнутые витки.

Если нужна заготовка без отверстий, то их зашпаклевывают эпоксидным клеем. Значительные по площади участки с нетронутой фольгой на старой плате следует вырезать, так как они могут пригодиться для изготовления мелких плат. Толстые пластины можно склеить из нескольких тонких плат тем же эпоксидным клеем. Иногда удается расслоить пластину из толстого текстолита на несколько тонких.

Все возможности использования старых плат трудно перечислить. Каждый радиолюбитель, без сомнения, справится с этой задачей по своему усмотрению.

---

**Совет** *Обработку стеклотекстолита следует вести очень осторожно – ведь при этом образуется много пыли, содержащей мелкие частицы стекла и эпоксидного компаунда, вредные для здоровья. Поэтому работу надо вести в хорошо проветриваемом помещении, чаще убирать пыль, стружки и обрезки материала.*

---

<b>1</b>	Рабочее место радиомонтажника	11
<b>2</b>	Гальваническое соединение деталей	43
<b>3</b>	Изготовление печатных плат	53

## **4 МОНТАЖ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

<b>Особенности сборки и монтажа</b>	<b>110</b>
<b>Монтаж радиоэлементов</b>	<b>116</b>
<b>Ремонт печатного монтажа</b>	<b>122</b>

<b>5</b>	Изготовление корпуса	129
<b>6</b>	Окраска деталей	147
<b>7</b>	Технологические секреты	175
<b>8</b>	Электрические измерения и расчеты	201
<b>9</b>	Приложения	229

## 4.1. ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ И МОНТАЖА

В одном разделе невозможно рассказать обо всех нюансах данной работы, однако наиболее важные правила необходимо знать, перед тем как приступать к изготовлению любой радиотехнической конструкции. Это позволит сэкономить время и деньги при настройке.

### 4.1.1. Лужение печатной платы

Для удобства монтажа печатные платы рекомендуется *лудить*. Но предварительно их следует подготовить. Закончив травление, защитную краску с платы надо удалить растворителем, плату промыть в теплой воде и высушить. Мягкой кистью нанести на печатные дорожки раствор лимонной кислоты (две объемные части порошка и одна часть воды).

Примерно через полминуты ватным тампоном протереть плату и дать ей высохнуть. После такой обработки поверхность фольги легко облуживается. Этим же раствором удобно пользоваться и при облуживании окисленных выводов радиодеталей.

Для очистки платы можно использовать любые *растворители* на основе спирта, бензина или ацетона. Неплохо зарекомендовало себя средство для мытья посуды. Оно надежно очищает дорожки и от следов жира, и от оксидов. При этом не приходится вдыхать вредные испарения ацетона или бензина.

Самый простой способ лужения – это погружение платы в расплавленный припой (*расплав*). Небольшая ванна для лужения выводов деталей уже рассматривалась в главе 2. Для работы с печатными платами требуется лудильная ванна больших размеров. В простейшем случае она состоит из нагревателя (например, электроплитка мощностью 500 Вт) и установленной на нем металлической ванны подходящих размеров (рис. 4.1), в которой находится сплав Розе. Разумеется, если позволяют средства, в радиомагазине можно приобрести промышленно изготовленную лудильную ванну.

Температура расплава должна составлять 120–140 °С. Чтобы предупредить окисление и появление шлаковой пленки на его поверхности, расплав заливают химически чистым глицерином слоем в 20–25 мм.

Лужение рекомендуется проводить следующим образом. Щипцами с длинными ручками захватывают плату с печатным монтажом

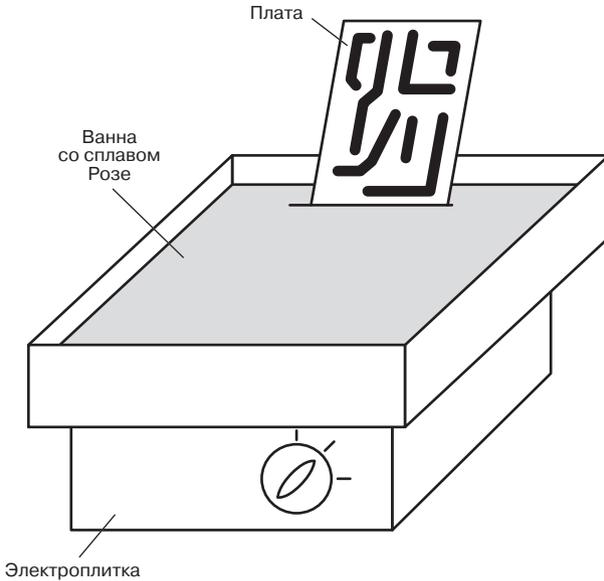


Рис. 4.1. Установка для лужения печатных плат

и *декапируют*<sup>1</sup> в 5-процентном растворе соляной кислоты, затем промывают 2–3 с в проточной воде и опускают на 1–2 с в сплав Розе. Излишки расплава с печатной платы удаляют с помощью *ракеля*<sup>2</sup> из вакуумной резины. После этого плата готова для сборки и монтажа навесных элементов.

<sup>1</sup> От франц. *decaper* – очищать металлы, то есть удалять химическим или электрохимическим способом тончайшие пленки оксидов, образующиеся на поверхности металлических изделий при хранении или транспортировке. Проводится, например, перед пассивированием, оксидированием, нанесением гальванических покрытий.

<sup>2</sup> От нем. *racel*, в полиграфии – тонкая пластина в виде ножа, с помощью которой при печатании удаляется избыток краски с поверхности формы глубокой печати или продавливается краска через отверстия трафаретной печатной формы. В рассматриваемом случае служит для удаления расплавленного припоя.

Установка для лужения должна быть обеспечена вытяжной вентиляцией. Для поддержания стабильной температуры расплава Розе в ванне можно использовать любое автоматическое устройство с точностью не хуже  $\pm 10\%$ .

Если у вас нет лудильной ванны, можно облудить все проводники платы припоем ПОС-61 с использованием жидкого спиртоканифольного флюса. Следует помнить, что такие платы выглядят весьма кустарно, кроме того, при лужении возможно замыкание соседних проводников перемычками из припоя. Чтобы повысить качество пайки, плату можно слегка зачистить мелкой шкуркой. Но не усердствуйте слишком, уменьшая и без того тонкий слой фольги. Если же вы все-таки решили лудить проводники, то прикосновения паяльника должны быть легкими и недолгими, иначе медная фольга дорожек начнет отслаиваться. Остатки канифоли после лужения удаляются с платы уксусом или спиртом.

#### 4.1.2. Применение двусторонних плат

Многие радиолюбители собирают свои конструкции на платах из *двустороннего* фольгированного стеклотекстолита. Одна сторона платы обычно служит для формирования печатных проводников, а другая используется в качестве экрана. В ряде случаев такой подход оправдан специальными требованиями к любительской конструкции, но в какой-то мере расточителен.

Преимущество же монтажа на обеих сторонах платы немало: во-первых, максимально используется вся ее площадь, во-вторых, не нужно сверлить отверстия под выводы (пайка ведется «внакладку»), в-третьих, отпадает проблема демонтажа многовыводных деталей из отверстий. Очень удобно собирать устройства, состоящие из двух одинаковых каналов (например, стереоусилитель), расположив каждый из них на своей стороне платы – ее размеры при этом будут минимальными.

Если собранную конструкцию не предполагается ремонтировать, то ее можно залить эпоксидной смолой, защитив тем самым от внешних атмосферных воздействий. Предлагаемый метод монтажа обеспечивает наиболее полное использование поверхности печатной платы и выгодное соотношение ее габаритных размеров.

Следует отметить, что в ряде случаев необходимо корректировать рисунок печатных проводников, если он рассчитан на традиционный способ монтажа. В предыдущей главе уже рассматривались преимущества и недостатки двусторонних печатных плат. Поэтому, приступая к сборке подобной конструкции, тщательно взвесьте все «за» и «против».

### 4.1.3. Защита полупроводниковых приборов от статического электричества

Чтобы повысить *надежность* радиоэлектронной аппаратуры, необходимо защищать полупроводниковые приборы от разрядов статического электричества, которое образуется в результате трения, дробления и других процессов. Его возникновению способствует одежда из синтетических тканей, резиновая обувь, полы, покрытые линолеумом, тара из органического стекла, а также низкая относительная влажность воздуха в помещении (менее 40%).

Отказы полупроводниковых приборов из-за разрядов статического электричества могут произойти в процессе изготовления, хранения и транспортировки, а также при настройке, ремонте и монтаже радиоэлектронной аппаратуры. Это необходимо знать всем радиолюбителям.

Наиболее часто происходят отказы биполярных СВЧ транзисторов и диодов и полевых МОП транзисторов. Во многих схемах применяются микромощные микросхемы, изготовленные по КМОП технологии (например, серии 561, 1561, 564). Все эти детали, пока они не установлены в плату, необходимо защищать от воздействия *статического электричества*. Его разрядами могут быть пробиты или повреждены все маломощные полупроводниковые приборы, а также интегральные схемы.

Существуют следующие методы защиты от разрядов статического электричества:

- химические (покрытие диэлектрических материалов проводящим слоем, повышение электропроводности ткани, специальные эмали и т.д.);
- механические (использование браслетов, замыкателей для полевых транзисторов и других устройств);
- схемотехнические (применение диодно-резисторной защиты);
- методы регулируемой влажности воздуха в производственных помещениях (использование специальных кондиционеров).

На человеке статическое электричество образуется из-за трения одежды и может превышать потенциал 1000 В. Чтобы исключить случайный пробой указанных деталей, перед началом работы необходимо уравнивать потенциалы монтируемой платы, паяльника и тела монтажника. Лучше всего электростатические заряды снимают с рук монтажника *антистатические браслеты*, кольца или антиэлектростатические халаты, заземленные через сопротивление 1 МОм для

обеспечения безопасности. Если ничего из перечисленного у вас нет, то перед началом работ хотя бы коснитесь рукой металлической батареи отопления.

Простейший браслет можно изготовить следующим образом: на ручку паяльника намотать бандаж из нескольких витков неизолированного провода (или укрепить металлическое кольцо) и соединить его через резистор сопротивлением 100–200 кОм с металлическими частями паяльника (подробнее см. главу 1). Будьте внимательны, обмотка паяльника не должна иметь контакт с его жалом. Во время монтажа следует касаться свободной рукой проводников питания на монтируемой плате.

Рекомендуется исключать все факторы, провоцирующие возникновение разряда, то есть использовать специальную одежду из хлопчатобумажных тканей, кожаную обувь, тару из антистатических материалов, а также паяльники с заземленным жалом.

Детали, которые могут быть повреждены статическим электричеством, должны храниться в металлической фольге или специальных коробках. Если микросхема находится в металлической коробке или ее выводы защищены фольгой, нужно дотронуться до коробки или фольги и снять статическое электричество, прежде чем касаться самой микросхемы. Выводы полевых транзисторов можно обмотать оголенным проводом, который снимается при монтаже. Монтировать эти детали на плату лучше в последнюю очередь, после установки всех остальных элементов.

#### **4.1.4. Защита электрических контактов**

Загрязненные контакты очень часто становятся причиной отказа различных электрических устройств, приводя к различным неисправностям. Одной из причин загрязнения является воздействие внешней среды – атмосферные или климатические условия, например возрастающее загрязнение атмосферы промышленными газами, которые содержат соединения серы (сероводород, окись серы) и серу с пылью. В результате реакции с этими газообразными соединениями на контактах с серебряным покрытием образуются окислы и сульфиды, обладающие значительным удельным электрическим сопротивлением и даже в тонком слое действующие как изоляционный материал. Серебро сильно темнеет и иногда полностью теряет проводимость, превращаясь в рыхлые сернистые соединения. Обнаружить причину отказа прибора в таких случаях бывает очень непросто.

В аппаратуре часто используются миниатюрные компоненты поверхностного монтажа с обкладками из серебряной пленки (в том числе

и так называемые клиновидные конденсаторы), впаиваемые в пазы печатной платы. Со временем серебряные обкладки под пайкой полностью разрушаются, и конденсатор выключается из цепи. Внешне же пайка выглядит нетронутой и надежной.

Разрушение серебряного покрытия можно остановить, если нанести на него *защитную пленку*, например, нитролак НЦ-62 (или цапонлак). Хорошими защитными свойствами обладает также покрытие из клея БФ-4. Перед монтажом детали и узлы надо тщательно осмотреть и на все серебряные покрытия нанести защитный лак, предварительно обезжирив их спиртом или ацетоном. Контакты переключателей покрывать лаком нельзя!

Если покрытие сильно потемнело, то перед нанесением лака его надо аккуратно зачистить ластиком до металлического блеска. Детали, у которых серебряное покрытие, оставшееся после удаления темной пленки, стало истонченным и неравномерным, лучше выбраковывать. Клиновидные конденсаторы в приборах, предназначенных для длительной эксплуатации, также применять не следует – это позволит в дальнейшем избежать многих отказов аппаратуры.

Вредные вещества могут попасть на контакты не только из окружающей среды, но и образоваться непосредственно из материалов контактов под воздействием электрической дуги, высокой температуры и давления. В процессе работы между контактами появляется металлическая пыль, под воздействием электрической дуги разрушаются органические вещества, оказавшиеся между поверхностями контактов, например, в результате адсорбции паров органических веществ.

В настоящее время ведутся поиски составов для *очистки контактов*. Желательно, чтобы эти вещества на очищенных контактах оставляли слой, не только защищающий от дальнейшего загрязнения, но и не влияющий на электрические параметры. Часть адсорбированных загрязнений (прежде всего пыль и жиры) можно устранить различными растворителями. Чаще всего используются трихлорэтилен, тетрахлорэтилен, толуол, бензин и т.п. В последнее время применяют также некоторые жидкие соединения фтора и хлора, более известные как фреоны. Наиболее часто используются фреон-113 (трихлортрифторэтан) и фреон-112 (дифтортетрахлорэтан).

Их главное достоинство (помимо негорючести и малой токсичности) состоит в том, что они не растворяют пластмассы, которые часто используются для изготовления несущих деталей контактов (даже такие малостойкие материалы, как полистирол и поликарбонат). Однако

их широкому применению препятствует довольно высокая стоимость. Эти средства не только очищают, но и защищают, то есть создают на поверхности контактов консервирующую, в большинстве случаев *защитную пленку*, которая предохраняет эти детали от дальнейшего загрязнения. Защитная пленка значительно удлиняет срок службы контактов и существенно сокращает количество их отказов.

Жидкость для очистки электрических контактов наносится различными способами в зависимости от типа и положения контактов – кисточкой, палочкой, шприцем с иглой, кусочком кожи, надетым на металлическую полоску и смоченным чистящим раствором. После нанесения какого-либо чистящего средства необходимо привести контакты в движение, чтобы раствор растекся по всей поверхности даже закрытых контактов. Рекомендуется подождать (не более 15 мин), пока испарится растворитель, а затем, если возможно, протереть очищенные контакты кусочком фильтровальной бумаги или кожи (на этот раз сухой), чтобы удалить излишки состава, а также растворенные загрязнения.

Ниже приведены два простых состава для очистки электрических контактов (их протирают кусочком кожи, смоченным в растворе).

*Первый состав.* В стеклянной банке смешивают 125 мл аммиака водного концентрированного и 375 мл этилового спирта или денатурированного бензина. Полученную смесь хранят в стеклянной посуде с притертой пробкой.

*Второй состав.* В 475 мл чистого бензина Б-70 («Галоша») растворяют 15–20 мл вазелинового масла (медицинского). После тщательного перемешивания готовый раствор переливают в стеклянную посуду с притертой пробкой.

Чтобы улучшить контакт между гальваническими элементами или дисковыми аккумуляторами, следует тщательно зачистить места касания элементов и смазать их тонким слоем вазелина или другой густой смазки. Это обеспечит длительную бесперебойную работу батареи питания.

## **4.2. МОНТАЖ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ**

### **4.2.1. Порядок монтажа**

Перед монтажом потемневшие выводы радиоэлементов следует зачищать до блеска, лудить их не обязательно. В качестве флюса лучше использовать канифольный лак, а не твердую канифоль.

*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.

При монтаже лучше использовать паяльник с заземленным жалом, температура жала должна составлять около 270 °С. Если она значительно выше, то припой на жале быстро выгорает и приобретает серый цвет, а при указанной температуре расплавленный припой не теряет зеркального блеска, который остается и после его остывания. Такая пайка обеспечивает качественное электрическое соединение.

Для ускорения пайки используют жидкий спиртоканифольный флюс – он разрушает окисную пленку на поверхности выводов деталей. Флюс легко изготовить самостоятельно, растворив кусок канифоли в спирте в пропорции примерно 1:10.

При пайке полупроводниковых приборов и других деталей, чувствительных к перегреву, следует касаться выводов не более чем на 3 с и применять *теплоотвод*, в качестве которого можно с успехом использовать пинцет. 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.

Чтобы пайка была прочнее, выводы деталей до установки на плату рекомендуется облудить. Их загибают таким образом, чтобы была видна *маркировка*. Это пригодится, когда вы будете настраивать устройство и разбираться в ошибках монтажа.

Во время пайки необходимо следить за тем, чтобы жало паяльника не касалось печатных проводников, поскольку это, как правило, приводит к выгоранию проводника. 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.

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.

**Совет** Для пайки двух проводников или выводов деталей на весу пригодится простое приспособление, состоящее из деревянного кубика и двух деревянных прищепок, прикрепленных к его противоположным сторонам. Проводники зажимаются в прищепках, в таком положении паять их гораздо удобнее.

Некоторые детали (диоды, стабилитроны, электролитические конденсаторы и др.) обладают полярностью, которую необходимо учитывать при монтаже. Очень легко сделать ошибку при установке электролитических конденсаторов, особенно импортного производства, так как справочную информацию по ним найти трудно, а на корпусе полярность не всегда указана.

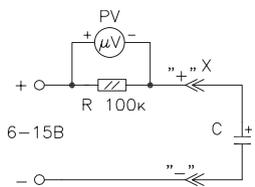


Рис. 4.2. Схема для определения полярности электролитических конденсаторов

В этом случае удобно воспользоваться схемой, приведенной на рис. 4.2, 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. Этих измерения проводят при помощи вольтметра с большим входным сопротивлением, например В7-38А.

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.

Часто вызывает трудность подключение приобретенного для изготовления устройства 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 (см. главу 2) и выдержите при комнатной температуре 1,5–2 суток. Желательно, чтобы выводы плотнее прилегали к контактным площадкам. Затем узкой отверткой тщательно удалите под увеличительным стеклом возможные замыкания. Это и будут проволочные выводы, которые затем можно паять.

#### 4.2.2. 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. При пайке удобнее использовать провода в тугоплавкой изоляции: многожильный типа МГТФ 0,07–0,12 мм<sup>2</sup> или одножильный луженый 0,25–0,35 мм<sup>2</sup>. 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. 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 комбинированном способе монтажа одни выводы микросхемы припаивают к контактным площадкам, а в другие отверстия контактных площадок впаивают проволочные проводники. На рис. 3.3 и 3.4 в главе 3 были показаны варианты монтажа микросхем на двусторонней печатной плате. Одни выводы микросхемы, как видно из рисунков, впаивают в отверстия контактной площадки, другие – непосредственно к печатному монтажу.

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

Чтобы обеспечить достаточную *помехозащищенность*, между шиной 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.

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.

### 4.2.3. Использование поверхностного монтажа

В современной промышленной электронике широко применяется *поверхностный монтаж*. Напомним, что для этого используют специальные миниатюрные элементы без выводов.

Поверхностный монтаж представляет немалый интерес и для радиолюбителей. Однако некоторые считают, что этот метод очень сложен, поскольку изготовить в домашних условиях подобную плату якобы нереально. На традиционных печатных платах рисунок проводников

наносят по опорным точкам, в качестве которых используются отверстия под выводы деталей или места для их сверления. При поверхностном монтаже отверстий нет, поэтому и создается впечатление, что выполнить такой рисунок труднее.

Все это, конечно, справедливо, однако преимущества поверхностного монтажа неоспоримы, поскольку этот метод можно использовать как полностью, так и частично. Например, он легко сочетается со всеми видами традиционного печатного монтажа, что позволяет применять его даже в серийных конструкциях. Таким образом, широкие перспективы данного способа в радиолюбительской практике очевидны: даже замена 5–15% обычных радиоэлементов «поверхностными» приносит весьма ощутимый выигрыш. Значительно упрощается изготовление печатной платы, уменьшается число просверливаемых отверстий, плотность монтажа на плате тех же размеров заметно увеличивается, поскольку «поверхностные» элементы миниатюрны и припаиваются, как правило, со стороны печатных проводников.

Наиболее эффективно применение двухвыводных радиоэлементов – резисторов, конденсаторов и диодов. Лучшего результата достигают при использовании керамических конденсаторов емкостью от 0,01 до 1 мкФ – это всего 25 номиналов (в ряду E12). Несколько меньший выигрыш дает применение «поверхностных» диодов, так как в большинстве радиолюбительских конструкций их сравнительно немного, да и размеры обычных диодов невелики. При работе с резисторами возникает некоторая сложность – очень велико количество номиналов (более сотни!), что вызывает необходимость изготовить вторую кассетницу для резисторов.

Для поверхностного монтажа вместо отверстий на печатной плате предусматривается пара контактных площадок, находящихся друг от друга на расстоянии 0,5–1,5 мм. Площадки должны быть шире детали на 0,5–1,5 мм и выступать за ее края на 1,5–2 мм. Но часто и сами площадки не нужны, поскольку детали можно припаивать непосредственно к близко расположенным печатным проводникам.

Иногда смонтированную печатную плату приходится дорабатывать – менять радиоэлементы, одни удалять, а другие устанавливать и т.п. В этих случаях применение «поверхностных» деталей существенно упрощает решение задачи, особенно когда для установки обычных места не остается. Если длина контактов миниатюрной детали не позволяет дотянуться до нужной монтажной площадки, то к одному из них припаивается удлиняющий проводник (медный монтажный провод).

Для выполнения поверхностного монтажа подойдет практически любой паяльник с заууженным до 1,5–2 мм жалом или с насаженным на стержень коротким хвостовиком из нескольких витков медного провода диаметром 1,5–2,5 мм (см. рис. 2.4). Питание на паяльник необходимо подавать только через автоматический регулятор температуры, поскольку «поверхностные» элементы более чувствительны к перегреванию. Деталь при пайке следует держать пинцетом; наиболее удобен стоматологический пинцет с длинными изогнутыми тонкими губками.

### 4.3. РЕМОНТ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

#### 4.3.1. Проверка печатных плат

После лужения плат нередко возникают *замыкания* между проводниками печатного монтажа, поэтому плату необходимо тщательно обследовать визуально. Обычно все недостатки обнаруживаются сразу. Однако после завершения монтажа замыкание трудно найти, в частности, из-за разветвленности проводников. Для обнаружения таких неисправностей существуют специальные приборы, позволяющие сравнительно быстро отыскать замыкание после изготовления печатной платы. Например, в статье И. Нечаева «Искатель места замыкания проводников платы» (журнал «Радио», 1996, № 6) описан прибор, существенно облегчающий подобную работу. Он очень удобен при мелкосерийном изготовлении различных устройств.

В радиолюбительской практике необходимость в поиске замыканий в платах возникает относительно редко, поэтому изготовление такого, хоть и сравнительно несложного, прибора едва ли оправдано. Ниже описан эффективный метод поиска замыканий, не требующий специального оборудования и пригодный для работы как с новыми, так и со смонтированными платами.

Рассмотрим предлагаемый способ на примере поиска замыкания между проводниками питания и общего провода в сложном устройстве, содержащем много микросхем. Этот случай весьма распространен, поскольку указанные проводники распределены по всей плате и подсоединены к каждой микросхеме.

Вариант расположения проводников на условной плате приведен на рис. 4.3. Место замыкания между точками 7 и 8 показано тонкой линией. К проводникам платы в соответствии с полярностью при нормальной работе устройства (это важно лишь в случае смонтированной

платы) следует подключить источник питания с регулируемым напряжением  $U_0$ , но не превышающим номинального (лучше, если оно будет меньше на 0,5–1 В), через резистор  $R$ . Он ограничивает ток через печатные проводники на уровне 2 А. Значение рабочего тока выбирают исходя из падения напряжения между точками 1 и 2, которое должно быть не более 100 мВ. Мощность резистора также должна быть соответствующей величины.

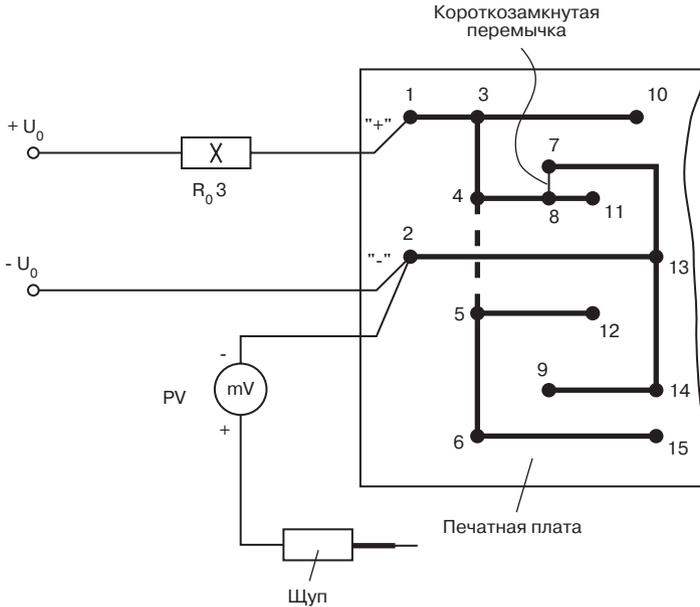


Рис. 4.3. Схема поиска замыканий на плате

Далее к одному из проводников платы (например, к общему проводу) необходимо подключить первый вывод милливольтметра PV с чувствительностью 100–200 мВ полной шкалы. Второй вывод должен быть снабжен щупом с острой иглой. Подключая поочередно второй вывод милливольтметра к различным точкам «плюсового» проводника платы, начиная с точки 1, следует найти такую точку, когда показание милливольтметра минимально и после которой перенос щупа в любую другую точку проводника не приводит к изменению показаний, а переход к предыдущей точке – увеличивает.

В качестве примера рассмотрим рис. 4.3. Напряжение в точке 1 максимально, в точке 3 оно меньше из-за падения напряжения на участке 1–3. При переходе к точке 10 напряжение не изменится, но при установке щупа на точку 4 оно опять уменьшится, значит, поиск надо продолжить в эту сторону. Но в точках 5, 6 и 12 величина напряжения не меняется. А вот в точке 8 напряжение будет еще меньше, причем в точке 11 оно такое же, как и в точке 8. Переход к точке 7 общего проводника не изменит показания милливольтметра или же слегка уменьшит его. Поэтому именно точка 8 отвечает указанным выше требованиям минимального напряжения и является в данном случае местом замыкания проводника питания и общего провода.

Удобнее использовать цифровой милливольтметр, поскольку в процессе поиска необходимо точно запоминать предыдущее показание и сравнивать его с последующим. Можно применять и любой стрелочный микроамперметр с большой шкалой.

При работе со смонтированными платами следует очень осторожно выбирать напряжение источника питания, его полярность и ограничительное сопротивление. Если в процессе поиска замыкание исчезнет, поданное напряжение не должно вывести устройство из строя. Достаточно безопасным можно считать напряжение 0,5 В (при таком напряжении р–п переходы полупроводниковых приборов не открываются) с ограничением тока в самом источнике на уровне 1...2 А (этим характеристикам отвечают многие лабораторные источники питания). Если источник позволяет регулировать напряжение от нуля, можно подобрать такое напряжение, при котором роль токоограничительного резистора будут выполнять сами соединительные провода.

Следует иметь в виду, что измерительная обмотка милливольтметра при пропадании замыкания может из-за перегрузки перегореть. Во избежание этого необходимо, чтобы первое касание к каждой точке проводника было коротким. При «зашкаливании» прибора щуп надо немедленно отключить.

### 4.3.2. Демонтаж деталей

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.

В случае замены неисправной детали или для удаления лишнего элемента выполняется *демонтаж*. Если требуется снять со старой платы какую-либо многовыводную деталь (микросхему, ламповую панель, разъем и т.п.), а под руками нет специальных инструментов, это можно сделать описанным ниже способом. Он, правда, не подходит для тех случаев, когда печатные проводники платы нужно сохранить.

Скальпелем или острым монтажным ножом перерезают печатную дорожку на расстоянии 8–15 мм от пайки вывода детали. Лезвием поддевают и поднимают край фольги со стороны вывода. Ухватив пинцетом за край фольги, постепенно отделяют ее от поверхности платы непосредственно до места пайки. Теперь нужно горячим паяльником расплавить припой и удалить весь участок фольги вместе с круглой площадкой вокруг вывода. Остается вывод, почти свободный от припоя.

Таким же образом освобождают от припоя один за другим все выводы демонтируемой детали. После этого ее свободно извлекают из отверстий платы.

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 в канавку 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).

У новой детали, устанавливаемой на плату, длина выводов должна быть минимальной, однако достаточной для того, чтобы она не прикасалась к другим деталям.

При замене вышедших из строя многоштырьковых радиоэлементов (микросхемы, контурные катушки, малогабаритные трансформаторы и другие детали с несколькими выводами) часто допускают следующую ошибку: непрерывно нагревая контакты, наклоняют выпаиваемую деталь в стороны и постепенно вытягивают ее из гнезд печатной платы. При этом фольга печатного монтажа отслаивается, и в результате повреждается печатная плата ремонтируемой радиоаппаратуры. А ведь в арсенале радиолюбителя имеется немало простых и более грамотных способов замены радиоэлементов.

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. Исползованную часть оплетки после каждой пайки отрезают. Освободив от припоя все выводы, деталь легко снимают с платы.

---

**Совет** *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.*

---

Можно выпаивать каждый контакт отдельно с помощью простого приспособления (рис. 4.4). Оно представляет собой трубку диаметром 1 мм, изготовленную из металла, который плохо облуживается (например, нержавеющей 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 многоштырьковый радиоэлемент или малогабаритный трансформатор легко снимается, а фольга печатного монтажа и выпаиваемый радиоэлемент не повреждается.

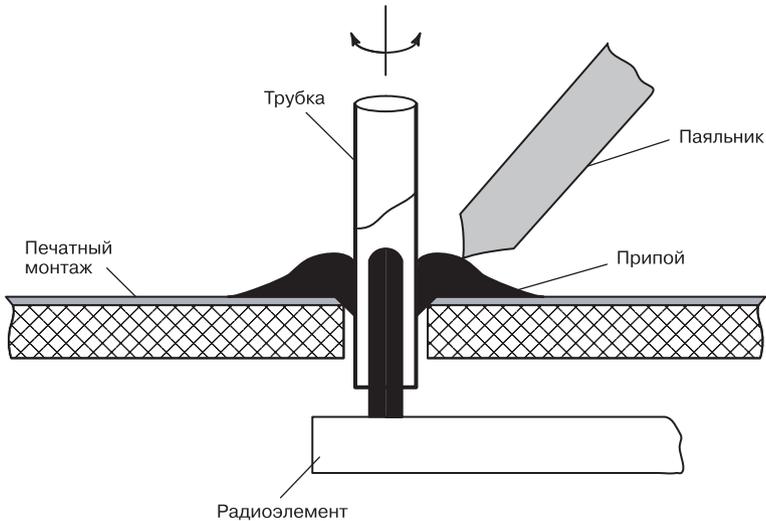


Рис. 4.4. Приспособление для выпайки электрорадиоэлементов из печатных плат

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. Конец 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 затвердевания припоя игла снимается с 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.

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.

### **4.3.3. Поиск тепловых неисправностей**

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

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, на батарее отопления).
2. Взять из морозильника кусочек льда и завернуть его в полиэтилен для предупреждения возможных замыканий при таянии.
3. Выключить устройство и поочередно приложить лед на 10–20 с к корпусу каждой 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 элемент и заменить новым.

<b>1</b>	Рабочее место радиомонтажника	11
<b>2</b>	Гальваническое соединение деталей	43
<b>3</b>	Изготовление печатных плат	63
<b>4</b>	Монтаж печатной платы	109

## **5**      **ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСА**

<b>Металлический корпус</b>	<b>130</b>
<b>Работа с органическим стеклом</b>	<b>136</b>
<b>Изготовление корпусов из эпоксидной смолы</b>	<b>141</b>
<b>Отделка деревянного корпуса</b>	<b>145</b>

<b>6</b>	Окраска деталей	147
<b>7</b>	Технологические секреты	175
<b>8</b>	Электрические измерения и расчеты	201
<b>9</b>	Приложения	229

## 5.1. МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ КОРПУС

### 5.1.1. Изготовление корпуса из металла

Изготовление металлических корпусов для радиоэлектронных устройств, измерительных приборов и т.д. связано с определенными трудностями. Между тем существует метод конструирования корпусов, позволяющий простыми средствами добиться выразительной формы. Такие корпуса не требуют сварки и пайки, а число соединительных винтов минимально.

На рис. 5.1 изображены две П-образные гнутые *панели*, размеры которых подобраны таким образом, что при установке одной панели в другую получается замкнутый объем корпуса. В этом собственно и заключается метод, о котором пойдет речь. Для соединения панелей нужны стойки, конструкция и способ крепления которых показаны на рис. 5.2. Стойка 2 не только соединяет верхнюю панель 1 корпуса с нижней панелью 3, но и крепит к корпусу шасси 5, являющееся основой электрической и механической частей прибора. Таким образом, отпадает необходимость в дополнительных крепежных деталях, а на поверхность корпуса не выходят лишние винты. Нижняя панель крепится к стойке винтом, проходящим сквозь ножку 4. Такой прием маскирует винт.

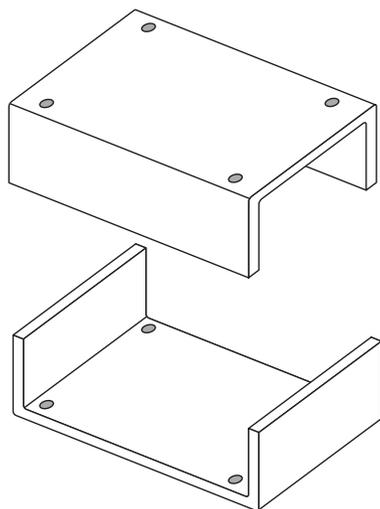


Рис. 5.1. Конструирование корпусов из гнутых панелей

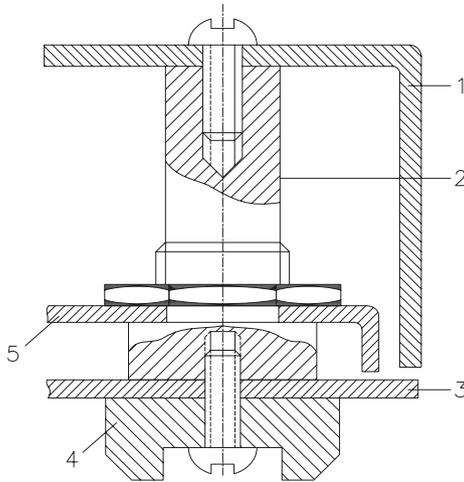


Рис. 5.2. Способ крепления панелей и шасси

Корпус, изображенный на рис. 5.1, может быть использован при изготовлении различных радиотехнических устройств. Для выполнения таких корпусов лучше всего взять листовый материал из стали, алюминиевых сплавов, латуни. Толщина листа зависит от размеров корпуса. Для небольшого корпуса, объемом до 5 дм<sup>3</sup>, требуется лист толщиной 1,5–2 мм. Для корпуса с большим объемом лист должен быть толще – до 3–4 мм. Здесь указана толщина основания корпуса, а точнее его нижней панели, несущей основную силовую нагрузку, так как к ней крепятся шасси и другие элементы конструкции.

На рис. 5.3 изображено приспособление для сгибания и обработки панелей корпусов. Оно состоит из двух стальных уголков, стягиваемых двумя болтами и гайками. Болты служат направляющими при стягивании уголков, не допуская перекоса плоскостей. Уголки желательно закалить. Их длина определяется длиной обрабатываемых деталей, но не должна превышать 300 мм.

Деталь вставляют между уголками, которые стягивают гайками, навинчивая их на болты, или при помощи струбцин. Одна из особенностей конструирования корпусов по описываемой технологии состоит в том, что каждую панель изгибают только в одном направлении, то есть все линии сгибания на одной детали параллельны, что значительно упрощает процесс изготовления.

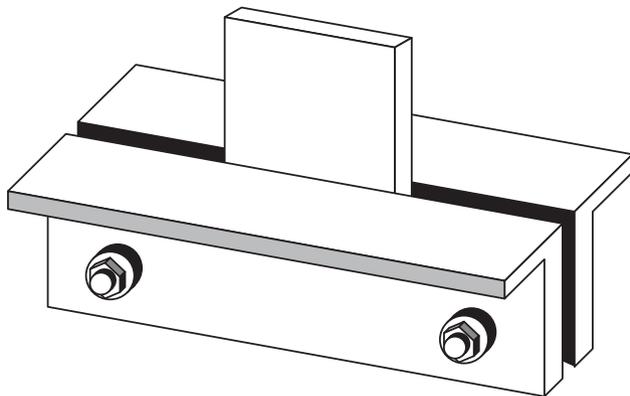


Рис. 5.3. Приспособление для изготовления металлических корпусов

Рассмотрим простую технологию выполнения корпуса, состоящего всего из двух однотипных П-образных деталей (рис. 5.4). Одну из них, выполняющую функцию несущей, изготавливают из более толстого материала, чем другую, служащую крышкой.

Лучшим материалом считается алюминиевый сплав АМцА-П, который обладает высокой жесткостью и в то же время хорошо гнется. Детали корпуса соединяют при помощи винтов, которые ввинчивают в резьбовые отверстия уголков, прикрепленных с помощью заклепок к несущей детали. Все отверстия в несущей и крышке сверлят и обрабатывают после сгибания. *Изготовление корпуса* начинают с расчета размеров заготовок. Например, длину заготовки несущей детали рассчитывают следующим образом:

$$L = 2a + c - 2(R_1 + S),$$

где  $a$  – ширина корпуса;  $c$  – его высота;  $R_1$  – внутренний радиус изгиба;  $S$  – толщина материала.

Определив таким образом длину, несущую деталь сгибают, после чего измеряют ширину и высоту корпуса ( $a$  и  $c$ ). Если верхняя и нижняя стороны получились неодинаковыми, большую из них подгоняют до размера  $a$  – меньшей. С учетом размера  $c$  определяют ширину заготовки второй детали ( $c - 2S$ ) и рассчитывают ее длину по приведенной выше формуле, подставляя вместо  $a$  величину  $(a - S)$ , вместо  $(R_1 - R_2)$  – величину  $(S - t)$ . Такая последовательность изготовления деталей гарантирует точное (без зазоров) соединение их по всему периметру.



Часто возникают трудности при креплении панелей корпуса или крышки. В этом случае необходимо либо сделать резьбу, либо как-то укрепить на панели гайки. Однако резьба в тонких стенках недолговечна, а установка внутренних гаек достаточно трудоемка. Выход из данной ситуации можно найти, применив уголковые *кронштейны*. Их можно изготовить самостоятельно. В качестве основы берут полосу из мягкой стали 30×8 мм толщиной 2 мм (рис. 5.5).

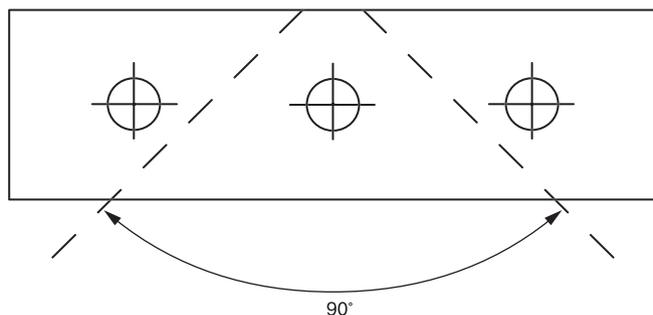


Рис. 5.5. Кронштейн для крепления панелей

На полосу наносят разметку, просверливают отверстия и нарезают резьбу М3 или М4. В заключение полосу сгибают в тисках по штриховым линиям. Полученный кронштейн монтируют в углу корпуса. Его можно крепить и заклепками, оставив резьбовым только одно среднее отверстие.

Перед работой поверхность листа, пластины и губки приспособления следует тщательно очистить от грязи, поскольку все неровности и шероховатости инструмента могут сказаться на сгибаемом листе. После контрольной сборки и точной подгонки деталей корпуса можно приступить к его покраске, используя любой способ, указанный в главе 6.

Эффектный вид корпус приобретает после оклеивания его кожей, текстуринилом или любым подобным коже материалом (рис. 5.6). Чтобы создать впечатление объемности и несколько смягчить прямоугольные формы, под кожу или ее заменитель можно подложить листовый поролон толщиной 2–4 мм. В этом случае кромку панели необходимо окантовать хромированным полированным профилем на аккуратных заклепках диаметром не более 1 мм. Профиль обрамления можно изготовить из полоски мягкой латуни толщиной 0,3–0,4 мм.

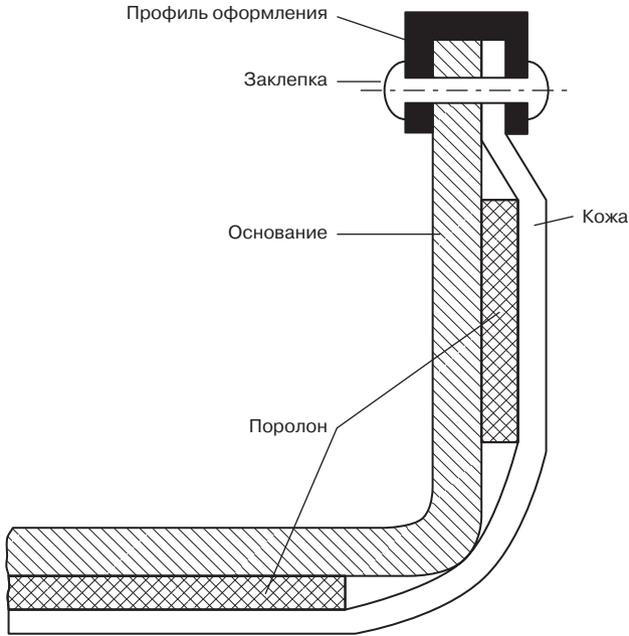


Рис. 5.6. Элементы оформления корпуса

**Совет** *Использовать в окраске корпуса более трех цветов нежелательно – это создает излишнюю пестроту. Хорошо смотрится устройство, в котором элементы управления и панели корпуса окрашены в сочетающиеся тона.*

### 5.1.2. Соединение разнородных металлов

Для крепления деталей широко используют винты, шпильки, заклепки и другой крепежный материал. Производя сборку конструкции, следует иметь в виду, что некоторые металлы несовместимы: в месте их касания при попадании влаги образуются гальванические пары, вызывающие усиленную коррозию, что, естественно, ослабляет механическую прочность и нарушает электрические контакты. Поэтому шасси и заклепки, например, для крепления электрорадиоэлементов, рекомендуется делать из однородных или совместимых металлов. В табл. 5.1 указаны параметры совместимости различных металлов.

Таблица 5.1. Параметры совместимости металлов

Металл	Алюминий	Бронза	Дюралюминий	Латунь	Медь	Никель	Олово	Припой ПОС	Сталь нелегированная	Хром	Цинк
Алюминий	С	Н	С	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	С
Бронза	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н
Дюралюминий	С	Н	С	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	С
Латунь	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н
Медь	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н
Никель	Н	С	Н	С	С	С	П	П	С	-	С
Олово	Н	П	Н	П	П	П	С	С	С	-	С
Припой ПОС	Н	П	Н	П	П	П	С	С	С	-	С
Сталь нелегированная	С	Н	С	Н	Н	С	С	С	С	С	С
Хром	Н	С	Н	С	С	-	-	-	С	С	С
Цинк	С	Н	С	Н	Н	С	С	С	С	С	С

Примечание: С – совместимые пары; Н – несовместимые пары;

П – совместимые при пайке, но несовместимые при непосредственном прикосновении.

## 5.2. РАБОТА С ОРГАНИЧЕСКИМ СТЕКЛОМ

### 5.2.1. Обработка органического стекла

Резать листы *органического стекла* удобно с помощью специального ножа – *резака* (рис. 5.7), изготовленного из старого ножовочного полотна. Режущую кромку вытачивают на обычном наждачном камне. Ручку резака обматывают проводом типа МГШВ с сечением 0,5–0,75 мм<sup>2</sup>, а затем изоляционной лентой.

Лист органического стекла кладут на стол или доску с гладкой поверхностью, а затем, приложив к стеклу линейку, несколько раз проводят острием ножа по линии отреза. Края листа на разрезе получаются гладкими и не всегда требуют дополнительной обработки. При предварительной разметке надо учитывать, что ширина борозды должна быть равна толщине полотна ножовки. Фигурные детали из листового органического стекла можно вырезать обычным лобзиком.

Относительно невысокая температура плавления органического стекла позволяет резать его следующим образом. В лобзик вместо пилки вставляют нихромовую проволоку диаметром около 0,5 мм, к концам которой подводят напряжение 3–4 В от понижающего трансформатора

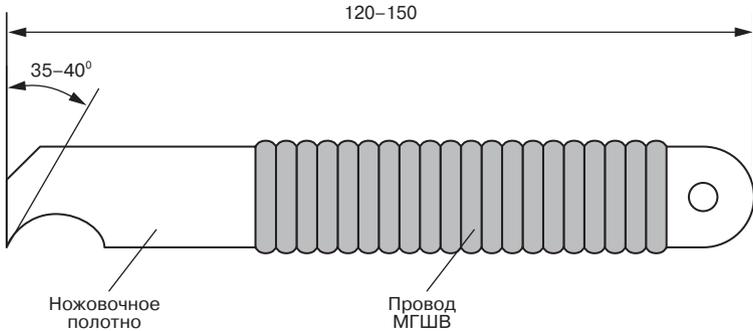


Рис. 5.7. Нож для резки органического стекла

(лобзик должен быть с деревянной рамкой или же с изолированными зажимами). В месте соприкосновения с нагретой проволокой органическое стекло будет плавиться. Этим способом можно вырезать пластинки любой формы. Подавать большее напряжение не рекомендуется, так как при перегреве стекло воспламеняется.

Вместо лобзика можно воспользоваться простым самодельным устройством (рис. 5.8). К проволоке диаметром не более 0,5 мм из сплава высокого сопротивления (никелин, нихром и т.п.) привязывают грузик. Для нагрева проволоки требуется постоянный или переменный ток напряжением 6–12 В.

При сверлении органического стекла необходимо иметь в виду, что сверло «вязнет» и застревает в материале. Чтобы избежать этого, необходимо применять сверла, отвечающие следующим техническим требованиям: угол подъема канавки –  $17^\circ$ , угол заострения –  $70^\circ$ , угол задней заточки –  $4\text{--}8^\circ$ . Обычные, стандартные сверла из быстрорежущей стали могут применяться при сверлении отверстий диаметром 4–5 мм.

Во избежание перегрева оргстекла и забивки сверла стружкой его периодически поднимают и очищают. При сверлении тонких листов, чтобы предотвратить выкрашивание стекла и застревание сверла, применяют сверла с углом при вершине  $55\text{--}60^\circ$ , а для сверления толстых листов угол у сверла должен быть  $90^\circ$ .

Сверление органического стекла производят на вертикально-сверлильном станке или с помощью ручной дрели на малой скорости вращения, чтобы оргстекло не перегревалось. Материал для сверления закрепляют зажимами или в тисках.

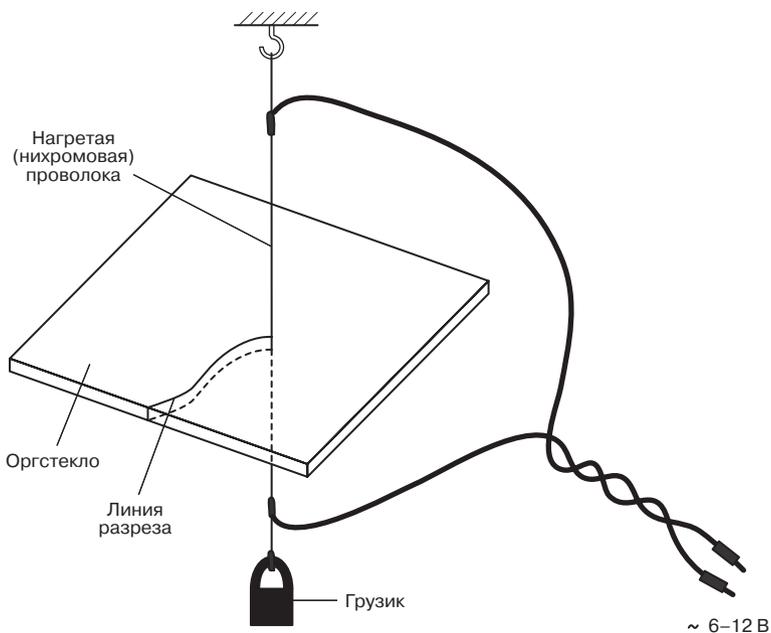


Рис. 5.8. Резка органического стекла

### 5.2.2. Склеивание органического стекла

Во многих случаях изделия из органического стекла состоят из отдельных деталей, которые при монтаже склеивают.

Основные виды соединения при *склеивании* органического стекла – внахлест, на ус, встык, в шпунт и с накладкой. Правильный выбор клея и метода склеивания обеспечивает необходимую прочность изделия и не портит его внешний вид. Например, при склеивании внахлест величина перекрытия не должна быть меньше четырехкратной толщины склеиваемого стекла. При склеивании на ус ширина стачиваемого угла не должна быть меньше трехкратной толщины материала. Склеивание на ус и встык требует тщательной подгонки поверхностей и т.д. Окончив работу, изделия выдерживают не менее 3 ч, зажав струбцинами или туго обвязав.

**Совет** *Склеивать органическое стекло следует под вытяжкой или на открытом воздухе, так как пары дихлорэтана вредны!*

Для склеивания органического стекла в основном применяют *клей*, представляющий собой раствор стружек или опилок оргстекла в каком-либо растворителе. Ниже приведено несколько подобных рецептов:

- раствор органического стекла (0,5–1,5%) в дихлорэтаноле;
- раствор органического стекла (0,5%) в смеси ацетона (60%) и уксусной эссенции (40%);
- раствор органического стекла (3–5%) в ледяной уксусной или муравьиной кислоте;
- раствор органического стекла в смеси ацетона (60%) и этилацетата (40%). При склеивании детали нагревают до 400 °С.

Наилучшие результаты достигаются при использовании клея, изготовленного на муравьиной кислоте, так как опилки плексигласа растворяются в ней за несколько минут, а схватывание при склеивании под давлением происходит в течение 10 мин.

Клей готовится следующим образом: в 100 г дихлорэтанола при интенсивном помешивании растворяют 2–5 г стружек или опилок оргстекла при комнатной температуре в течение 25–30 мин до получения прозрачного сиропа. Затем раствор оставляют для дальнейшего набухания стружки. Чтобы ускорить процесс, состав периодически перемешивают. После приготовления клей выдерживают не менее 2–3 суток. Клеевой раствор наносят на обе склеиваемые поверхности равномерным движением кисти в одну сторону. Необходимо следить за тем, чтобы не было непромазанных участков и пузырьков воздуха.

Клей хранят в стеклянной посуде с притертой пробкой при температуре 18–20 °С, но целесообразнее готовить клей в небольших количествах для разового применения.

### 5.2.3. Изготовление футляров и каркасов

Наиболее простой способ изготовления футляра – это склеивание из полосок органического стекла. Однако более красивый футляр можно сделать путем *штамповки* (выдавливания) нагретого органического стекла. Изготовив из сухого прочного дерева (бук, береза) *матрицы* и *пуансоны*, можно выдавливать корпус и крышку. Заготовки из листового органического стекла для корпуса и крышки помещают в кипящую воду или машинное масло и выдерживают до полного размягчения материала, после чего заготовку быстро вынимают из ванны, накладывают лист на матрицу и вдавливают пуансон с помощью

стоярной струбицы или тисков. Остывший корпус (или крышку) футляра вынимают из матрицы, удаляют ножом лишний материал, подгоняют корпус и крышку друг к другу. Для облегчения штамповки матрицу и пуансон рекомендуется подогреть до 60–80 °С.

Поверхность футляра из оргстекла обрабатывают сначала крупной, а затем мелкозернистой шкуркой и полируют на круге или куском войлока, используя полировочную пасту. Затем для удаления остатков пасты и машинного масла футляр промывают в теплой воде с мылом.

Футляр из прозрачного органического стекла будет выглядеть эффектно, если внутреннюю сторону покрыть сразу несколькими нитрокрасками. Окраска производится следующим образом: на лист плотной бумаги наливают 2–3 столовые ложки нитрокраски (допустим, белой). Когда краска достаточно расплывется по бумаге, к ней добавляют в разных местах 5–6 капель другой краски (например, черной), а затем такое же количество зеленой и 1–2 капли красной краски. Лист бумаги сгибают желобком и краску выливают на внутреннюю поверхность корпуса. Кисть при этом применять нельзя. Через 7–10 мин излишки краски выливают, и корпус ставят на просушку.

Если вам не понравится полученный цвет, краску нужно смыть растворителем и покрасить корпус вновь. После просушки корпус с внешней стороны протирают растворителем и полируют.

#### **5.2.4. Изготовление цилиндров и труб большого диаметра**

Для изготовления цилиндров используют прозрачное или цветное органическое стекло толщиной 5–6 мм. Предварительно подбирают металлическую трубку по заданному размеру. С помощью картонной ленты или другого материала, равного по толщине оргстеклу, определяют окружность цилиндра. Вырезают по размеру лист органического стекла, протирают поверхность заготовки содовым раствором и закрепляют с помощью металлических лент. Вспомогательное устройство состоит из двух деревянных брусков (один подвижный, другой неподвижный), металлической трубы (нужного размера), четырех стягивающих хомутов и паяльной лампы.

Металлическую трубу, на которой закреплен лист оргстекла, нагревают с двух сторон паяльной лампой. При этом постепенно передвигают подвижной брусок по окружности металлической трубы, сгибая

оргстекло. Температура трубы должна составлять 90–100 °С. Как только край согнутого оргстекла соединился встык с противоположным краем, нагрев трубы прекращают. Затем металлической трубе дают остыть до 18–20 °С и снимают с трубы готовый цилиндр.

### 5.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСОВ ИЗ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

#### 5.3.1. Свойства смолы

При конструировании различных устройств часто приходится изготавливать корпуса и футляры. Как правило, их делают из оргстекла или пластмасс, но из *эпоксидной смолы* методом литья в форму получают более надежные изделия. Это объясняется высокими конструктивными качествами, стойкостью к воздействию тепла и агрессивных химических компонентов, технологичностью использования.

У данного метода есть, конечно, и недостатки: приготовленная для использования смесь (смола плюс отвердитель) уже через 15–30 мин густеет вследствие полимеризации. Поэтому приходится готовить эпоксидную смесь в количестве, необходимом для разового использования, причем свежеприготовленная смесь довольно тягуча. Поэтому обработка смолой сложной детали с большим числом граней превращается в длительный, многостадийный процесс, с обязательным приготовлением на каждой стадии новой порции эпоксидной смеси. К тому же приходится каждый раз готовить несколько больше смеси, чем необходимо, в итоге бесполезно пропадает значительное количество смолы.

Необходимо отметить, что при повышении температуры скорость *полимеризации* смолы существенно увеличивается. И наоборот, поместив смесь в холодильник, можно убедиться, что низкая температура не позволяет смеси густеть.

Если нужно покрыть смолой несколько граней детали кубической формы, то можно приготовить смесь в количестве, необходимом для полной обработки всей детали. Готовить и хранить смесь лучше в стеклянной банке с плотной крышкой. Сначала смесь нужно нанести на одну из граней. Банку закрыть крышкой и поместить в морозильную камеру холодильника, а деталь – в теплое место (например, на крышку кастрюли с горячей водой – 80–90 °С).

Через 30–40 мин смола на детали теряет текучесть и можно нанести смесь на вторую грань. Детали дают остыть, а смеси – нагреться

до комнатной температуры. Для этого обычно хватает 10–15 мин. Затем обрабатывают следующую грань, а остаток смеси помещают в морозильную камеру. Практически удается проводить четырехкратное охлаждение-разогревание смеси. Качество отвержденной смолы от этого не ухудшается. Следует отметить, что успех описанного технологического процесса в значительной мере будет зависеть от качества *отвердителя* для эпоксидной смолы и количества его в смеси. Поэтому перед работой, связанной с расходом большого объема смолы, следует провести несколько проб, чтобы опытным путем определить оптимальный состав смеси.

### 5.3.2. Метод литья

Рассмотрим технологию изготовления корпуса для измерительного прибора методом *литья*. Лучшим материалом для изготовления формы является оргстекло, так как оно легко обрабатывается.

В качестве материала для литья чаще всего используются смолы ЭД-5 и ЭД-6 с аминосодержащими отвердителями. Смола ЭД-5 прозрачная, низковязкая. Она содержит до 2,5% растворителя, коэффициент усадки несколько больше, чем у смолы ЭД-6.

Смола ЭД-6 прозрачная, вязкая. В нее добавляют пластификаторы – сложные эфиры двухосновных кислот (дибутилфталат, трикрезилфосфат). Пластификаторы снижают хрупкость и повышают пластичность пластмассы. Если в смолу добавить краситель, то можно получить красивую и прочную отливку любой формы и любого цвета.

Масса для литья изготавливается так: на 100 частей смолы (по весу) берется 8–12 частей отвердителя. После тщательного размешивания масса заливается в форму. В смолу марки ЭД-6 сначала нужно добавить 10–15 частей пластификатора. Если смола густая, то перед смешиванием с отвердителем ее нужно развести толуолом до консистенции сметаны либо подогреть в термостате или водяной бане при температуре не более 40 °С. Сильно подогревать смолу не следует, так как при добавлении отвердителя в результате реакции смесь дополнительно нагревается. Опыт показывает, что разогретая жидкая смола хоть и легче заливается, но хуже отстает от формы, сделанной из оргстекла.

Для придания цвета можно использовать масляно-казеиновые красители любых цветов и оттенков в количестве от 3% и более.

Например, пластмассу красного цвета получают при помощи ярко-красного кадмия. Можно применять другие красители и наполнители в порошках, но следует предварительно проверить реакцию на них смолы. Так, некоторые сорта синих красителей после добавления

в смолу меняют цвет с голубого на серый. Анилиновые красители применять нельзя, так как они в эпоксидной смоле не растворяются.

*Форму* из оргстекла перед заливкой смолы можно не смазывать. Если же она изготовлена из другого материала, то ее поверхность нужно смазать техническим вазелином или покрыть тонким слоем резинового клея, сильно разведенного в бензине. Такая пленка не дает пристать смоле к форме и облегчает извлечение детали.

Форму можно изготовить из любого материала. Необходимо помнить, что чем чище поверхность формы, тем чище и красивее получается отливка, будь то корпус прибора или отдельная деталь.

Для корпуса измерительного прибора форму можно изготовить следующим образом. Сначала оргстекло толщиной 2–3 мм режется на полоски, из которых склеиваются две рамки различных размеров, затем рамки вставляются одна в другую (рис. 5.9). Смола заливается между двумя рамками. После затвердения смолы рамки разбираются по склейкам, а углы и торцы отливки обрабатываются напильником. Поверхности, которые прилежали к форме, дальнейшей обработки не требуют.

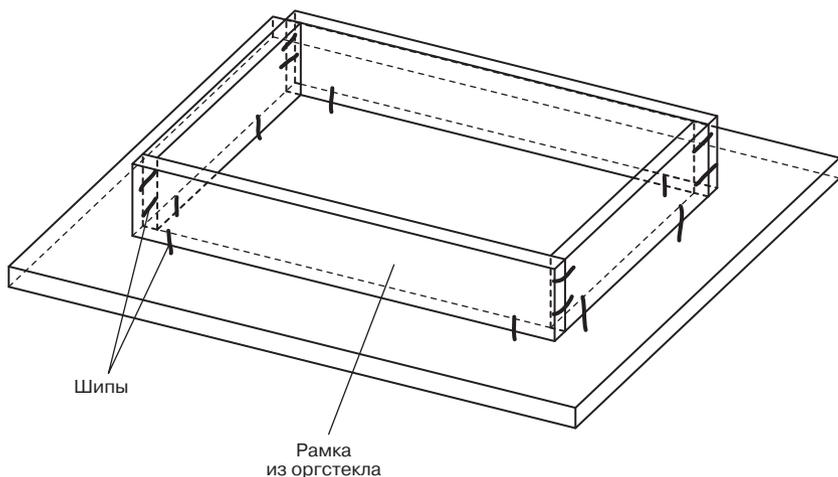


Рис. 5.9. Технология изготовления корпуса из эпоксидной смолы

**Совет** При работе со смолой нужно соблюдать некоторые меры предосторожности. Необходимо следить, чтобы она не попала на кожу. Если это произойдет, смолу необходимо смыть толуолом, а затем водой с мылом.

### 5.3.3. Заливной корпус

Радиолюбители нередко испытывают затруднения при изготовлении корпусов, особенно если конструкции предстоит работать в тяжелых условиях, например, под капотом автомобиля. В тех случаях, когда устройство имеет сравнительно небольшие размеры, можно рекомендовать полную *заливку* конструкции эпоксидным клеем с наполнителем. Готовое изделие в этом случае представляет собой прямоугольный кирпичик из эпоксидной смолы с гладкими гранями.

Для заливки нужно изготовить форму из оргстекла, полистирола, дюралюминия или, например, вылепить из пластилина. В форму наливается клей. Затем туда погружается сама плата, выключатели и переменные резисторы так, чтобы их ручки оставались на поверхности. Кроме того, нужно исключить попадание клея внутрь выключателя или резистора. Для этого надо замазать все щели пластилином или заклеить клеем «Момент» или другим подобным. Красители, подмешанные в состав клея, придадут корпусу эстетический вид. Однако следует учесть, что отремонтировать такое «замурованное» устройство невозможно, поэтому этот метод требует точности и определенных практических навыков.

Плату под заливку следует изготовить таким образом, чтобы она удовлетворяла двум требованиям. Во-первых, она должна иметь припуски по длине с обеих сторон для крепления готового устройства. Во-вторых, монтаж на плате должен быть «поверхностным», то есть детали монтируют со стороны печатных дорожек, припаивая выводы к фольге. Никаких отверстий под выводы не предусматривается. Таким образом, у готового устройства пять граней эпоксидные, а шестая представляет собой наружную сторону платы. Но если по углам платы приклеить шайбы толщиной 3–5 мм, то клей проникнет и под саму плату.

Выводы изготавливают из гибкого провода в ПВХ изоляции (или лучше – в полиэтиленовой). Перед заливкой их пропускают через отверстия в стенке формы или выводят сверху.

Светодиодные цифровые индикаторы можно установить вплотную к одной из стенок формы, перед заливкой их лицевую поверхность целесообразно покрыть тонким слоем эпоксидного клея без наполнителя.

При отверждении эпоксидная смола дает некоторую усадку, в результате чего на поверхности изделия, как правило, в середине той грани, которая была обращена вверх, могут образоваться небольшие углубления – раковины. Уменьшению усадки способствует введение в смолу

*наполнителя.* Лучшим наполнителем считается порошкообразная окись алюминия. Удовлетворительные результаты дает применение талька или хорошо высушенных порошков гипса, мела и др.

В чистой посуде готовят необходимое количество эпоксидного клея, добавляют в него наполнитель и тщательно перемешивают. Желательно, чтобы при этом не образовывалось слишком много пузырьков воздуха (пена потом может доставить много хлопот). Готовый компаунд должен иметь консистенцию очень густой сметаны. Смешивание клея ЭКФ с тальком после затвердевания дает непрозрачную заливку приятного серо-коричневого цвета, а из клея ЭДП получается полупрозрачная заливка красно-коричневого цвета. Для заливки годится также эпоксидная шпатлевка без дополнительного наполнителя. Форму для затвердевания смолы оставляют в теплом месте не менее чем на 10 часов.

#### **5.4. ОТДЕЛКА ДЕРЕВЯННОГО КОРПУСА**

Изготовление корпуса из древесины обычно не вызывает особых трудностей. Необходимо лишь учитывать область применения *деревянных корпусов*: акустические системы, радиоэлектронные приборы большого размера и т.д. Окрасить готовый деревянный корпус несложно. Некоторые способы окраски рассмотрены в главе 6.

Облицовка деревянных изделий или конструкций пластиком или пленкой – один из самых простых способов отделки. Однако несоблюдение некоторых элементарных требований может привести к неприятным сюрпризам.

Прежде всего, следует иметь в виду, что удобнее отделять детали, а не изделие целиком. По готовой детали вырезают облицовочный материал с припуском 2–3 мм. Обратную сторону пластика зачищают шкуркой, а непосредственно перед оклеиванием обезжиривают ее ацетоном или бензином. Одновременно с декоративным слоем на обратную сторону детали наклеивают компенсирующий слой (шпон или такой же пластик), предохраняющий деталь от коробления, если ее стенки тонкие.

Пластиком облицовывают столы, шкафы, тумбочки, футляры радиоприемников, радиол и т.п. Этот материал наклеивают на доски, бруски, фанеру, древесностружечные и древесноволокнистые плиты. Во время работы следует принять все необходимые меры, чтобы предохранить лицевую сторону материала от царапин, вмятин, потускнения, глянца и других дефектов.

Пластик приклеивают карбамидными клеями, поливинилацетатной эмульсией и обычным казеиновым клеем средней густоты. Для этого основу и пластик намазывают равномерным слоем клея и оставляют его для открытой пропитки на 4–6 мин. Затем пластик кладут на деталь, накрывают сверху бумагой или картоном в несколько слоев и зажимают в струбцинах или под прессом. После 3–4-часовой выдержки под давлением необходимо еще не менее 2 суток для сушки перед дальнейшей обработкой.

Очень удобна для отделки деревянных изделий декоративная самоклеящаяся пленка ПВХ с клеевым слоем, защищенным специальной бумагой. Можно подобрать пленку на любой вкус – глянцевую или матовую, тисненую, имитирующую текстуру древесины различных пород – орех, красное дерево, дуб, ясень, бук и др.

<b>1</b>	Рабочее место радиомонтажника	11
<b>2</b>	Гальваническое соединение деталей	43
<b>3</b>	Изготовление печатных плат	63
<b>4</b>	Монтаж печатной платы	109
<b>5</b>	Изготовление корпуса	129

## **6**      **ОКРАСКА ДЕТАЛЕЙ**

<b>Подготовка к окраске</b>	<b>148</b>
<b>Окраска деревянных деталей</b>	<b>153</b>
<b>Окраска металлов</b>	<b>157</b>
<b>Окраска органического стекла</b>	<b>168</b>
<b>Покрытие деталей светящимися красками</b>	<b>172</b>

<b>7</b>	Технологические секреты	175
<b>8</b>	Электрические измерения и расчеты	201
<b>9</b>	Приложения	229

## 6.1. ПОДГОТОВКА К ОКРАСКЕ

### 6.1.1. Обезжиривание

Чтобы краска прочно и долго держалась, металлическую поверхность необходимо *обезжирить*. Сильно загрязненные детали можно промыть в керосине или скипидаре. Затем операцию повторяют, используя технический бензин или бензол, ксилол или толуол. Окончательное обезжиривание достигается при промывке в чистом бензине, трихлорэтилене или других растворителях. Недостатком применения этих веществ является их огне- и взрывоопасность (бензин, бензол, ксилол и толуол) и ядовитость паров (трихлорэтилен, бензин, бензол, ксилол и толуол). Поэтому разрешается работать с ними только в хорошо проветриваемых помещениях.

В настоящее время в промышленности для этих целей широко применяются *фреоны*. В отличие от вышеуказанных веществ фреон не взрывоопасен, не ядовит, не разрушает пластмассы и лакокрасочные покрытия. Фреон-113 (3-хлор-3-фторэтан) – самое лучшее обезжиривающее средство из группы фреонов. Это прозрачная легкоподвижная жидкость с низкой температурой кипения (47,6 °С). Иногда фреон-113 смешивают с другими растворителями – ацетоном или спиртом.

При необходимости фреоновые обезжиривающие ванны снабжают ультразвуковыми излучателями или используют кипящий фреон, что максимально ускоряет процесс растворения жиров. Однако из-за высокой стоимости фреон не находит широкого применения среди радиолюбителей.

Для обезжиривания алюминия и других цветных металлов применяются также различные *химические растворы* (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Химические растворы для обезжиривания цветных металлов

Состав	Количество, г	Способ приготовления и применения
<b>Раствор № 1</b>		
Жидкое стекло	30	Указанные компоненты растворяют в 1 л теплой воды в железной посуде (можно кастрюле), затем детали, которые нужно окрасить, помещают на 1–2 мин в этот раствор, нагретый до 50–60 °С
Тринатрийфосфат	50	
Гидроксид натрия	10	
Вода	1000	

Таблица 6.1. Химические растворы для обезжиривания цветных металлов (окончание)

Состав	Количество, г	Способ приготовления и применения
<b>Раствор № 2</b>		
Жидкое стекло	26	Указанные компоненты растворяют в воде и доводят объем до 1 л
Тринатрийфосфат	8	
Углекислый натрий безводный	4	
Вода	1000	

Если под рукой нет никаких растворителей, то обезжиривание можно провести с помощью обычного хозяйственного мыла или стирального порошка, тщательно протерев в растворе деталь жесткой щеткой в течение 10 мин.

### 6.1.2. Полирование

Чтобы устранить мелкие царапины на поверхности и придать детали хороший внешний вид, металл *полируют*. Для этого существуют различные полировочные пасты. Неплохих результатов позволяет достичь электролитическое полирование. Предмет помещают в электролитическую ванну и подводят к нему положительный потенциал от источника постоянного тока, выпрямителя или аккумулятора. Отрицательный потенциал подключается к алюминиевому корпусу ванны. В табл. 6.2 приведены некоторые рецепты для полирования металлов электролитическим способом.

Таблица 6.2. Электролиты для полирования металлов

Состав	Количество	Способ приготовления и применения
<b>Состав № 1. Полирование стали, железа и его сплавов</b>		
Серная кислота концентрированная	300 мл	Электролит готовят в стеклянной или фарфоровой посуде. Температура ванны около 70 °С, плотность тока 600–700 мА/см <sup>2</sup> . Полирование длится 1–5 мин
Ортофосфорная кислота концентрированная	600 мл	
Вода	100 мл	
<b>Состав № 2. Полирование меди и ее сплавов</b>		
Серная кислота концентрированная	10 г	Рабочая температура электролита 60–75 °С, плотность тока 250–500 мА/см <sup>2</sup>
Уксусная кислота	12,5 г	
Хромовый ангидрид	12,5 г	
Дихромат натрия	37,5 г	
Вода	1 л	

Таблица 6.2. Электролиты для полирования металлов (окончание)

Состав	Количество	Способ приготовления и применения
<b>Состав № 3. Полирование алюминия</b>		
Этиловый спирт денатурированный	576 мл	Полирование производится при напряжении 20–24 В. Рекомендуется через 1 мин вынуть деталь из ванны (при этом прекращается пассивация), снова погрузить и повторять так несколько раз
Хлорид аммония	40 г	
Хлорид цинка	180 г	
Бутиловый спирт	64 г	
Вода	128 мл	

Отполированные детали после извлечения из ванны отмывают в проточной воде, погружают в 10-процентный раствор карбоната натрия и опять промывают в проточной воде. Сушат детали в струе теплого воздуха.

### 6.1.3. Анодирование алюминиевых деталей

Детали или изделия из алюминия и его сплавов на воздухе окисляются, и на их поверхности образуются неравномерные пятна сероватого налета, портящие внешний вид. Для защиты поверхности алюминиевых деталей обычно используется *аномирование*, то есть анодное окисление поверхности, в результате которого на ней образуется тонкий активный слой, препятствующий дальнейшей более глубокой коррозии. Анодированная поверхность ровная и имеет бледно-серый цвет. После анодирования алюминиевые изделия легко окрасить практически в любой цвет обычными анилиновыми красителями.

Делают это следующим образом. Отполированные до зеркального блеска детали обезжиривают, например, в растворе № 1. Обезжиренные детали промывают холодной водой, затем для удаления пленки оксидов погружают на 2–3 мин в 50-процентную азотную кислоту. Затем детали снова тщательно промывают сильной струей воды и немедленно подвешивают в ванну анодирования.

*Электролитом* для ванны анодирования служит 20-процентный раствор серной кислоты с удельным весом 1,12–1,13 при температуре 20 °С. При смешивании кислоты с водой раствор сильно разогревается, поэтому кислоту следует подливать в воду небольшими порциями, все время перемешивая раствор стеклянной палочкой. При попадании раствора на кожу или одежду необходимо немедленно смыть его струей воды и нейтрализовать действие кислоты крепким раствором соды.

Указанный способ создает некоторые неудобства, поскольку необходимо наличие, как минимум, самой серной кислоты, которую не всегда легко найти в продаже; потребуется ареометр для измерения плотности раствора; наконец, агрессивность раствора предполагает соблюдение определенных мер безопасности.

Однако анодирование может производиться и без серной кислоты. Эффективен и более безопасен электролит, приготовленный из дисульфата натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$ , 200–300 г которого растворяют в 1 л воды. Рабочая температура электролита должна быть не более 20 °С. В качестве ванны можно использовать эмалированные кастрюли, керамические, стеклянные или пластмассовые бачки.

Еще проще провести анодирование с помощью таких всегда имеющихся в домашнем хозяйстве химических соединений, как бикарбонат натрия (питьевая сода) и хлорид натрия (поваренная соль).

Сначала раздельно готовят два насыщенных раствора питьевой соды и поваренной соли в кипяченой воде комнатной температуры. Следует взять избыточное количество соды и соли, растворение ведут не менее получаса, время от времени помешивая состав стеклянной палочкой. Затем растворам дают отстояться в течение 10 мин и отфильтровывают от осадка. Электролит готовится в стеклянной посуде из девяти объемных частей раствора соды и одной объемной части раствора соли, составляющие необходимо тщательно перемешать.

Детали, подлежащие анодированию, изготавливают с небольшой площадкой, так называемым технологическим контактным лепестком, который после анодирования удаляется. В нем сверлят отверстие для крепления под винт. Деталь тщательно зачищают мелкой шкуркой, обезжиривают в любом стиральном порошке и промывают в проточной водопроводной воде, после чего к ее поверхности не следует прикасаться руками.

К лепестку с помощью винта и гайки присоединяют провод, предназначенный для подключения детали к положительному полюсу источника тока. Лепесток, винт с гайкой и конец провода покрывают слоем пластилина, чтобы исключить их взаимодействие с электролитом. Затем вся деталь протирается ватой, смоченной ацетоном, и подвешивается в ванночку. Для этого можно использовать изоляционный стержень из текстолита или оргстекла, положенный на борта ванночки. Ванночка, изготовленная из алюминия, соединяется с минусом источника тока через последовательно включенный амперметр

и переменный резистор для регулировки тока. Подвешенная деталь не должна касаться ванночки, минимальное расстояние составляет около 10 мм.

В ванночку заливается электролит, он должен покрывать всю деталь, соединенную с плюсом источника тока. В процессе анодирования видно, что поверхность детали начинает покрываться пузырьками газа и легким серым налетом, что указывает на начало реакции. Ориентировочная плотность тока должна составлять 10–20 мА/см<sup>2</sup>. Эту величину нужно умножить на площадь поверхности детали в квадратных сантиметрах. Полученное значение тока следует поддерживать с помощью переменного резистора, используя для измерений амперметр. Продолжительность анодирования составляет от одного до полутора часов. Завершение процесса можно определить и визуально: вся деталь должна покрыться ровным голубовато-серым налетом.

В качестве источника тока можно использовать автомобильный аккумулятор или выпрямитель, рассчитанный на напряжение 12–15 В и ток порядка 1,5 А. Если будет использоваться регулируемый источник тока, необходимость в переменном резисторе отпадает.

После окончания анодирования деталь промывают в проточной воде, а затем при помощи ватного тампона, смоченного теплым раствором перманганата калия (марганцовки), очищают от продуктов электрохимической реакции. Поверхность детали после этого становится гладкой и приобретает светло-серый оттенок. Потребуется густо темный раствор марганцовки, в нем не должно быть нерастворившихся крупинок. Затем деталь вновь промывают в проточной воде и высушивают. После этого деталь можно покрыть тонким слоем бесцветного лака.

В качестве катода при анодировании применяют также листовой свинец, а анодом служит обрабатываемая деталь, которую подвешивают между двумя свинцовыми катодами на расстоянии 70–80 мм от каждого. Электролиз длится 40–50 мин, плотность постоянного тока должна составлять 10–15 мА/см<sup>2</sup>.

Следует помнить, что анодируются детали только из алюминия или его сплавов. Подвески для деталей изготавливают исключительно из алюминия. Все соединения и контакты должны быть надежными, так как от этого зависит качество анодирования. Загружать детали в ванну и вынимать их следует только под напряжением.

## 6.2. ОКРАСКА ДЕРЕВЯННЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 6.2.1. Покрытие лаком

*Покрытие лаком* – наиболее распространенный вид отделки древесины. Качество лаковой пленки зависит от марки выбранного лака, способ его нанесения и количества слоев.

*Масляные лаки* образуют наиболее прочные, влагостойкие покрытия с сильным блеском, но их недостатком является достаточно длительная сушка (48 ч). Масляные лаки рекомендуются для всех видов древесины. Лак наносят тампоном или кистью в 1–2 слоя.

*Спиртовые лаки* дают эластичную пленку с более мягким блеском, чем масляные, но менее водостойкую. Лучшими считаются лаки, приготовленные на основе шеллака. Они высыхают за 1–1,5 ч.

*Нитролаки* образуют довольно стойкую с сильным блеском пленку, достаточно водостойкую, более прочную, чем слой спиртовых лаков, и высыхают за 15–25 мин. Нитролаки наносят на все породы древесины 3–5 раз, чаще всего с помощью кистей, а лучше путем распыления.

Перед покрытием лаком поверхность древесины механически обрабатывают (шлифуют) и грунтуют. *Грунтовки* по консистенции разделяются на жидкие и густые, первые применяются для грунтования мелкопористых пород древесины, вторые – крупнопористых.

Для дополнительного подкрашивания древесины можно добавить пигменты соответствующих цветов непосредственно в грунтовку. В табл. 6.3 приведены рецептуры наиболее часто употребляемых грунтовок и грунтовочных паст.

Таблица 6.3. Рецептуры грунтовок

Грунтовка	Состав (в весовых частях)	Способ приготовления	Область применения
Канифольная	Сосновая канифоль – 30; спирт-сырец – 15	Растворить канифоль в теплом спирте	Грунт под шеллачный и идиоловый лаки
Шеллачная	Борный шеллак – 30; спирт-сырец – 15	Растворить шеллак в теплом спирте	Грунт под шеллачный и спиртовой лаки
Олифа	Олифа натуральная		Грунт под масляный лак
Нитрогрунтовка	Целлюлоза – 15; растворитель № 646 – 30; касторовое масло – 0,5	Растворить целлюлозу в растворителе, добавить касторовое масло и тщательно перемешать	Грунт под нитролаки

Таблица 6.3. Рецептуры грунтовок (окончание)

Грунтовка	Состав (в весовых частях)	Способ приготовления	Область применения
Паста канифольно-казеиновая	Канифоль – 6; скипидар – 15; казеин – 5; вода – 25	Приготовить казеиновый клей, разогреть до 50 °С и влить в него раствор канифоли в скипидаре	Грунт под масляные и спиртовые лаки для крупнопористых пород древесины

В хозяйственных магазинах можно приобрести порозаполнители КФ-3 и КФ-2, которые предназначены для обработки крупнопористой древесины при отделке нитроцеллюлозными лаками. Порозаполнитель представляет собой раствор растительных масел и смол в органических растворителях, он препятствует впитываемости лака в древесину. КФ-2 рекомендуется для обработки древесины светлых пород (дуба и ясеня), КФ-3 – для красного дерева.

### 6.2.2. Вошение

В радиолюбительской практике часто приходится иметь дело с крупнопористыми породами дерева (бук, дуб и другие). Лучшим видом отделки такой древесины является *вошение*, то есть нанесение на поверхность древесины восковых вакс с последующей их полировкой. Красиво выглядят деревянные конструкции, в которых умело сочетаются вошенные и полированные детали.

Восковые ваксы не требуют дополнительного грунтования, так как сами являются хорошими порозаполнителями и прочно держатся на поверхности древесины. Вошенная поверхность подчеркивает текстуру древесины, а мягкий и нежный блеск придает ей чрезвычайно красивый вид.

Поверхность дерева подготавливают так же, как и под полирование, то есть зачищают, шлифуют и удаляют с нее ворс. После подготовки дерево покрывают восковой ваксой (пастой). Температура ваксы не должна превышать 20–25 °С; при более высокой температуре могут появиться темные пятна.

Восковую пасту изготавливают следующим образом. 100 г натурального пчелиного воска распускают на медленном огне. В отдельной посуде разогревают на водяной бане 200 г очищенного скипидара. Затем малыми дозами при интенсивном помешивании горячий воск вливают в скипидар. Смесь тщательно размешивают и дают остыть до

комнатной температуры. При нанесении ваксы необходимо следить за тем, чтобы она ложилась ровно по всей поверхности и без пропусков. Деталь сушат в течение суток при комнатной температуре.

После высыхания поверхность полируют суконкой до равномерно блеска. В начале полировки суконка идет с трудом из-за налипшего на нее воска, поверхность выглядит грязной и некрасивой. По мере стирания воска и его разравнивания суконка двигается легче, поверхность очищается от грязи и становится гладкой и блестящей. По окончании полировки деталь ставят на просушку на 2–3 суток, после чего протирают чистой мягкой ветошью.

Чтобы закрепить глянец и сделать покрытие более прочным, на поверхность наносят слой шеллачного лака, разведенного шеллачной политурой (1:1). Закрепить покрытие можно также шеллачной политурой, в которой растворяют 5–7% восковой ваксы.

### 6.2.3. Имитация под ценные породы древесины

Цвет и текстура древесины зависит, прежде всего, от ее породы. Однако цвет при необходимости можно изменить с помощью специальных красителей. Качество имитации зависит не только от красителей, но и от древесины, подвергшейся обработке. В настоящее время в продаже имеется множество различных легко проникающих в древесину декоративно-защитных покрытий и составов для имитации ценных пород дерева. Наиболее известны ореховая морилка, Акватекс, Албитекс, Белинка, Кофадекс, Пенетрекс, Пинотекс.

Однако не всегда можно найти те оттенки *красителя*, которые вас интересуют. Для окраски древесных пород в разные цвета, а также для имитации под ценные породы дерева можно самостоятельно приготовить следующие составы.

*Окраска древесины сосны, ели, березы и бука в коричневый цвет.* Берут 3 г кислотного хромкоричневого красителя, 3 г уксусной эссенции и 10 г алюминиевых квасцов на 1 л воды.

*Окраска древесины березы и бука под красное дерево.* Готовят два раствора: 50 г медного купороса на 1 л воды и 100 г желтой кровяной соли на 1 л воды. Вначале поверхность обрабатывают раствором медного купороса, затем выдерживают 10 мин и наносят раствор желтой кровяной соли.

*Окраска древесины березы под орех.* Берут 20 г ореховой морилки и 2 г бейца № 10 на 1 л воды.

*Окраска под старый дуб.* Берут 16 г поташа, 20 г сухой краски «анилин коричневый», 20 г синей краски. Все ингредиенты растворяют в 0,5 л воды, смесь кипятят 20–30 мин, затем добавляют чайную ложку уксуса. Поверхность дерева покрывают горячим раствором с помощью кисти.

*Окраска под «седой» дуб.* Обработанную поверхность древесины дуба окрашивают сначала черным спиртовым лаком. Когда лак высохнет, на поверхность насыпают «серебряный» (алюминиевый) порошок. Затем чистым тампоном втирают его в поры дуба. Остатки порошка примерно через час удаляют чистым тампоном с поверхности. Порошок, оставшийся в порах дерева, пристанет к лаковому слою, и на дубе появится «седина». Подсушенную окрашенную поверхность протирают вдоль волокон комком конского волоса или древесной стружкой, затем покрывают бесцветным спиртовым или масляным лаком.

Для имитации под ценные породы древесины можно также использовать следующие водорастворимые промышленные красители для дерева (МРТУ 6-14-204-69):

- краситель № 1 красновато-коричневый для окраски бука под красное дерево;
- красители № 5, 6 и 7 светло-коричневые для окраски бука и ясеня под светлый орех;
- краситель № 10 желтовато-коричневый для окраски березы и ясеня под орех;
- красители № 11, 12, 13 и 14 орехово-коричневые для окраски березы, ясеня и бука под орех среднего и темного тона;
- краситель № 122 оранжево-коричневый для окраски березы и ясеня под орех;
- краситель № 124 красный для окраски березы, дуба и бука под красное дерево.

Водорастворимые красители готовят следующим образом. Отмеряют необходимое количество порошка, затем растворяют его в небольшом объеме горячей воды (не менее 95 °С) и тщательно размешивают. Полученную массу выливают в горячую воду и также перемешивают. Раствор красителя отстаивают в течение 48 ч, затем фильтруют через два слоя марли и наносят на изделия тампоном, кистью или распылением. Раствор красителя может иметь различную концентрацию в зависимости от требуемого тона окраски.

## 6.3. ОКРАСКА МЕТАЛЛОВ

### 6.3.1. Окраска изделий из алюминия и его сплавов

После анодирования поверхность чистого алюминия остается блестящей, а некоторые алюминиевые сплавы приобретают матовый темный оттенок (это зависит от электрического режима анодирования). Далее деталь может быть окрашена в самые различные цвета. Для этого ее погружают в нагретый до температуры 50–60 °С 10-процентный раствор *анилинового красителя*, который следует предварительно профильтровать, так как нерастворившиеся крупинки образуют пятна на поверхности окрашенного металла и портят вид. Анилиновые красители (порошки для окраски шерстяных тканей) свободно продаются в магазинах хозяйственных или бытовой химии. Насыщенность окраски зависит от времени пребывания детали в красителе, которое тем не менее не должно превышать 15–20 мин. После окраски деталь промывают в проточной воде, высушивают и покрывают бесцветным лаком.

Для окрашивания применяют 5–10-процентные водные растворы следующих красителей:

- черный цвет – черный анилиновый М или анилиновый прямой черный-3;
- коричневый – основной коричневый;
- золотисто-желтый – прямой желтый 2Ж<sup>1</sup> или ализариновый желтый;
- красный – красный ализариновый или кислотный рубиновый;
- синий – синий кислотный антрахиноновый или прямой синий М;
- голубой – анилиновый голубой или метиленовый голубой;
- зеленый – прямой зеленый ЖХ или основной ярко-зеленый;
- фиолетовый – основной фиолетовый.

*Имитация под золото* заслуживает особого внимания. Детали после обработки только по весу можно отличить от натурального золота. Окраска получается прочной и светостойкой. Раствор для окрашивания готовят так: 1 г красителя оранжевого 2Ж растворяют в 0,5 л горячей воды, в раствор добавляют 0,1 г красителя желтого-3 и 0,5 г

---

<sup>1</sup> «Прямой желтый 2Ж», «основной фиолетовый» и т.д. – промышленные наименования красителей.

кальцинированной соды. После охлаждения раствор фильтруют. Отдельно в 0,5 л горячей воды растворяют 0,1 г красителя черного М. Этот раствор также фильтруют. Перед крашением оба раствора смешивают и нагревают до 50–60 °С. В зависимости от времени выдержки деталей можно получить окраску под любую пробу золота.

Окрашивать анодированные детали из алюминия и его сплавов можно не только в указанных растворах органических красителей. Для этой цели используют и перечисленные ниже цветные *неорганические* соединения, которые образуются непосредственно в порах анодированного металла после последовательного погружения его сначала в водный раствор А, затем в водный раствор Б (табл. 6.4).

Таблица 6.4. Растворы для окрашивания алюминия

Цвет	Раствор А	Раствор Б
<b>Белый</b>	Ацетат свинца, 10-процентный раствор	Сульфат натрия (глауберова соль), 10-процентный раствор
<b>Синий или голубой</b>	Железосинеродистый калий, 50-процентный раствор	Хлорид железа, 5–10-процентный раствор
<b>Золотисто-желтый</b>	Гипосульфит, 5-процентный раствор	Ацетат свинца, 5-процентный раствор
<b>Оранжевый</b>	Хромат калия, 2–3-процентный раствор	Нитрат серебра, 5–10-процентный раствор
<b>Коричневый</b>	Железосинеродистый калий, 2–5-процентный раствор	Медный купорос, 5–10-процентный раствор

После адсорбционного окрашивания детали промывают горячей водой и погружают на 2–3 мин в расплавленный воск или парафин, затем еще горячие детали протирают марлей.

Если на анодированную поверхность нанести оксидную пленку, то процесс окрашивания станет проще. Для этого алюминиевую деталь помещают на 10 мин в специальный раствор, нагретый до 80 °С. Затем деталь надо тщательно промыть в проточной воде. Чтобы приготовить раствор для *оксидирования*, необходимо в 1 л воды растворить 50 г кальцинированной соды, 15 г хромовокислого натрия и 1 г силиката натрия. Окраска алюминия по оксидной пленке проводится в соответствии с табл. 6.5, деталь помещают сначала в раствор № 1, а затем в раствор № 2 (окраска в золотисто-зеленый цвет производится в растворе из двух составляющих). Состав растворов приведен в расчете на 1 л воды.

Таблица 6.5. Растворы для окрашивания алюминия по оксидной пленке

Цвет	Состав раствора	Количество, г	Температура раствора, °С	Время, мин
Золотисто-зеленый	1. Дихромат калия	15	100	2–4
	2. Кальцинированная сода	4		
Черный	1. Щавелевокислое аммонистое железо	50	60	0,5–1
	2. Ацетат кобальта	50	60	1
	3. Перманганат калия	50	80	3–5
Белый	1. Нитрат бария	10	60	30
	2. Сульфат натрия	10		
Синий	1. Хлорид железа	10	60	20
	2. Железосинеродистый калий	10		
Желтый	1. Ацетат свинца	10	90	20
	2. Дихромат калия	10		
Оранжевый	1. Нитрат серебра	10	75	10
	2. Хромат калия	10		
Коричневый	1. Медный купорос	10	60	20
	2. Железосинеродистый калий	10		

*Отделка алюминиевой поверхности под перламутр.* Алюминий защищают металлической щеткой, делая небольшие штрихи в разных направлениях (создавая определенный рисунок). Стружку и грязь удаляют с поверхности чистой ветошью.

Чистую алюминиевую поверхность покрывают ровным слоем 10-процентного раствора гидроксида натрия (едкого натра) при температуре 90–100 °С. После высыхания на алюминиевой поверхности образуется красивая пленка с перламутровым отливом. Для лучшей сохранности пленку покрывают бесцветным лаком. Более красивая пленка получается, если перед нанесением раствора изделие или деталь нагреть до 80–90 °С.

*Матирование панели из дюралюминия.* При механической обработке лицевой панели прибора обычно не удается полностью избавиться от мелких царапин и шероховатостей, оставшихся после шлифования даже мелкозернистой наждачной бумагой. Чтобы придать панели красивый матовый молочный цвет, необходимо отшлифованную поверхность обработать раствором щелочи. В этом случае можно воспользоваться средством для очистки от загрязнений канализационных труб

(например, «Крот-С» или подобным). В посуде емкостью 0,5 л надо приготовить раствор из двух столовых ложек средства и 450 мл кипяченой воды при температуре 20–25 °С. Помешивать до полного растворения гранул.

Панель следует поместить на деревянную подставку и тампоном из марли, намотанной на конец деревянного стержня, в течение минуты сильно смачивать ее раствором. Движения должны быть равномерными, как при окрашивании. Затем панель надо тщательно промыть в проточной воде и высушить. В заключение на панель можно осторожно нанести надпись из переводного шрифта.

Следует иметь в виду, что матовый слой весьма тонок и непрочен и легко разрушается даже от соприкосновения с металлическими предметами. Поэтому его необходимо защищать слоем бесцветного или подкрашенного лака, например мебельного нитролака.

### 6.3.2. Покрытия для латуни

*Лак для латуни (пассирование латуни).* Изделия из латуни на воздухе быстро тускнеют и окисляются. Чтобы предохранить отполированные до блеска поверхности от окисления, изделия часто покрывают лаком.

При *пассировании* латуни образуется устойчивая защитная пленка, которая не боится влаги, поэтому рыболовы часто пассируют латунные блесны. Зачищенную, отполированную, обезжиренную деталь опускают на 1 с в раствор, приготовленный из 1 части азотной и 1 части серной кислоты, и сразу же переносят в насыщенный раствор дихромата калия (хромпика) на 10–15 мин. Затем деталь промывают и сушат.

Более простой и доступный способ заключается в следующем: латунную деталь после тщательной очистки и полировки погружают в 10–15-процентный раствор какой-либо щелочи для удаления жиров с поверхности. Затем деталь промывают в воде и на 1–2 с опускают в слабый (2–3%) раствор серной или соляной кислоты.

Хорошие результаты позволяет получить следующий способ. Латунь опускают в раствор бисульфата натрия, после чего промывают в воде и опускают в раствор ацетата меди, подогретый до 36–40 °С. В зависимости от времени, в течение которого деталь находится в растворе, латунь окрашивается от светло-золотистого цвета до цвета червонного золота и даже до красновато-фиолетового оттенка. За

цветом окраски следят, время от времени вынимая деталь из раствора. После окрашивания деталь промывают водой и сушат на воздухе. Окраска получается стойкой и со временем не изменяется.

Ацетат меди имеется в продаже, но его можно приготовить самостоятельно. Для этого нужно 5 г медного купороса растворить в 0,5 л воды, после чего смешать с раствором ацетата свинца (свинцовая аптечная примочка или «свинцовый сахар»). Второй раствор составляется из 8 г ацетата свинца и 0,5 л воды. При смешивании двух растворов выпадает осадок сульфата свинца, а в растворе остается ацетат меди. Осадок можно отфильтровать или оставить на дне сосуда.

*Химическое окрашивание латуни.* Зачищенную, обезжиренную и промытую деталь опускают в один из следующих растворов (табл. 6.6).

В течение 3–10 мин деталь, находящаяся в одном из растворов, окрашивается в *золотистый, голубоватый, синий, фиолетовый* и, наконец, в *радужный* цвет. Когда нужный цвет получен, деталь вынимают, сушат и полируют суконкой. *Синеvато-черный* или *коричневый* цвет латуни приобретает при погружении подготовленной детали на 1–3 мин в один из растворов.

Таблица 6.6. Растворы для окрашивания латуни

Состав раствора	Количество	Способ приготовления и применения
<b>Золотистый, голубоватый, синий, фиолетовый и радужный</b>		
<b>1-й раствор</b>		Раствор готовят при температуре 70 °С
Гипосульфит	11 г	
Свинцовый сахар	39 г	
Вода	1 л	В кипящей воде растворяют первые два компонента, затем, непрерывно помешивая, подливают раствор медного купороса
<b>2-й раствор</b>		
Гидроксид натрия	10 г	
Молочный сахар	10 г	
Вода	250 мл	
Концентрированный раствор медного купороса	10 мл	
<b>Синеvато-черный</b>		
Аммиак (25-процентный нашатырный спирт)	500 мл	После смешивания компонентов раствор энергично взбалтывается 2–3 раза, после чего в него погружают деталь на 1–3 мин
Карбонат меди	60 г	
Латунь (опилки)	0,5 г	

Таблица 6.6. Растворы для окрашивания латуни (окончание)

Состав раствора	Количество	Способ приготовления и применения
<b>Коричневый</b>		
<b>1-й раствор</b>		Рабочая температура раствора 70 °С
<b>Гипосульфит</b>	50 г	
<b>Медный купорос</b>	50 г	
<b>Вода</b>	до 1 л	
<b>2-й раствор</b>		Рабочая температура раствора 70 °С
<b>Сульфит натрия</b>	100 г	
<b>Вода</b>	до 1 л	
<b>3-й раствор</b>		Рабочая температура раствора 70 °С
<b>Ацетат свинца</b>	30 г	
<b>Гипосульфит</b>	90 г	
<b>Вода</b>	до 1 л	

### 6.3.3. Окраска меди

Окраска медных деталей также не представляет особой трудности. В 100 г воды растворяют 4 г каустической соды и 4 г молочного сахара, кипятят 15 мин, затем при постоянном помешивании прибавляют малыми дозами 4 г раствора насыщенного медного купороса. В горячую смесь помещают хорошо очищенные медные изделия. В зависимости от продолжительности воздействия они приобретают различную окраску – от *золотой* или *зеленой* до *густой черной*. Для получения нужного цвета поэкспериментируйте с ненужным кусочком меди и засекайте время обработки.

### 6.3.4. Окраска стальных изделий под алюминий

Чтобы придать стальным изделиям красивый вид и предохранить их от коррозии, металл часто покрывают серебристой краской – лаком с алюминиевым порошком. Для этого 15 г порошка всыпают в 110 г бесцветного нитролака, разбавленного ацетоном. В такой же пропорции краску можно разводить не в нитролаке, а в целлулоидном клее – ацетоне, в котором растворено 5–10 г рентгеновской пленки, очищенной от эмульсии. Предварительно поверхность изделия тщательно зачищают и только затем наносят тонкий слой краски с помощью пульверизатора. Использование кисти нежелательно, так как могут остаться некрасивые полосы.

Стойкое покрытие получается, если в алюминиевую краску добавить клей БФ-2. Его растворяют в спирте до густоты эмали, затем

в полученный раствор высыпают сухой алюминиевый порошок и тщательно перемешивают, после чего опять добавляют спирт до получения необходимой вязкости. Приготовленная таким образом краска хорошо ложится как при работе кистью, так и при распылении из пульверизатора, она не осыпается и долго сохраняет вид.

### 6.3.5. Окраска красками и лаками

В ремонтной и радиолюбительской практике металлические изделия, панели и корпуса радиоэлектронных устройств иногда удобнее окрашивать глифталевыми, пентафталевыми или нитроэмалями.

Наносить краску на металл без предварительного грунтования не следует, так как сцепление (адгезия) ее с металлом недостаточно прочная. Поверхность, подлежащую окраске, обезжиривают ацетоном, затем, если поверхность неровная (выбоины, царапины), ее шпаклюют смесью грунтовки с порошком мелко истолченного мела. После сушки в течение 1,5–2 суток зашпаклеванные места шлифуют водостойкой шкуркой № 100 с водой и высушивают в течение 1–2 ч. На подготовленную таким образом поверхность с помощью пульверизатора наносят слой грунта (для глифталевых эмалей – грунт № 138, для нитроэмалей – нитрогрунт). После сушки (1 ч при температуре 100 °С или 24–48 ч при комнатной температуре) загрунтованную поверхность шлифуют так же, как и шпаклеванные места, сушат в течение 1–2 ч и, наконец, покрывают первым слоем эмали, который сушат так же, как и грунт. Таким образом, обеспечивается прочность всего покрытия (грунт плюс краска).

Во избежание подтеков эмаль следует наносить тонким слоем, лучше с помощью пульверизатора. Очень удобны для работы эмали в аэрозольной упаковке, которые перед употреблением тщательно взбалтывают. При необходимости эмаль наносят в 2–3 слоя до получения ровно окрашенной поверхности. Образовавшиеся при нанесении эмали неровности на краях изделия удаляют ножом. Чтобы поверхность изделия стала глянцевой, высохшую эмаль обрабатывают полировочной пастой или восковой смесью.

---

**Совет** *В качестве своеобразного грунта можно применить уксусную эссенцию, которой протирают хорошо зачищенную и обезжиренную деталь. На такой «грунт» хорошо ложатся все виды красок, лаков и эмалей.*

---

### 6.3.6. Нанесение надписей

При окончательной отделке конструкций многие радиолюбители используют переводной шрифт. Это не требует больших затрат труда и времени и дает хорошие результаты. Однако надписи, выполненные подобным образом, недостаточно стойки, и их необходимо защищать. Обычно их покрывают прозрачным защитным слоем лака. Данная операция требует тщательности и осторожности, так как многие лаки разрушают надпись.

Наносить защитную пленку удобнее в два приема. Сначала надпись покрывают тонким слоем косметического лака для волос, распыляя его непосредственно из аэрозольного баллончика. Лак хорошо фиксирует надпись, но довольно легко смывается водой, поэтому после его высыхания наносят тонкий слой нитролака. На весь процесс уходит около 5 мин.

Хорошие результаты можно получить, если надпись сначала покрыть слоем яичного белка, а через несколько часов сушки – бесцветным нитролаком. Белок наносят мягкой кистью.

### 6.3.7. Несовместимость красок

Все компоненты краски – химические вещества. Металлы (медь, цинк, алюминий), входящие в состав красок в виде пудры, препятствуют коррозии окрашиваемой металлической поверхности. Оксиды и соли металлов, вступая в реакцию со связующими компонентами, ускоряют образование пленки. Разнородные типы связующего вещества могут *не совмещаться* друг с другом. Кроме того, нельзя смешивать некоторые масляные краски, полученные на одном связующем, но на основе разных пигментов.

*Несовместимость пигментов.* При смешивании пигментов очень важно учитывать характер их взаимодействия. В случае несовместимости происходит разрушение пигментов и потеря антикоррозионных свойств. При смешивании красок, имеющих в составе несовместимые пигменты, полностью теряется их цвет.

*Несовместимость связующих.* Смешивать масляные краски можно только с масляными (на однородной основе), глифталевые – с глифталевыми, пентафталевые – с пентафталевыми, эпоксидные – с эпоксидными, битумные лаки – с асфальтовыми и каменноугольными лаками и т. д. Однако все масляные густотертые краски можно

разводить только олифами и лаками, изготовленными на основе светлых искусственных и естественных смол, исключая асфальтовые и битумные смолы.

*Несовместимость краски с материалом поверхности.* На стальную поверхность можно наносить абсолютно любой грунт: масляный, фосфатирующий, протекторный, глифталевый, фенолформальдегидный, на сополимерах хлорвинила, этиловый, акриловый и др.

На алюминиевую поверхность нельзя наносить грунт следующих типов: свинцовый (свинцовые белила, крон, сурик), железный сурик, ярь-медянку и киноварь, на каких бы связующих они ни составлялись. Можно наносить фосфатирующие грунты ВЛ-02 и ВЛ-08, глифталевые КФ-030, ГФ-031, ГФ-032, акриловые АГ-10С и эпоксидные Э-4021 и ЭП-09Т.

В любом случае, приступая к работе с каким-либо грунтом, шпаклевкой или красителем, внимательно прочитайте на упаковке инструкцию по применению. Несоблюдение указанных правил может привести к порче материала, иногда безвозвратной.

### 6.3.8. Особенности восприятия цвета

Как известно, все цвета могут восприниматься как «теплые» или «холодные». Зрительно они могут приближать окрашенный предмет или отдалять его. Восприятие разных цветов приведено в табл. 6.7.

Таблица 6.7. Восприятие цвета человеком

Цвет	Ощущение	Психологическое воздействие	Ощущение пространства
<b>Теплые цвета</b>			
<b>Желтый</b>	Тепла	Привлекает внимание, не утомляет	Отдаляет
<b>Оранжевый</b>	Тепла	Привлекает внимание	Приближает
<b>Розовый</b>	Тепла	Привлекает внимание (в меньшей степени)	Приближает
<b>Красный</b>	Жары	Выделяется, очень утомляет	Приближает
<b>Коричневый</b>	Тепла	Утомляет	Приближает
<b>Холодные цвета</b>			
<b>Серый</b>	Прохлады	В меньшей степени привлекает внимание, не утомляет	Отдаляет
<b>Голубой</b>	Холода	Не утомляет	Отдаляет
<b>Зеленый</b>	Прохлады	Не утомляет даже при длительном наблюдении	Отдаляет
<b>Фиолетовый</b>	Свежести	Дезинтегрирует	Приближает

Выбирая цвет, в первую очередь руководствуйтесь своими ощущениями, но не забывайте основного правила: созданное устройство должно гармонировать с окружающими предметами, не выделяться из общей гаммы.

### 6.3.9. Серебрение проводников и деталей

В этом разделе описывается способ нанесения тонкого слоя серебра на печатные проводники платы, на провод для намотки высокочастотных катушек и навесных соединений в аппаратуре и другие детали из меди. В его основе лежит восстановление металла из раствора соли.

Рассмотрим случай *серебрения* медного провода. Для работы потребуется три фаянсовых или стеклянных сосуда объемом 0,5 л и проточная вода. В первый сосуд наливают концентрированную серную кислоту плотностью 1,84 г/см<sup>3</sup> для *декапирования* поверхности провода. Второй сосуд, поставленный под проточную воду, нужен для промывки провода перед серебрением и затем – после него. Третий сосуд заполняют раствором для серебрения: нитрата серебра – не более 10 г, глюкозы медицинской – 5 г и аммиака водного 25-процентного – 20 мл. В 250 мл дистиллированной воды растворяют нитрат серебра и затем вливают водный аммиак. После того как образовавшийся в первый момент коричневатый осадок оксида серебра полностью растворится, в сосуд добавляют, перемешивая раствор, глюкозу, растворенную в отдельной посуде в 200 мл воды.

Необходимо помнить, что приготовление раствора на водопроводной воде недопустимо, так как она содержит соли, способные нарушить процесс. Температура воды для приготовления растворов 20 °С, при этой же температуре проводят серебрение.

Содержание аммиака сильно влияет на качество покрытия, поэтому в рецепте его количество минимально, и перед началом работы для пробы нужно провести несколько экспериментов. Небольшие отрезки декапированного провода погружают в серебряную ванну на 5–10 с, увеличивая после каждой пробы количество аммиака в ванне на 1–2 мл до достижения плотного, блестящего, механически стойкого покрытия белого цвета со слегка золотистым оттенком. Корректировку раствора при наличии универсального рН-индикатора можно упростить: его показания должны составлять 8–9.

Вместо аммиака можно использовать 10-процентный раствор гидроксида натрия или калия (едкого натра или едкого калия). К содержанию серебра раствор не критичен, поэтому при малом объеме работы количество исходных веществ можно пропорционально уменьшить при том же объеме воды для их растворения.

Для серебрения провод свивают на цилиндрической оправке в крупновитковую спираль и погружают в сосуд с реактивом, удерживая за отогнутый конец провода. Результат во многом зависит от подготовки поверхности к покрытию и тщательного соблюдения технологии проведения работ.

В заключение следует отметить возможные наиболее характерные отклонения от нормального процесса. Если покрытие представляет собой черный смывающийся налет, значит, провод не декапирован, или в растворе мало аммиака, или изделие не промыто после декапирования. Когда покрытие имеет холодный синеватый оттенок и местами слой серебра снимается при трении в виде чешуек, в растворе мало аммиака. Снежно-белый, матовый цвет покрытия, образование трещин в месте крутого перегиба говорит о том, что в растворе много аммиака и его необходимо нейтрализовать (ввести в состав несколько капель крепкой азотной кислоты). Тот же результат получается при передержке изделия в ванне, образовавшийся толстый слой серебра непрочен. Если изделие плохо очищено или после декапирования длительное время находится в воде или на воздухе, на поверхности вновь образуется оксидная пленка, покрытие становится неравномерным, и на нем проявляются серые пятна.

К недостаткам серебряного покрытия можно отнести разницу в упругости слоя и основы, устранить которую можно лишь специальной термообработкой, невозможной в любительских условиях. Необходимо помнить, что лишь тонкослойное покрытие наиболее устойчиво к деформациям.

Перед окончательной пятнадцатиминутной промывкой проточной водой изделие желательно пассивировать в течение 20 мин в 1-процентном растворе дихромата калия при комнатной температуре. Готовый раствор для серебрения можно хранить не более недели. Длительное хранение раствора опасно из-за возможного образования осадка гремучих соединений серебра.

**Совет** *Каждому фотолобителю известно, что для серебрения металлов можно применять отработанный раствор фиксажа. В него опускают деталь и оставляют на некоторое время. Длительность серебрения подбирают экспериментально. Если вы не занимаетесь фотографией, то приобретите в фотомагазине пакет фиксажа и пачку черно-белой фотобумаги. Разведите фиксаж в 350 мл воды, поместите туда засвеченную фотобумагу и подождите 10 мин. После этого опустите в раствор нужную деталь. Старайтесь при этом не передерживать.*

---

## **6.4. ОКРАСКА ОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА**

### **6.4.1. Очистка поверхности**

Поверхность *органического стекла* (плексигласа) очищают от грязи, жира и клеевых потеков ватным тампоном или фланелью, смоченной в теплой воде, можно с мылом. Жиры и масла удаляют бензином или керосином, поскольку ацетон, этиловый спирт и растворители повреждают поверхность стекла.

При протирке всухую стекло электризуется и притягивает к себе пыль, которая при трении образует царапины. Поэтому стекло следует протирать специальным увлажненным материалом или жидкой полировочной пастой.

Неглубокие царапины удаляют полировочной пастой. Ее наносят тонким ровным слоем на поверхность оргстекла и затем тщательно отполировывают круговыми движениями сухой и мягкой чистой тканью.

### **6.4.2. Способы окраски**

При серийном изготовлении конструкций у радиолюбителя нередко возникают проблемы, на разрешение которых уходит немало времени. Одна из них – окраска оргстекла. Из этого материала изготавливают различные корпуса, шкалы для радиоприемников, ручки настройки и многие другие детали. Каждый конструктор стремится окрасить оргстекло в яркий цвет, а чтобы придать конструкции эстетичный вид, иногда приходится устанавливать детали из оргстекла различных оттенков. Существует множество способов окраски оргстекла в любой цвет, и все они многократно проверены на практике. Познакомимся с некоторыми из них.

*Первый способ.* Сначала следует приготовить лак. Острым ножом или драчевым напильником настругайте опилки от обрезка плексигласа, а затем растворите их в крепкой уксусной эссенции. На шесть частей (по объему) эссенции берется одна часть опилок. Когда опилки полностью растворятся, в состав добавьте пасту для заправки шариковых авторучек. Цвет пасты и ее количество определяют цвет лака.

Приготовленный таким образом лак нанесите на поверхность оргстекла. Окрашивание происходит за счет того, что лак растворяет стекло и смешивается с ним. Пользуйтесь лаком осторожно, поскольку уксусная эссенция, входящая в его состав, может вызвать ожоги кожи и повредить одежду.

*Второй способ.* В качестве красителя используется цапонлак. Промышленность выпускает цапонлаки красного, зеленого, синего, фиолетового, черного и других цветов. В эмалированную или стеклянную ванночку налейте лак нужного цвета и погрузите в него заготовку. Продолжительность окраски может быть от нескольких секунд до 15 мин – все зависит от желаемого оттенка. Чем дольше оргстекло находится в лаке, тем темнее окраска. Чтобы получить темный цвет, заготовку погружают в ванночку несколько раз, каждый раз давая лаку высохнуть.

Органическому стеклу можно придать любой цветовой оттенок, если лак составить из цапонлаков разных цветов в определенных пропорциях. Поскольку цапонлак растворяет оргстекло, окрашенная поверхность получается прочной, хорошо полируется и со временем не выцветает.

*Третий способ.* Растворите в метиловом спирте анилиновый краситель (0,5 г) из набора для раскрашивания фотографий. Налейте раствор в плоскую эмалированную ванночку и поместите ее в кипящую воду. Поскольку температура кипения спирта около 70 °С, краситель вскоре закипит.

Заготовку предварительно подогрейте в кипящей воде, а затем опустите в ванночку с раствором красителя. Через несколько минут стекло начнет окрашиваться. Вследствие диффузии краситель проникает в поверхностный слой органического стекла и в дальнейшем не смывается.

*Четвертый способ.* Подготовьте глубокую стеклянную, эмалированную или фарфоровую банку (по длине заготовки) и налейте в нее красильный раствор. Для его приготовления потребуется 5 г красителя

для ацетатного шелка, 2–3 г стирального порошка, 20 г бензилового спирта. Все составляющие тщательно перемешайте, чтобы получилась однородная паста. Затем разбавьте ее горячей водой до объема 1 л. Температура раствора должна составлять около 80 °С.

Перед началом окрашивания поверхность оргстекла нужно тщательно очистить бензином (или денатурированным спиртом). После непродолжительной сушки погрузите заготовку на 10–15 мин в раствор моющего средства «Универсал» или аналогичного (около 1 г на 1 л воды). Температура раствора должна составлять 50–60 °С.

Затем заготовку тщательно промойте в холодной воде и немедленно перенесите в раствор для крашения. Как было сказано выше, температура раствора должна составлять 80 °С, но наилучший режим можно подобрать опытным путем, изменяя температуру в диапазоне 40–80 °С.

Подобным способом можно одновременно окрашивать несколько деталей или изделий из органического стекла. В раствор их следует погружать вертикально на некотором расстоянии друг от друга – это необходимо для свободного доступа состава ко всей поверхности деталей.

Чтобы получить ровную окраску, раствор нужно постоянно перемешивать. Продолжительность окрашивания зависит от требуемого оттенка. Например, для получения оттенка средней насыщенности она составляет 15 мин. С увеличением или уменьшением этого времени соответственно изменяется и насыщенность оттенка. Сразу же после окрашивания заготовку нужно прополоскать в холодной воде и просушить.

*Пятый способ.* Поверхность оргстекла можно окрашивать и из пульверизатора специальным красителем. Для его приготовления подойдет набор красок, используемых в фотографии. Растворите краску в уксусной кислоте, добавляя ее понемногу до тех пор, пока не будет получен цвет нужного оттенка. Затем раствор пропустите через слой бумаги для фильтрования и добавьте его в соотношении 1:1 в состав, в который входит 70% толуола и 30% дихлорэтана. Полученную смесь вновь профильтруйте и добавьте стружку оргстекла в таком количестве, чтобы полученный раствор не был слишком густой и его легко было бы распылять пульверизатором.

Для этих же целей можно пользоваться и другим раствором, изготовленным из 60% (по объему) бензола, 30% дихлорэтана и 10% уксусной кислоты. Растворите в нем краску, профильтруйте, а затем

добавьте стружку оргстекла. Раствор распыляйте слоями на окрашиваемую поверхность при помощи пульверизатора. Интервалы между нанесением слоев должны составлять 10–15 мин.

Хранить раствор следует в хорошо закупоренной посуде с притертой пробкой, а готовить – в помещении с интенсивной вентиляцией. Работая с красителем, остерегайтесь попадания раствора на кожу, поскольку пятна трудно смываются и, кроме того, краситель разъедает кожу.

*Шестой способ* не требует использования красителей и предназначен для окрашивания в молочный цвет деталей или готовых изделий из бесцветного оргстекла. Понадобится лишь концентрированная серная кислота. В нее и погружают (соблюдая особую осторожность) на несколько минут деталь или изделие, после чего промывают в проточной воде и сушат.

Если продолжительность выдержки в кислоте составляет 1–3 мин, окрашиваемая деталь приобретает молочный цвет и сохраняет глянец. При большей выдержке ее поверхность становится белой и немного матовой, а после почти получасового пребывания в кислоте и сушки – сморщивается, как будто покрыта лаком «Муар».

Чем дольше оргстекло выдерживать в кислоте, тем толще становится белый слой. Если после первой обработки он оказался недостаточно глубоким, то «окрашивание» можно повторить. Промывать изделие после обработки следует осторожно, так как полученный слой мягок, и его можно легко повредить.

Этот способ окрашивания органического стекла очень удобен, так как позволяет оставлять нужные участки материала прозрачными, не затронутыми кислотой, достаточно лишь предварительно покрыть их тонким слоем воска.

---

**Совет** *Работая с серной кислотой, соблюдайте меры безопасности! При реакции с водой кислота разбрызгивается, а попавшие на кожу капли кислоты могут вызвать тяжелые ожоги. Поэтому работать следует в резиновых перчатках и защитных очках. Погружайте деталь или изделие в кислоту при помощи пинцета. В случае попадания вещества на кожу или одежду пользуйтесь нейтрализующим действие кислоты крепким раствором питьевой соды или 10-процентным раствором нашатырного спирта, который всегда должен быть под рукой.*

---

### 6.4.3. Нанесение надписей и рисунков

Эффектно смотрится плексигласовая лицевая панель прибора с несмываемым рисунком или надписью. Чтобы добиться такого результата, поверхность оргстекла травят. Способы травления плексигласа сходны со способами травления металла и стекла. Для этого лист оргстекла разогревают до 60–70 °С и покрывают ровным слоем парафина. На покрытое парафином оргстекло через копировальную бумагу переводят надпись или рисунок. Затем по контуру надписи или рисунка парафин удаляют острием иглы или кончиком перочинного ножа. По краям оргстекла делают из парафина бортик высотой 6–8 мм. После этого на поверхность детали наливают концентрированную серную кислоту и выдерживают 5–10 мин. В том месте, где был удален слой парафина, происходит реакция, и на поверхности оргстекла появляется надпись молочного цвета. Закончив травление, кислоту сливают, а оргстекло тщательно промывают в проточной воде и сушат.

## 6.5. ПОКРЫТИЕ ДЕТАЛЕЙ СВЕТЯЩИМИСЯ КРАСКАМИ

Предметы, покрытые *светящимися* красками, являются ориентирами в темном помещении, что обеспечивает экономию электроэнергии. Очень удобно узнавать время по настенным часам, на цифры и стрелки которых нанесены светящиеся краски. Сувениры или картины, написанные такими красками, создают зрелищный эффект. Светящиеся надписи и указатели на радиолюбительских конструкциях придают им оригинальный вид.

Основой светящихся красок являются сульфиты (сернистые соли): сульфит цинка, сульфит бария и др. Все вещества, входящие в состав красок, должны быть химически чистыми. При изготовлении краски нужно придерживаться следующей последовательности действий: сначала соли смешивают с крахмалом, затем с растворами, после чего полученную смесь сушат. Далее сухую смесь соединяют с серой и оксидами при тщательном перемешивании в фарфоровом тигле, который помещают в печь, имеющую вытяжную трубу. Затем прокаливают в ней смесь при температуре 1200 °С в течение 25–30 мин. Сначала смесь будет ярко-красной, а затем приобретет соломенно-желтый цвет. Охлажденную смесь растирают в ступке и просеивают через самое мелкое сито. В результате получается порошок светящейся краски.

Непосредственно перед окрашиванием порошки красок разводят в разбавителях. Необходимо сразу же наносить разведенную краску, поскольку она быстро высыхает. Накладывать краску нужно не на чистый металл или предмет, а на поверхность, предварительно обработанную лаком или масляной краской, при помощи мягкой кисти, острой палочки или гусяного пера.

Густота красящего раствора должна быть такой, чтобы краска медленно стекала с кисти или палочки. Светящиеся краски боятся сырости или влаги. Время их свечения ограничено в зависимости от рецептуры, поэтому предметы, на которые нанесена светящаяся масса, нужно восстанавливать (заряжать), то есть облучать дневным светом или электрической лампой.

Рецептуры некоторых красок приведены в табл. 6.8.

Таблица 6.8. Рецептуры светящихся красок

Цвет	Состав	Количество, см <sup>3</sup>
<b>Фиолетово-синий</b> (длительного свечения)	Оксид кальция	40
	Сера кристаллическая (порошок)	6
	Карбонат лития	2
	Крахмал	2
	Сульфит калия	1
	Сульфит натрия	1
	0,5-процентный водно-спиртовой раствор-активатор нитрата висмута	2
0,5-процентный водно-спиртовой раствор-активатор нитрата тантала	2	
<b>Оранжево-красный</b> (средней интенсивности)	Карбонат бария	20
	Сера кристаллическая (порошок)	3
	Сахар	1
	Бура	0,3
	Сульфит натрия	0,3
	Фосфорнолитиевая соль	0,3
	0,5-процентный раствор-активатор нитрата меди	0,5
0,5-процентный раствор-активатор нитрата свинца	0,5	
<b>Желтый</b>	Карбонат стронция	100
	Сера кристаллическая (порошок)	30
	Карбонат натрия безводный (сода)	2

В качестве разбавителей для всех описанных в таблице красок может быть использовано жидкое стекло (силикатный клей) или скипидар. Можно также разводить светящиеся краски даммаровым лаком, в состав которого входят: 52% даммаровой смолы, 43% ксилола и 5% касторового масла. Смолу заливают ксилолом и тщательно перемешивают, после растворения смолы добавляют касторовое масло. Полученную смесь фильтруют через замшу. Лак имеет соломенно-желтый цвет, легко испаряется, поэтому хранить его нужно в стеклянной посуде с притертой пробкой. Если со временем в посуде появится осадок, то лак нужно заново профильтровать. Для приготовления состава 5 частей светящейся краски растворяют в 2 частях даммарового лака, смесь тщательно перемешивают.

<b>1</b>	Рабочее место радиомонтажника	11
<b>2</b>	Гальваническое соединение деталей	43
<b>3</b>	Изготовление печатных плат	63
<b>4</b>	Монтаж печатной платы	109
<b>5</b>	Изготовление корпуса	129
<b>6</b>	Окраска деталей	147

## **7**      **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СЕКРЕТЫ**

<b>Новый старый паяльник</b>	<b>176</b>
<b>Маленькие хитрости</b>	<b>182</b>
<b>Изготовление трансформатора</b>	<b>188</b>

<b>8</b>	Электрические измерения и расчеты	201
<b>9</b>	Приложения	229

## 7.1. НОВЫЙ СТАРЫЙ ПАЯЛЬНИК

### 7.1.1. Сменное жало паяльника

Как известно, *жало паяльника* достаточно быстро обгорает. Остаток жала приходится выбрасывать или вообще перестать пользоваться паяльником, если нет сменного стержня. Продлить «жизнь» паяльника позволит нехитрая доработка (рис. 7.1). Если паяльник прослужил длительное время и его стержень значительно укоротился, на конце жала затачивают выступ и прикрепляют заклепками медный наконечник. Когда наконечник обгорит, его снимают, спилив заклепки, и устанавливают новый.

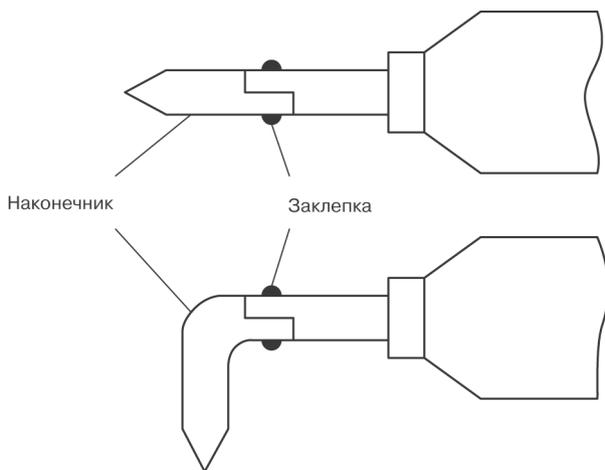


Рис. 7.1. Сменное жало паяльника

### 7.1.2. Латунный стержень

Радиолюбителям известно, что медное жало паяльника нуждается в периодической формовке, так как оно довольно быстро выгорает – на жале образуются раковины из-за растворения меди в припое. Но не все знают, что *латунный* стержень также отлично облуживается и «держит» припой не хуже медного. Кроме того, он совершенно не покрывается окалиной. Стойкость к образованию раковин у латунного жала также намного выше.

Хорошие результаты позволяет получить и использование стержней из бронзы. Следует только иметь в виду, что не все марки бронзы облуживаются. Из латуни и бронзы удобно изготавливать сложные по форме насадки, предназначенные для одновременной пайки выводов микросхем или демонтажа с платы многовыводных компонентов и др.

### 7.1.3. Миниатюрное жало паяльника

В условиях плотного печатного монтажа паять выводы микросхем и других радиоэлементов бывает нелегко. Обычный стержень паяльника в таких условиях не обеспечивает необходимого удобства и качества пайки. Более эффективно использование стержня, изготовленного из иглы от насоса, которая применяется для накачивания футбольных или волейбольных мячей. Ее можно приобрести в магазине спортивных товаров.

Процесс превращения иглы в *миниатюрное жало* паяльника занимает не более двух минут. Сначала кусачками нужно отделить ненужные левую и правую части иглы, как показано на рис. 7.2. Затем один конец трубки зачистить и облудить, а другой (его вставляют в нагреватель паяльника) – расплющить плоскогубцами. Такой стержень лучше всего подходит для паяльника ЭПСН-25. В этой модели он просто прижимается винтом.

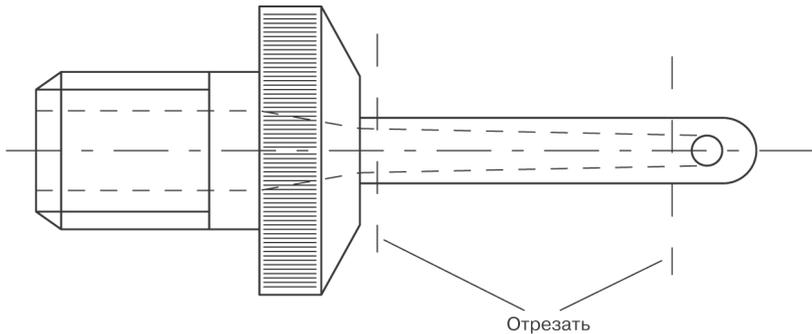


Рис. 7.2. Жало паяльника из иглы от насоса

Из канала нагревателя такое жало следует выпускать примерно на 20 мм. Пользоваться им очень легко. Жало с каплей припоя надевают

на торчащий из отверстия платы конец вывода (поскольку стержень полый) и немного поворачивают вокруг оси. Распайка одного вывода длится около секунды, качество после приобретения определенного навыка отличное. Пайка получается аккуратной, а расход припоя – минимальным.

#### 7.1.4. Комплект паяльных стержней

Обычно заводские электропаяльники комплектуют прямым, а иногда еще и угловым жалом. Номенклатура же современной элементной базы столь широка, а разновидностей конструкции выводов столь много, что использовать при монтаже паяльник со стандартным жалом очень неудобно, а при демонтаже – порой просто невозможно. Радиолобителю приходится искать новые варианты паяльных стержней, чтобы облегчить эту кропотливую работу.

На рис. 7.3 показаны стержни для паяльника ЭПСН (мощностью 40 Вт), которые можно изготовить в дополнение к уже имеющимся.

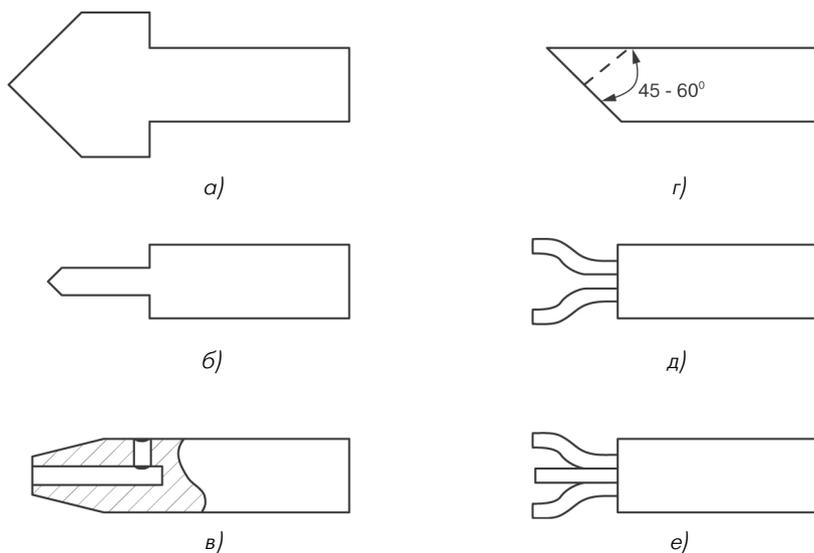


Рис. 7.3. Стержни для паяльника

Варианты на рис. 7.3а–б не требуют особых пояснений. Первый стержень предназначен для пайки крупных деталей, а другой – мелких. Оба можно выточить на токарном станке из медной или латунной заготовки.

Третий стержень (рис. 7.3в) удобен для облуживания проволочных выводов деталей, так как в его жале просверлен осевой канал диаметром 2,2 мм и глубиной 20 мм. Канал облуживают и заполняют припоем. Такой стержень особенно хорош для пайки выводов на монтажных точках печатной платы – в канале может содержаться запас припоя на более чем десяток точек. Жало стержня нужно обточить, если потребуется работать на плате с плотным монтажом.

Такой стержень будет удобен также для удаления излишков припоя при демонтаже деталей. Благодаря наличию радиального отверстия диаметром 2,2 мм канал легко заполняется припоем на всю глубину. Канал освобождают, стряхивая припой в ванночку. Собранный припой можно использовать повторно. Стряхивать нужно очень осторожно, чтобы случайно не обжечься каплями припоя.

Радиолюбители знают, что при работе с двусторонними печатными платами пайка выводов микросхем со стороны деталей требует особой осторожности. Бывает, что одного неверного движения жалом паяльника достаточно, чтобы испортить и микросхему, и плату. Кроме того, при обычной форме жала трудно добиться равномерного распределения припоя. Для подобной работы потребуется специальное жало (его можно изготовить из обычного). При помощи напильника, ножовки и надфиля жалу придают форму, показанную на рис. 7.3г.

При пайке вывод микросхемы должен находиться в прорези жала – это предотвращает его соскальзывание. Припой будет равномерно обтекать вывод, не затрагивая соседние. Таким жалом удобно облуживать выводы радиодеталей, только прорезь нужно сделать немного шире.

Стержни, изображенные на рис. 7.3д–е, предназначены для пайки при монтаже и демонтаже одновременно двух и трех выводов соответственно. Если вам приходилось выпаивать из платы миниатюрный оксидный конденсатор типа К50-6, стабилизатор КС170А, транзистор серий КТ315 или КТ373, подстроечный резистор, то вы знаете, какой это трудоемкий процесс. Использование представленных на рис. 7.3д–е стержней во многом упрощает подобную работу.

Для изготовления «многожальных» паяльных стержней лучше всего использовать пайку тугоплавким припоем в пламени ацетиленовой горелки. Можно, однако, изготовить их и в домашних условиях. В торце заготовки хвостовика из меди, латуни или стали сверлят отверстия на глубину 5–7 мм. Их диаметр выбирают под имеющуюся медную проволоку (диаметром примерно 1,5–1,7 мм). Отрезки проволоки длиной около 15 мм осторожно забивают в отверстия и закрепляют.

Разумеется, в этом разделе описаны далеко не все полезные конструкции. У каждого радиолюбителя есть свои приспособления, может быть, более удобные для выполнения какой-либо конкретной работы.

### 7.1.5. Стальное жало паяльника «Момент»

Жало паяльника «Момент» (оно же является и нагревательным элементом) изготовлено из медной проволоки. У такого жала много недостатков: невысокая механическая жесткость, малый срок службы (около 60 ч) до очередной замены, значительные потери тепловой энергии на нагревание токопроводов из-за того, что тепло выделяется почти равномерно по всей длине элемента, а желательно, чтобы нагревалась только его рабочая часть.

Для устранения этих недостатков в качестве жала рекомендуется использовать *стальные* нагревательные элементы (например, тонкие длинные гвозди диаметром около 2 мм). Порядок изготовления такого нагревателя показан на рис. 7.4.

Расплющивая и обтачивая гвоздь, жалу придают нужную форму. Сечение нагревателя на конце жала должно быть меньше, тогда тепло будет выделяться преимущественно там, а общее сопротивление нагревателя будет близким к сопротивлению медного стержня.

У стали удельное сопротивление больше, теплопроводность хуже, чем у меди, поэтому нагревание подводящих проводов паяльника со стальным стержнем значительно меньше. Чтобы еще больше снизить потери тепла на их разогрев, концы нагревателя нужно впаять непосредственно в отверстия токоподводящих держателей, предварительно облудив их внутреннюю поверхность и концы нагревателя. Это позволит до минимума снизить контактное сопротивление между выводами нагревателя и токоподводящими держателями паяльника. Если держатели паяльника плоские, то выводы нагревателя можно просто припаять «внакладку» на длину 15–20 мм.

Жало хорошо облуживается припоем ПОС-40 или ПОС-60 с канифольным флюсом (подробнее см. главу 2). В работе оно прекрасно удерживает припой. Долговечность стального жала более чем в 100 раз

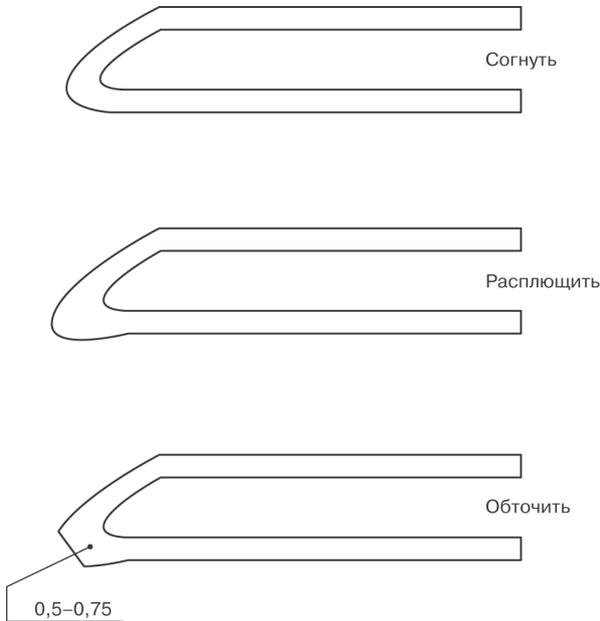


Рис. 7.4. Изготовление жала паяльника «Момент»

превосходит срок службы медного, а работать им намного удобнее. Так, например, его жесткость позволяет облуживать проволоку, предварительно не зачищая ее от грязи, а иногда и от изолирующего лака.

### 7.1.6. Терморезак

Мощный паяльник можно легко превратить в резак, если на его жале закрепить металлический «нож» (рис. 7.5).

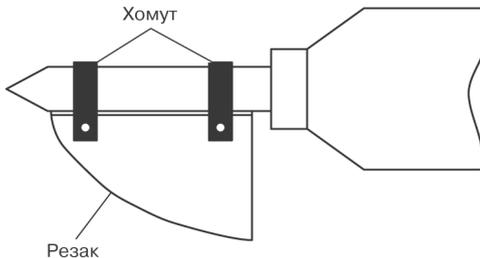


Рис. 7.5. Терморезак из паяльника

Для изготовления резака нужна стальная пластина толщиной 1–1,5 мм и два хомутика для крепления. Рабочая грань резака затачивается. Теперь паяльник может резать как пенопласт, так и некоторые виды пластика.

### 7.1.7. Демонтажный паяльник

Эффективность демонтажного паяльника с отсосом припоя настолько высока, что позволяет за минуту выпаять сорокавыводную микросхему из двусторонней платы. Подробнее о нем вы сможете узнать в журнале «Радио» № 4, 1999.

### 7.1.8. Миниатюрный паяльник

Не все паяльники промышленного производства устраивают радиолюбителей, и они продолжают разрабатывать более удобные, а главное, дешевые конструкции. Одной из них является миниатюрный низковольтный паяльник, предложенный в журнале «Радио» № 3, 2001.

### 7.1.9. Доработка электропаяльного набора

Многие радиолюбители пользуются удобным электропаяльным набором, состоящим из питающего устройства ПУ 25/220 и паяльника ЭПСН-25/24. Между тем простая доработка набора позволит существенно расширить его возможности и превратить в универсальный источник, позволяющий подключить к нему обжигалку изоляции на напряжение 6...8 В, различные паяльники на 6, 8, 12, 24, 30 и 36 В, миниатюрную электросверлилку постоянного тока и другие технологические приспособления. Если у вас есть такой набор и вы хотите его усовершенствовать, загляните на страницы журнала «Радио» № 8, 1994.

## 7.2. МАЛЕНЬКИЕ ХИТРОСТИ

### 7.2.1. Изготовление разъемов

Многоконтактные *разъемы* любой конфигурации для печатных плат можно легко изготовить, имея штырьки и гнезда от обычных разъемов. Гнезда должны быть выполнены в виде трубочек, а не лир. (Такие разъемы очень широко применялись в старой радиоэлектронной аппаратуре.) При изготовлении разъема штырьки необходимо впаять в плату, на них надеть гнезда, к которым предварительно припаивают соединительные провода. Затем из плотной бумаги или картона склеивают небольшое прямоугольное корытце с отверстиями под гнезда,

которые пропускают через эти отверстия и вновь надевают на штыри. Зазоры между отверстиями корытца и гнездами герметизируют пластилином с внешней стороны, а корытце заливают твердеющей пластмассой – протакрилом (применяется в зубной технике) или эпоксидной смолой. После затвердевания пластмассы разъем разъединяют, корытце удаляют, а поверхность пластмассы обрабатывают напильником, чтобы придать аккуратный и красивый вид. Перед заливкой наружную поверхность гнезд целесообразно обезжирить, а штырей – смазать вазелином. В итоге получается неразборный штыревой разъем.

### 7.2.2. Тонкий щуп

Проводя ремонт современной аппаратуры, радиолюбители часто сталкиваются с тем, что монтаж очень плотный и обычным щупом вольтметра до вывода элемента не добраться. Нужен очень *тонкий щуп*. В таком случае можно воспользоваться простым приспособлением в виде иглы-вставки в зажим «крокодил». Изготовить ее можно из обычной швейной иглы или отрезка стальной проволоки диаметром 0,5–0,9 мм. Тупой конец иглы на длину до 10 мм лудят паяльной кислотой или другим активным флюсом. Затем на этот участок наматывают луженую медную проволоку диаметром 0,6–0,9 мм и пропаивают. В результате получается тонкий и удобный щуп. Чтобы предотвратить случайные замыкания, на иглу необходимо надеть отрезок ПВХ трубки красного (+) и синего (–) цветов, оставив пропаиванный участок свободным. При работе такой щуп просто зажимают в «крокодил» и проводят измерения.

### 7.2.3. Как снять ручки управления

Радиолюбители знают, что при ремонте, профилактическом осмотре и чистке от пыли радиоаппаратуры всегда приходится снимать ручки управления. Как показывает опыт, если ручки долго не снимались, то со временем они настолько сильно «присыхают» к валам переменных резисторов, что без повреждения снять их уже не удается.

Чтобы ручки управления легко снимались, их следует устанавливать на смазку непосредственно перед эксплуатацией прибора, пока ручки еще не успели «присохнуть». Для этого их нужно снять, смазать отверстия небольшим количеством смазки (например, ЦИАТИМ-201 или технического вазелина) и установить ручки на место. Но удобнее смазку наносить непосредственно на конец вала каждого органа управления.

Ручки управления со смазкой легко установить на вал и при необходимости легко снять, что позволяет производить ремонт прибора, не повреждая их. Смазку рекомендуется периодически (раз в 1–2 года) обновлять.

#### 7.2.4. Ручка настройки большого диаметра

При изготовлении приемников, передатчиков, измерительных приборов и другой аппаратуры, требующей точности настройки, часто возникает вопрос, где приобрести ручку большого диаметра. Ведь такой ручкой намного легче «поймать» нужную частоту.

Между тем ручку большого диаметра легко изготовить самостоятельно. Состоит она из двух деталей. Основу выполняют из обычной пластмассовой ручки, хорошо сидящей на валу органа настройки. С передней стороны ручки необходимо сточить все выступы до образования плоской поверхности. Следите, чтобы при вращении ручки не было слишком большого осевого биения.

К подготовленной таким образом ручке любым способом прикрепляют круглую деталь большого диаметра, расположив ее центр точно по центру ручки. Это может быть пластмассовая крышка, диск из оргстекла и т.д. Выбор формы, цвета и диаметра самый разнообразный. Все зависит от вашего вкуса.

Если обе детали из пластика, то склеить их можно растворителем 646 или другим на основе ацетона. Если основа металлическая, то можно применить эпоксидный клей или скрепить винтом.

#### 7.2.5. Переменный резистор

Практически во всех изготавливаемых приборах используют *переменные резисторы*. Но они не всегда оказываются под рукой. Если у вас есть подстроечный резистор нужного номинала, то его можно превратить в переменный, произведя некоторые доработки. Конец вала (металлический или пластмассовый) стачивается так, чтобы образовался узкий прямоугольный выступ, плотно входящий в шлиц регулировочного вала резистора (рис. 7.6).

Конструкция подобного устройства вполне понятна из приведенного рисунка. Чтобы вал плотно сидел и не выскакивал, на нем нужно сделать два пропила и установить стопорное кольцо.

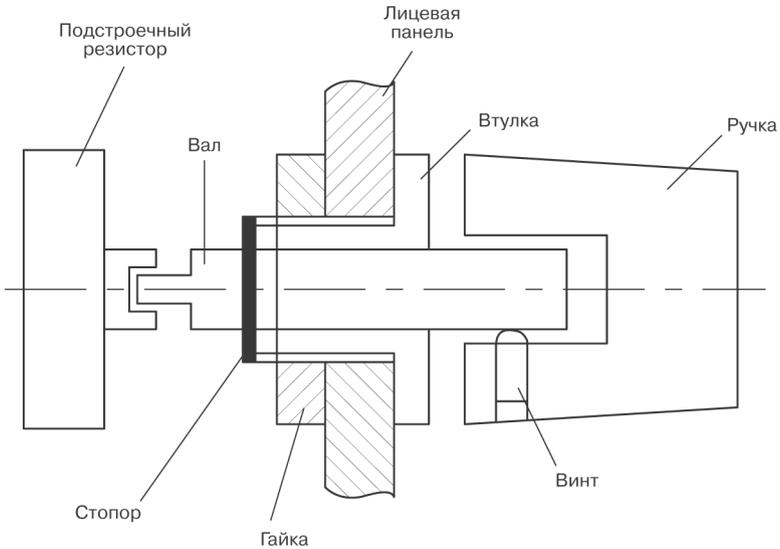


Рис. 7.6. Переменный резистор, изготовленный из подстроечного

### 7.2.6. Гайка-«барашек»

«*Барашком*» называют гайку, конструкция которой позволяет легко затягивать ее рукой. Такая гайка часто применяется для крепления переносного заземления приборов. Изготовить ее самостоятельно не так уж и сложно. Можно к обычной гайке пайкой или сваркой прикрепить обработанную металлическую пластинку нужного размера. Но есть и более простой путь.

Потребуется две гайки: одна с нужной резьбой, а другая больше, чтобы в ее резьбовое отверстие с усилием входила первая. Затем обычным молотком первая гайка запрессовывается во вторую. Получается конструкция, которую можно легко завернуть рукой. Так для гайки с резьбой М5 внешний размер «барашка» будет под ключ на 17.

В табл. 7.1 приведены размеры и совместимость стальных гаек с метрической резьбой. Если гайки нестандартного размера, то их совместимость надо будет подобрать экспериментально.

Таблица 7.1. Совместимость гаек с метрической резьбой

Размеры гаек со стандартной резьбой, мм					
<b>Меньшая гайка</b>	M3	M4	M5	M6	M8
<b>Размер под ключ, S</b>	5	7	8	10	13
<b>Диаметр гайки (1,155×S), мм</b>	5,8	8,1	9,2	11,5	15
<b>Большая гайка</b>	M6	M8	M10	M12	M16
<b>Внутренний диаметр резьбы, мм</b>	4,7	6,38	8,05	9,73	13,4
<b>Наружный диаметр резьбы, мм</b>	6,09	8,11	10,14	12,16	16,18
<b>Размер под ключ, S</b>	10	13	17	19	27

Если диаметр изготовленного «барашка» все же маловат, то его можно составить из трех гаек. При этом резьбу внутренней гайки рекомендуется обработать чистовым метчиком. Для удлинения резьбы можно поставить две гайки.

---

**Совет** *Чтобы не испытывать трудности с откручиванием гаек, обрабатывайте резьбу смазкой ЦИАТИМ или ЛИТОЛ. Это особенно необходимо, если конструкция находится на улице или в какой-либо влажной среде. Смазка предотвратит образование ржавчины и обеспечит легкость последующего откручивания.*

---

### 7.2.7. Как сматывать провод с бухты

Радиолюбители время от времени используют тонкий обмоточный провод, который часто бывает скрученным в моток без каркаса. При сматывании с бухты провод путается, возникают петли. В конце концов, вся бухта превращается в спутанный клубок и ничего другого не остается, как выбросить ее. Чтобы этого не произошло, можно из деревянного бруска вырезать сердечник, продеть в бухту и закрепить его на подставке. Теперь при разматывании бухты провод не будет путаться.

Можно поступить проще и, главное, быстрее. Из толстого поролона надо вырезать деталь, похожую на букву Н, у которой перекартина должна быть чуть короче осевой длины бухты, а высота боковых стоек – больше диаметра бухты. Полученный мягкий каркас продевают сквозь бухту так, чтобы она оказалась надетой на его перекартину. Теперь провод можно сматывать, не боясь его запутать.

Подобный каркас удобен также при сматывании рыболовной лески, ниток и т. д.

### 7.2.8. Как определить диаметр провода

Если нужно определить диаметр провода, а под рукой нет микрометра, то можно поступить следующим образом. Надо на круглый 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.

### 7.2.9. Ванночка за пять минут

Предлагаемая конструкция может заменить собой набор ванночек для травления печатных плат различных размеров. Нужные размеры *ванночки* получают, собирая ее из четырех одинаковых пластин (рис. 7.7), соединенных в жесткий каркас квадратной или прямоугольной формы. Каркас устанавливают на ровную горизонтальную поверхность, сверху накладывают полиэтиленовую пленку, расправляют ее и наливают в получившуюся ванночку раствор. Под давлением жидкости пленка прижимается к стенкам и принимает форму каркаса.

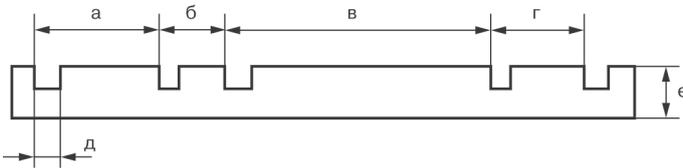


Рис. 7.7. Каркас ванночки

Толщину деталей каркаса выбирают с таким расчетом, чтобы он выдержал заливку ванночки максимального размера. Ширина прорезей  $d$  равна толщине пластины, а глубина – половине высоты  $e$ . Размеры  $a, б, в, г$  выбирают соответственно в соотношении 2:1:4:1. Наиболее оптимальным решением является ванночка с каркасом из полистирола толщиной 5 мм и размерами  $a, б, в, г, д, e$  соответственно 100, 50, 200, 50, 5, 35 мм.

### 7.2.10. Вырезание слюдяных прокладок

При установке мощных транзисторов и диодов на теплоотвод радиолюбителю приходится сталкиваться с изготовлением прокладок из тонкой (0,04–0,5 мм) *слюды*. Наибольшую трудность здесь представляет прорезание отверстий.

В этих случаях можно воспользоваться обычным чертежным измерителем или циркулем с двумя иглами. На чертеж прокладки, нарисованный на плотной белой бумаге в масштабе 1:1, накладывают заготовку слюды. Одну иглу циркуля устанавливают в центр будущего отверстия, а второй процарапывают окружность требуемого диаметра. Вращать циркуль нужно осторожно, без нажима и обязательно в одну сторону, иначе слюда может расслоиться.

## 7.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА

В описании некоторых приборов с питанием от сети переменного тока часто приводятся параметры самодельного трансформатора. Нужные для него железные пластины и медный провод в эмалевой изоляции приобрести несложно, а вот в дальнейшем возникает немало вопросов.

Но оказывается, что изготовить трансформатор самостоятельно не так уж и сложно, надо только знать некоторые секреты производства и придерживаться приведенных советов.

### 7.3.1. Трансформатор из штампованных пластин

Чтобы уменьшить потери на вихревые токи, сердечник (*магнитопровод*) трансформатора обычно выполняют из тонких штампованных металлических пластин, сложенных вместе. Пластины Ш-образной формы используются для изготовления *броневых магнитопроводов* (рис. 7.8а), а Г-образной – для *стержневых* (рис. 7.8б). Необходимая толщина набора, как правило, указывается в описании. Например, сказано, что нужно взять железо Ш20×15. Это значит, что ширина средней части Ш-образной пластины  $y$  должна быть 20 мм, а толщина стопки сложенных вместе пластин должна составлять  $y_1 = 15$  мм. На среднюю часть сердечника из пластин надевают каркас с обмотками трансформатора и накладывают замыкающие пластины, чтобы в итоге получился замкнутый магнитопровод. Такова простейшая конструкция трансформатора.

Размеры нормализованных броневых магнитопроводов из штампованных пластин приведены в табл. 7.2.

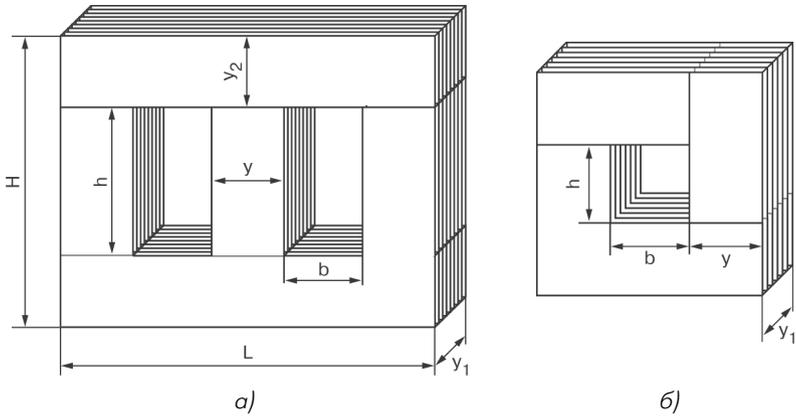


Рис. 7.8. Магнитопровод трансформатора из штампованных пластин: броневой (а) и стержневой (б)

Таблица 7.2. Размеры нормализованных броневых магнитопроводов из штампованных пластин

Тип	$y$ , мм	$y_1$ , мм	$b$ , мм	$h$ , мм	$L$ , мм	$H$ , мм	Средняя длина магнитной линии, см
<b>Ш</b>	9	9; 12	9	22,5	36	31,5	7,72
	12	10; 12; 16; 20; 25; 32	12	30	48	42	10,0
	16	10; 12; 16; 20; 25; 32; 40	16	40	64	56	13,7
	20	12; 16; 20; 25; 32; 40; 50	20	50	80	70	17,4
	25	16; 20; 25; 32; 40; 50; 64	25	62,5	100	87,5	21,4
	32	20; 25; 32; 40; 50; 64; 80	32	80	123	112	27,4
	40	25; 32; 40; 50; 64; 80; 100	40	100	160	140	34,3
<b>ША</b>	5	6,3; 10	5	12,5	20	17,5	4,3
	6	8; 12,5	6	15	24	21	5,2
	8	10; 16	8	20	32	28	6,3
	10	16; 20	10	25	40	35	8,6
	12	25	12	30	48	42	10,3
<b>ШВ</b>	3	4; 6,3	3,5	8	14	12	2,8
	4	4; 8	5	10	20	15	3,4

Преимущество магнитопроводов, набираемых из пластин, заключается в том, что их можно изготовить из любых, даже очень хрупких материалов. В броневом сердечнике обмотки располагаются на центральном стержне, что упрощает конструкцию, обеспечивает более полное использование окна и частично создает защиту обмотки от механических воздействий. Недостатком же такого трансформатора является повышенная чувствительность к воздействию магнитных полей низкой частоты. Это ограничивает применение броневых магнитопроводов, в частности, в устройстве входных трансформаторов.

В стержневых магнитопроводах обмотки располагаются на двух стержнях. При этом уменьшается толщина намотки и, следовательно, индуктивность рассеяния трансформатора. Кроме того, сокращается расход провода и увеличивается поверхность охлаждения, что важно для мощных трансформаторов. Поэтому стержневые магнитопроводы чаще всего входят в состав мощных выходных трансформаторов, а также входных трансформаторов высокочувствительных усилителей.

При изготовлении магнитопроводов к Ш-образным пластинам добавляют перемычки. Чтобы ликвидировать зазор между пластинами и перемычками, магнитопровод собирают «вперемежку». В магнитопроводах трансформаторов и дросселей, по которым протекает постоянный ток (например, дросселей фильтра питания), делают немагнитный зазор. В этом случае пластины собирают в одну сторону. Между пакетами пластин и перемычек помещают прокладку из листового электроизоляционного материала необходимой толщины.

Для уменьшения потерь на вихревые токи пластины дополнительно изолируют тонким слоем лака (с одной стороны) или окисла, который образуется при отжиге.

После сборки магнитопровод стягивают планками или уголками при помощи шпилек с гайками либо специальными обжимками. Шпильки должны быть изолированы от пластин. Стяжные планки, уголки или обжимки служат одновременно для крепления трансформатора на шасси.

### 7.3.2. Ленточные трансформаторы

Витые (*ленточные*) магнитопроводы трансформаторов навивают из полос электротехнической стали или железо-никелевых сплавов (рис. 7.9).

В устройстве таких магнитопроводов допускаются материалы различной толщины (до нескольких микрометров), что позволяет применять их для трансформаторов при повышенных частотах. Они эффективнее, чем пластинчатые магнитопроводы, используют магнитные

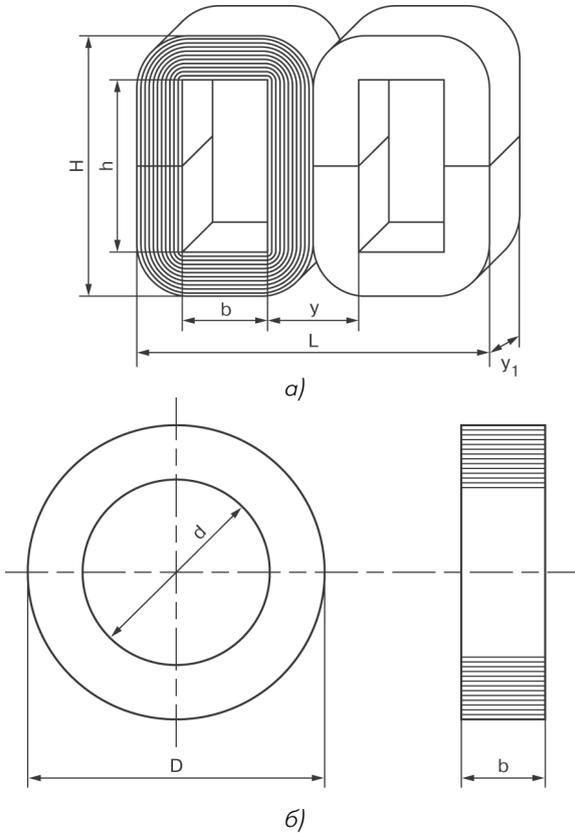


Рис. 7.9. Витые (ленточные) магнитопроводы: броневой (а) и кольцевой, или тороидальный (б)

свойства материалов (особенно холоднокатанных сталей); отличаются несколько повышенными потерями и наличием воздушного зазора в стыках (5...40 мкм). Кроме того, следует отметить меньшую стоимость изготовления.

Особенности применения броневых ленточных магнитопроводов такие же, как и броневых Ш-образных.

*Тороидальные* магнитопроводы позволяют наиболее полно использовать магнитные свойства материала, обеспечивают слабое внешнее магнитное поле трансформатора, однако применяются сравнительно редко из-за сложности намотки.

Размеры нормализованных ленточных броневых магнитопроводов приведены в табл. 7.3, а ленточных кольцевых (тороидальных) – в табл. 7.4. Типоразмер ленточного броневых магнитопровода обозначается так же, как и пластинчатого, например ШЛ12×16. Обозначение тороидального магнитопровода несколько иное, например ОЛ20/32–16, где 20 – внутренний диаметр  $d$ , 32 – внешний диаметр  $D$ , 16 – ширина ленты  $b$ .

Таблица 7.3. Размеры нормализованных ленточных броневых магнитопроводов

Тип	$y$ , мм	$y_1$ , мм	$b$ , мм	$h$ , мм	$L$ , мм	$H$ , мм	Средняя длина магнитной линии, см
ШЛ	4	4; 5; 6,5; 8	4	10	16	14	3,4
	5	5; 6,5; 8; 10	5	12	20	17	4,2
	6	6,5; 8; 10; 12,5	6	15	24	21	5,1
	8	8; 10; 12,5; 16	8	20	32	28	6,8
	10	10; 12,5; 16; 20	10	25	40	35	8,5
	12	12,5; 16; 20; 25	12	30	48	42	10,2
	16	16; 20; 25; 32	16	40	64	56	13,6
	20	20; 25; 32; 40	20	50	80	70	17,1
	25	25; 32; 40; 50	25	62,5	100	87,5	21,3
	32	32; 40; 50; 64	32	80	128	112	27,3
40	40; 50; 64; 80	40	100	160	140	34,2	
ШЛМ	8	8; 10; 12,5; 16	5	14	26	22	5,0
	10	10; 12,5; 16; 20	6	18	32	28	6,4
	12	12,5; 16; 20; 25	8	23	40	35	8,1
	16	16; 20; 25; 32	10	26	52	42	9,7
	20	20; 25; 32; 40	12	36	64	56	12,7
25	25; 32; 40; 50	15	45	80	70	16,0	
ШЛО	4	5; 6,5; 8; 10	5	13	18	17	4,4
	5	5; 6,5; 8; 10	6,2	16	22,4	21	5,6
	6	6,5; 8; 10; 12,5	7,5	23	27	29	7,3
	8	8; 10; 12,5; 16	10	27	36	35	9,6
	10	10; 12,5; 16; 20	12,5	32	45	42	11,0
	12	12,5; 16; 20; 25	20	44	65	57	14,7
	16	16; 20; 25; 32	24	64	81	71	18,1

Таблица 7.4. Размеры нормализованных ленточных кольцевых магнитопроводов

Тип	$d$ , мм	$D$ , мм	$b$ , мм	Средняя длина магнитной линии, см
ОЛ	10	16	4; 5; 6,5; 8	4
	12	20	5; 6,5; 8; 10	5
	16	26	6,5; 8; 10; 12,5	6,5
	20	32	8; 10; 12,5; 16	8,1

Таблица 7.4. Размеры нормализованных ленточных кольцевых магнитопроводов (окончание)

Тип	$d$ , мм	$D$ , мм	$b$ , мм	Средняя длина магнитной линии, см
ОЛ	25	40	10; 12,5; 16; 20; 25	10,2
	32	50	16; 20; 25; 32	12,8
	40	64	20; 25; 32; 40	16,3
	50	80	25; 32; 40; 50	20,4
	64	100	32; 40; 50; 64	25,8
	80	128	40; 50; 64; 80	32,6

### 7.3.3. Ферритовые трансформаторы

Ферритовые трансформаторы изготавливаются из магнитно-мягких ферритов и представляют собой Ш-образные или кольцевые магнитопроводы (рис. 7.10).

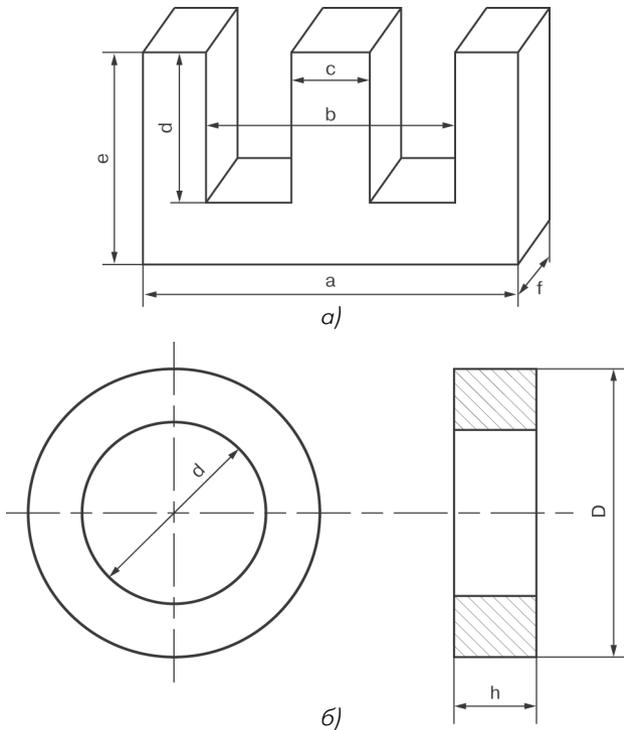


Рис. 7.10. Ферритовые магнитопроводы: Ш-образный (а) и кольцевой, или тороидальный (б)

Размеры Ш-образных магнитопроводов из феррита приведены в табл. 7.5, а кольцевых – в табл. 7.6. Следует учесть, что ферритовый Ш-образный трансформатор составляется из двух одинаковых частей (магнитопроводов). Обозначение типоразмера Ш-образного сердечника имеет вид Шсхf, а кольцевого – КD×d×h (размеры в миллиметрах).

Таблица 7.5. Номинальные размеры Ш-образных магнитопроводов из феррита

Типоразмер	a, мм	b, мм	c, мм	d, мм	e, мм	f, мм	Средняя длина магнитной линии, см	Площадь окна, см <sup>2</sup>	Марки феррита
Ш2,5×2,5	10	6,5	2,5	3,3	5	2,5	3,3	0,13	4000НМ
Ш3×3	12	8	3	4	6	3	4	0,2	2000НМ
Ш4×4	16	10,4	4	5,2	8	4	5,2	0,33	2000НМ1
Ш5×5	20	13	5	6,5	10	5	6,6	0,52	700НМ
Ш6×6	24	16	6	8	12	6	8	0,8	600НН
Ш7×7	30	19	7	9,5	15	7	9,5	1,14	4000НМ
Ш8×8	32	23	8	11,5	16	8	11	1,72	2000НМ
Ш10×10	36	26	10	13	18	10	12	2,1	2000НМ1 600НН
Ш12×15	42	30	12	15	21	15	14	2,7	2000НМ
Ш16×20	54	38	16	19	27	20	18	4,2	2000НМ
Ш20×28	65	44	20	22	32	28	21	5,3	2000НМ1

Таблица 7.6. Номинальные размеры кольцевых магнитопроводов из низкочастотных (марганцево-цинковых) ферритов

Типоразмер	Средняя длина пути магнитной линии, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Площадь окна, мм <sup>2</sup>
К4,0×2,5×1,2*	9,84	0,88	4,91
К5,0×2,0×1,5**	9,6	2,1	3,14
К5,0×3,0×1,5*	12,04	1,47	7,07
К7,0×4,0×1,5	16,41	2,19	12,57
К7,0×4,0×2,0*	16,41	2,92	12,57
К10,0×6,0×2,0	24,07	3,91	28,27
К10,0×6,0×3,0*	24,07	5,87	28,27
К10,0×6,0×4,5	24,07	8,81	28,27
К12,0×5,0×5,5	23,57	18,07	19,63
К12,0×8,0×3,0	30,57	5,92	50,27
К16,0×8,0×6,0	34,84	23,06	50,27
К16,0×10,0×4,5*	39,37	13,25	78,54
К17,5×8,2×5,0	36,75	22,17	52,81

Таблица 7.6. Номинальные размеры кольцевых магнитопроводов из низколегированных (марганцево-цинковых) ферритов (окончание)

Типоразмер	Средняя длина пути магнитной линии, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Площадь окна, мм <sup>2</sup>
K20,0×10,0×5,0	43,55	24,02	78,54
K20,0×12,0×6,0*	48,14	23,48	113,09
K28×16×9*	65,64	52,61	201,06
K31×18,5×7	74,41	42,79	268,8
K32×16×8	69,68	61,5	201,06
K32×16×12**	69,68	92,25	201,06
K32×20×6	78,75	35,34	314,15
K32×20×9*	78,75	53,02	314,15
K38×24×7	94,04	48,15	452,38
K40×25×7,5	98,64	55,23	490,87
K40×25×11*	98,64	81,11	490,87
K45×28×8	110,47	66,74	615,75
K45×28×12**	110,47	97,83	615,75

Примечания:

1. Сердечники из феррита марки 700НМ изготавливаются с наружным диаметром 5–20 мм.
2. Сердечники, отмеченные звездочкой (\*), производятся также из феррита марки 10000НМ.
3. Сердечники, отмеченные двумя звездочками (\*\*), из феррита марок 1000НМ, 1500НМ, 2000НМ, 3000НМ, 4000НМ, 6000НМ, 10000НМ не изготавливаются.

### 7.3.4. Каркас трансформатора

Рассмотрим подробнее сам процесс изготовления трансформатора из магнитопровода с Ш-образными пластинами. Выбрав нужный типоразмер, приступают к созданию *каркаса*. Его можно склеить из электрокартона, но значительно прочнее сборный каркас из текстолита или гетинакса. (Если в качестве заготовки вы используете негодную печатную плату, то обязательно удалите с нее медную фольгу.) По известным размерам сердечника и толщине картона на листе бумаги нарисуйте эскизы деталей каркаса (рис. 7.11) и проставьте на них полученные размеры. Размер  $\delta$  – толщина материала.

Каркас состоит из двух *щечек* и четырех *пластин* (в первом варианте две пластины 1 и две пластины 2, во втором – две пластины 3 и две пластины 4). Указанные варианты принципиальных отличий не имеют, немного разнятся только конфигурации пластин.

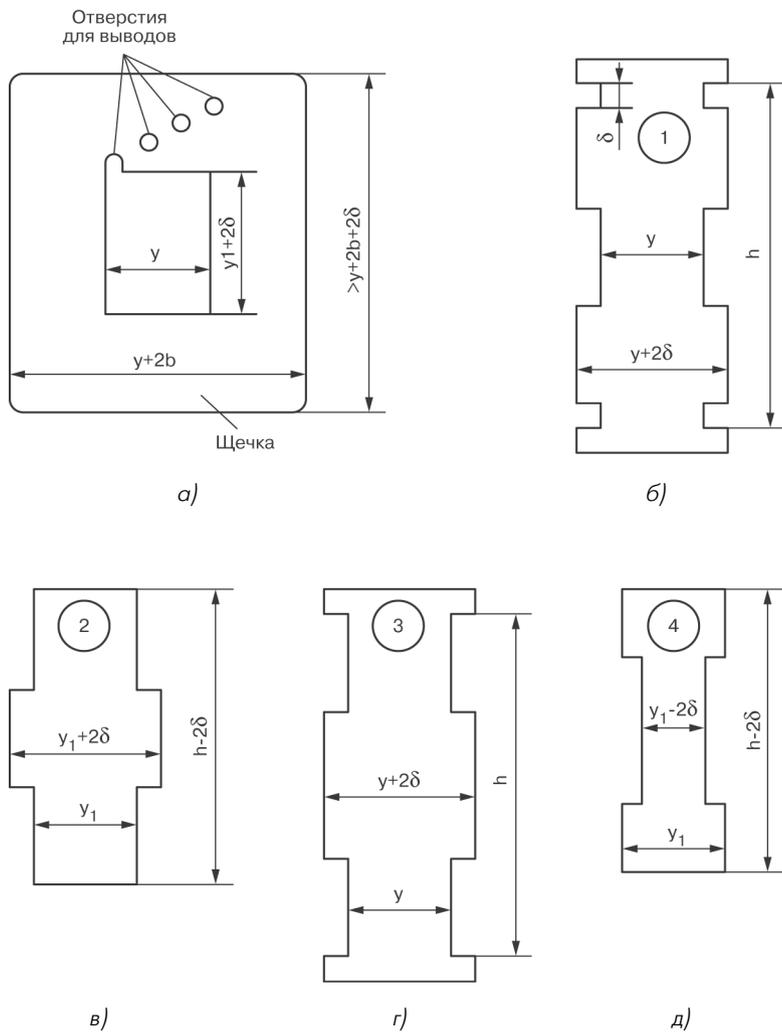


Рис. 7.11. Детали каркаса катушки: щечки (а), пластина 1 (б), пластина 2 (в), пластина 3 (г), пластина 4 (д)

Затем размеры с эскиза перенесите на лист материала. Если толщина материала позволяет, детали можно вырезать ножницами, а затем напильником пропилить в них пазы. В щечках каркаса просверлите

отверстия для выводов, а после этого выпилите окна. Отверстия нужно делать только на той щечке, которая после сборки трансформатора будет снаружи.

Готовые детали расположите на столе и подгоните стороны пластин 1 и 2 (или 3 и 4) так, чтобы сошлись все пропилы и выступы «замка». Чтобы не спутать детали при сборке каркаса, пронумеруйте их. Порядок сборки каркаса следующий. Вставьте в отверстие первой щечки одну из сторон пластины 1 (3). Другую сторону пластины вставьте в отверстие второй щечки. Аналогичным образом расположите вторую пластину 1 (3) с противоположной стороны отверстия щечек. Укрепите две пластины 2 (4) в пропилы пластин 1 (3). Пропилы пластин сойдутся, и гильза каркаса окажется прочно собранной. Каркас готов. Закруглите напильником углы гильзы и щечек, снимите заусеницы. Углы гильзы желательно промазать клеем.

### 7.3.5. Обмотка трансформатора

Обмотки трансформаторов разделяют на цилиндрические и галетные. *Цилиндрическая обмотка* (рис. 7.12а) проще в изготовлении. При намотке на каркас провод может укладываться слоями (*виток к витку*) или беспорядочно (*внавал*). Первый способ применяется, когда необходима высокая электрическая прочность обмотки, например, в трансформаторах питания.

Чтобы увеличить электрическую прочность, используют межслойную изоляцию. Для прокладок между рядами витков подойдет тонкая плотная бумага, например, калька, конденсаторная или папиросная бумага. Обмотки желательно изолировать лакотканью, фторопластом, плотной кабельной либо оберточной бумагой.

Изготовление *изоляционных полос* начните с измерения расстояния между щечками готового каркаса. Чтобы крайние витки обмоток не заваливались между краями полос и щечками, увеличьте этот размер на 4–6 мм, а края надрежьте ножницами (рис. 7.13). По длине полосы должны быть такими, чтобы их хватило на один оборот вокруг обмотки, а края полос перекрывались на 30–40 мм.

В согласующих трансформаторах допускается намотка *внавал* без межслойной изоляции. При такой намотке собственная емкость трансформатора уменьшается.

Если обмотка должна быть симметричной, ее разделяют на две равные части, которые наматываются в разные стороны в виде отдельных

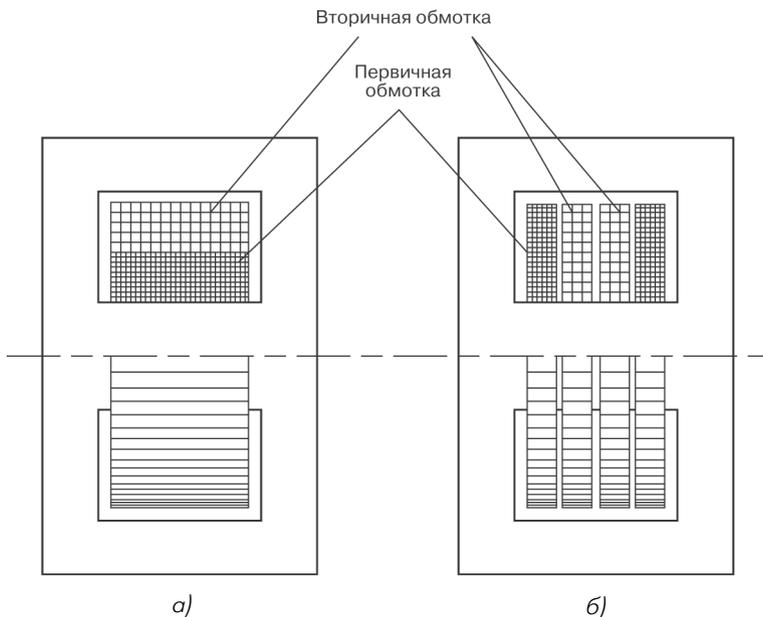


Рис. 7.12. Обмотка трансформаторов: цилиндрическая (а), галетная (б)

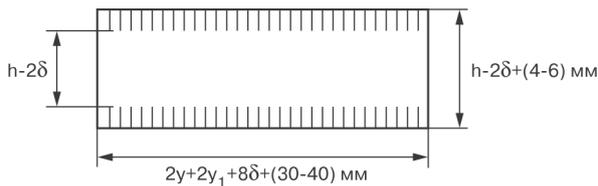


Рис. 7.13. Заготовка изоляционной полосы

секций. Общей (средней) точкой является соединение концов или начал полуобмоток. При малых напряжениях симметричную обмотку можно выполнять двумя проводами, сложенными вместе.

*Галетная обмотка* (рис. 7.12б) сложнее в изготовлении, но отличается более высокой электрической прочностью, меньшей собственной емкостью и индуктивностью рассеяния. Кроме того, при необходимости ее можно отремонтировать, заменив галеты. Для намотки галет используют специальные оправки, состоящие из гильзы и двух щечек с радиальными прорезями (они чем-то напоминают каркас для намотки

катушек, только с меньшим размером  $h$ ). Перед намоткой в прорези вкладываются отрезки прочных ниток, которыми скрепляются витки после намотки галеты.

Симметричность галетной обмотки достигается разделением ее на две части, которые наматываются и соединяются так же, как и в случае цилиндрической обмотки.

При намотке трансформатора необходимо изолировать выводы, места паек и отводы обмоток, для чего потребуются отрезки ПВХ трубок («кембрики») и кусочки изоленды или лакоткани. Для намотки катушки трансформатора можно использовать различные приспособления, удерживающие каркас (см. главу 1).

Выводы обмоток выполняют тем же проводом, что и саму обмотку (если диаметр провода не очень мал), или же используют отрезок гибкого многожильного монтажного провода в изоляции. Для этого зачистите и облудите конец провода и подпаяйте его к зачищенному концу (началу) обмоточного провода. Затем место соединения закройте изолирующей накладкой. Чтобы повысить надежность соединения, необходимо выполнить плавный переход жесткости от места пайки к выводу, исключить соприкосновение места пайки с химически активными материалами и обеспечить его защиту от воздействия влаги.

Далее выводной провод проденьте через отверстие в щелке и закрутите вокруг прута намоточного приспособления. Это нужно для того, чтобы вывод не мешал при намотке. Придерживая левой рукой обмоточный провод, правой вращайте ручку намоточного устройства. Старайтесь укладывать провод виток к витку. Намотав один ряд, оберните его слоем тонкой изоляционной бумаги и приступайте к следующему ряду. Если трансформатор малогабаритный, а витков много, достаточно установить прокладки через определенное число витков, скажем, 500. Намотку в этом случае ведут внавал, равномерно распределяя витки по ширине каркаса.

Если от части обмотки требуется сделать *отвод*, поступите следующим образом. В месте отвода зачистите обмоточный провод на длину 3–5 мм и припаяйте к нему конец выводного провода. Затем возьмите бумажную полоску с отверстием в середине, согните ее вдоль пополам и пропустите в ее отверстие выводной провод. Полоску разместите вдоль каркаса, а между выводным проводом и витками обмотки положите кусочек изолирующей бумажной полоски и продолжайте намотку. Как уже говорилось, если для обмотки используется толстый провод, он же может служить и выводным. В этом случае начало и конец обмотки выводите непосредственно этим проводом.

Особое внимание следует уделить изоляции между *сетевой* и *понижающей* обмотками (или сетевой и вторичной). При намотке понижающей обмотки поверх сетевой нужно проложить 2–3 слоя хорошей изоляционной бумаги или лакоткани. Сначала всегда выполняют сетевую обмотку, и только затем понижающую. Поверх последней обмотки (если их несколько) укладывают 1–2 слоя изоляционной бумаги.

Теперь трансформатор можно собрать. Положите каркас на стол выводами вниз. Пластины сердечника соберите вперемежку: одну пластину вставляйте в каркас с правой стороны, другую – с левой и т. д. Соответственно чередуются и замыкающие пластины. Все пластины устанавливайте лакированной поверхностью в одну сторону. Последние пластины, если они входят туго, забейте легкими ударами киянки (или обычного молотка через деревянную прокладку). Затем, поставив трансформатор на ровную дощечку, молотком осторожно подравняйте сердечник, поворачивая его разными сторонами. Теперь осталось только изготовить из металлической полоски обойму (рис. 7.14) и обжать ею магнитопровод трансформатора.

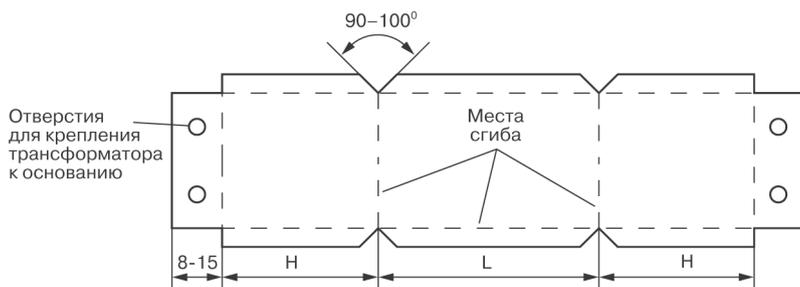


Рис. 7.14. Обойма для крепления трансформатора

Аналогично изготавливается трансформатор с другим магнитопроводом. Исключение составляют тороидальные трансформаторы. Каркас для обмотки в этом случае не применяется. Намотка катушек требует определенного опыта и сноровки, а также огромного терпения и внимательности. Ведь весь цикл намотки придется проделать вручную.

Для защиты трансформаторов от воздействия внешней среды обмотки иногда пропитывают изоляционными материалами (пропиточными лаками). Кроме того, трансформаторы обволакивают компаундами или герметизируют.

<b>1</b>	Рабочее место радиомонтажника	11
<b>2</b>	Гальваническое соединение деталей	43
<b>3</b>	Изготовление печатных плат	63
<b>4</b>	Монтаж печатной платы	109
<b>5</b>	Изготовление корпуса	129
<b>6</b>	Окраска деталей	147
<b>7</b>	Технологические секреты	175

## 8

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТЫ

<b>Проверка исправности электрорадиоэлементов</b>	<b>202</b>
<b>Методы определения неизвестных параметров</b>	<b>209</b>
<b>Расчеты намоточных компонентов</b>	<b>213</b>

<b>9</b>	Приложения	229
----------	------------	-----

## 8.1. ПРОВЕРКА ИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ

Покупая электрорадиоэлементы в магазине, радиолюбитель в какой-то мере застрахован от приобретения некачественных и неисправных компонентов. А вот работоспособность деталей, выпаянных из старой аппаратуры, гарантировать нельзя. Разумеется, существуют специальные приборы, позволяющие определить параметры подобных элементов, но не у каждого радиолюбителя они есть. И тут вам пригодятся простейшие способы проверки электрорадиоэлементов.

### 8.1.1. Проверка резисторов

Для проверки проволочного и непроволочного *резисторов* постоянно и переменного сопротивления необходимо выполнить следующие действия:

1. Произвести внешний осмотр.
2. Проверить работу движущего механизма переменного резистора и состояние его частей.
3. По маркировке и размерам определить номинальную величину сопротивления, допустимую мощность рассеяния и класс точности.
4. Омметром измерить действительную величину сопротивления и определить отклонение от номинала; у переменных резисторов измерить еще и плавность изменения сопротивления при движении ползунка.

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.

### 8.1.2. Проверка конденсаторов

Выделяют следующие электрические неисправности *конденсаторов*: пробой; короткое замыкание пластин; изменение номинальной емкости сверх допуска из-за старения диэлектрика, попадания влаги, перегрева, деформации; повышение тока утечки, вызванное ухудшением характеристик изоляции.

Полная или частичная потеря емкости электролитических конденсаторов происходит в результате высыхания электролита.

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 прибором E12-1А. При отсутствии прибора емкость можно проверить другими способами.

*Конденсаторы большой емкости* (1 мкФ и выше) проверяют омметром, подключая его к выводам конденсатора. Если элемент исправен, то стрелка прибора медленно возвращается в исходное положение. Если же утечка велика, то стрелка в исходное положение не вернется.

*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 прибора не уменьшится, значит, обрывов выводов нет.

### 8.1.3. Проверка катушек 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.

### 8.1.4. Проверка трансформаторов и дросселей

По конструкции и технологии изготовления силовые трансформаторы, трансформаторы и дроссели НЧ весьма похожи. И те, и другие состоят из обмоток, выполненных изолированным проводом, и сердечника.

Неисправности *трансформаторов* и *дросселей* НЧ делятся на механические и электрические. К механическим неисправностям относятся поломки экрана, сердечника, выводов, каркаса и крепежной арматуры, к электрическим – обрывы обмоток; замыкания между витками обмоток; короткое замыкание обмотки на корпус, сердечник, экран или арматуру; пробой между обмотками, на корпус или между витками одной обмотки; уменьшение сопротивления изоляции; местные перегревы.

Проверку трансформаторов и дросселей НЧ 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 омметром (рис. 8.1а, 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. 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 катушки с помощью специального прибора – анализатора короткозамкнутых витков.
3. Проверка коэффициентов трансформации на холостом ходу (рис. 8.1в). Коэффициент трансформации определяется как отношение напряжений, показываемых вольтметрами 2 и 1. При наличии межвитковых замыканий (изображено пунктиром) коэффициент трансформации будет меньше нормы.
4. Измерение индуктивности обмотки.

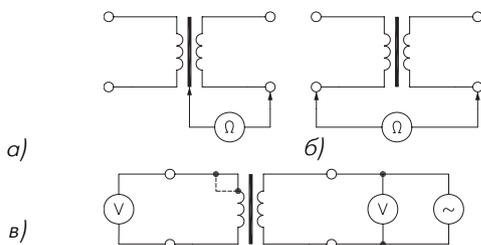


Рис. 8.1. Схемы проверки трансформатора на замыкание между обмоткой и сердечником (а), между обмотками (б), проверки коэффициента трансформации на холостом ходу (в)

5. Измерение потребляемой мощности на холостом ходу. У силовых трансформаторов одним из признаков короткозамкнутых витков является чрезмерный нагрев обмотки.

### 8.1.5. Проверка полупроводниковых диодов

Простейшая проверка исправности полупроводниковых *диодов* заключается в измерении их прямого  $R_{np}$  и обратного  $R_{обр}$  сопротивлений. Чем выше отношение  $R_{обр}/R_{np}$ , тем выше качество диода. Для измерения диод подключают к тестеру (омметру) или к ампервольтметру, как показано на рис. 8.2. При этом выходное напряжение измерительного прибора не должно превышать максимально допустимого для данного элемента.

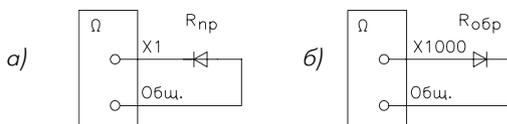


Рис. 8.2. Схема проверки исправности диода: измерение прямого (а) и обратного (б) сопротивлений

Исправность высокочастотных диодов можно проверить включением их в схему работающего простейшего детекторного радиоприемника, как показано на рис. 8.3. Нормальная работа радиоприемника говорит об исправности диода, а отсутствие приема – о пробое.

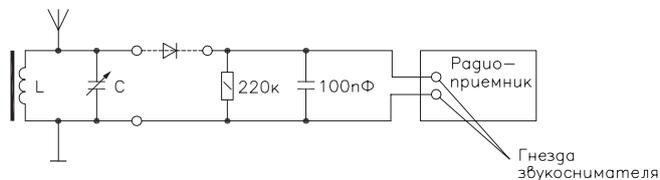


Рис. 8.3. Схема проверки исправности ВЧ диода

### 8.1.6. Проверка транзисторов

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. 8.4а) и соединении базы с эмиттером (рис. 8.4б). При этом источник коллекторного питания отключают от схемы. Если транзистор исправен, в первом случае омметр покажет малое сопротивление, во втором – порядка нескольких сотен тысяч или десятков тысяч ом.

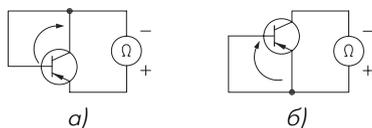


Рис. 8.4. Схема проверки исправности транзистора

Чтобы проверить транзистор, не включенный в схему, на отсутствие коротких замыканий, необходимо измерить сопротивления между его электродами. Для этого омметр подключают поочередно к базе и эмиттеру, к базе и коллектору, к эмиттеру и коллектору, меняя полярность подключения. Поскольку транзистор состоит из двух переходов, причем каждый из них представляет собой полупроводниковый диод, проверить транзистор можно таким же образом, как и диод.

Чтобы проверить исправность данного элемента, омметр подключают к соответствующим выводам транзистора (на рис. 8.5 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.

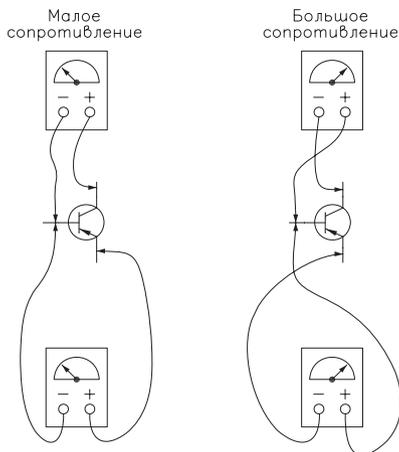


Рис. 8.5. Проверка транзистора с помощью омметра

При проверке ВЧ транзисторов напряжение батареи омметра не должно превышать 1,5 В. Для более точной проверки необходимо использовать специальные приборы.

Многие модели современных мультиметров имеют специальные гнезда для подключения транзисторов с целью проверки их исправности. Наличие такого прибора значительно упростит работу радиюлюбителя и ускорит проверку.

### 8.1.7. Проверка тиристоров

Простейший способ проверки *тиристоров* представлен на рис. 8.6. Сопротивление исправного тиристора составляет несколько мегаом, а пробитого – близко к нулю. Если анод исправного тиристора соединить на несколько мгновений с управляющим электродом (УЭ), прибор покажет сопротивление короткого замыкания.

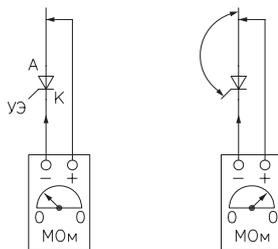


Рис. 8.6. Проверка тиристора с помощью мегомметра

### 8.1.8. Проверка элементов питания

Проверку гальванических батарей и сухих элементов осуществляют с помощью вольтметра при подключенной нагрузке (рис. 8.7).

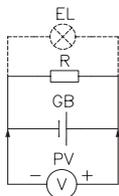


Рис. 8.7. Проверка гальванических батарей и сухих элементов с помощью вольтметра при подключенной нагрузке

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) – 3,8–4 В.

### 8.1.9. Проверка полевых транзисторов

Из многочисленных параметров *полевых транзисторов* практическое значение имеют только два:  $I_{с.нач.}$  – ток стока при нулевом напряжении на затворе и  $S$  – крутизна характеристики. Эти параметры можно измерить, используя простую схему, изображенную на рис. 8.8. Для этого потребуется 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).

Сначала вывод затвора соединяют проволочной перемычкой с выводом истока. При этом миллиамперметр зафиксирует первый параметр транзистора – ток стока  $I_{с.нач.}$ . 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

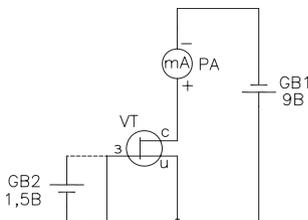


Рис. 8.8. Проверка полевых транзисторов

напряжение элемента, полученный результат будет соответствовать численному значению параметра  $S$  проверяемого полевого транзистора.

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

## 8.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

### 8.2.1. 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 –  $n$ - $p$ - $n$ .

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

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  $n$ - $p$ - $n$  транзистора) или минусовый (для  $p$ - $n$ - $p$  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 минусовый вывод прибора.

### 8.2.2. Определение полярности источника постоянного тока без прибора

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. 8.9а).

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. 8.9б).

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. 8.9в).

Для постоянного пользования можно изготовить простой индикатор для определения полярности неизвестного источника. Он представляет собой стеклянную трубочку, закрытую пробками, с пропущенными внутрь нее электродами (держатели спирали), взятыми от перегоревшей электролампы (рис. 8.9г).

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).

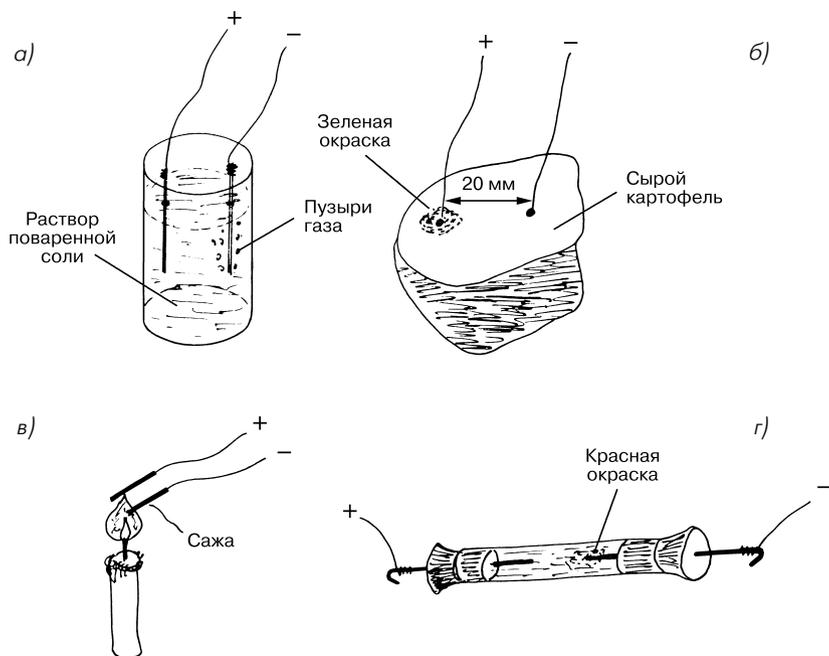


Рис. 8.9. Определение полярности источника постоянного тока с помощью раствора поваренной соли (а), картофеля (б), пламени свечи (в), самодельного индикатора (г)

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.

### 8.2.3. 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 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, можно определить по формуле

$$N_1 = \frac{U_1}{U_2} N_2,$$

где  $N_2$  – число витков вспомогательной обмотки.

Коэффициент трансформации между этими обмотками равен отношению  $N_2/N_1$ . Точно также 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.

#### 8.2.4. Определение внутреннего сопротивления электроизмерительного прибора

Для расчета элементов схемы при конструировании измерительных приборов необходимо знать характеристики самого стрелочного прибора. *Сопротивление рамки* магнитоэлектрического микроамперметра

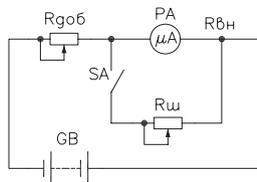


Рис. 8.10. Измерение внутреннего сопротивления прибора

может быть измерено простым и безопасным способом. Для этого следует собрать цепь, состоящую из прибора  $PA$ , сопротивление рамки  $R_{ин}$  которого нужно определить, переменного добавочного резистора  $R_{доб}$ , батареи питания  $GB$ , шунтирующего резистора  $R_{ш}$  и выключателя  $SA$  (рис. 8.10).

*Сопротивление добавочного резистора*  $R_{доб}$  подбирают при отключенном  $R_{ш}$  таким образом, чтобы стрелка прибора отклонилась на всю шкалу. Затем параллельно рамке прибора подключают шунтирующий резистор переменного сопротивления  $R_{ш}$ , значение которого выбирают с таким расчетом, чтобы стрелка прибора отклонилась на половину

шкалы. При данном условии ток в рамке будет равен току, протекающему через  $R_{ш}$ , то есть  $R_{ш} = R_{ш}$ . Затем  $R_{ш}$  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.

### 8.3. РАСЧЕТЫ НАМОТОЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

#### 8.3.1. Расчетные формулы при работе с проволокой

Расчеты по формуле более верны, чем по таблице, и необходимы в тех случаях, когда в таблицах отсутствуют точные данные.

*Сопротивление провода* (в омах) вычисляется по формуле

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad \text{или} \quad R = \frac{1,27 \rho l}{d^2},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление по таблице;  $l$  – длина провода, м;  $S$  – площадь поперечного сечения провода, мм<sup>2</sup>;  $d$  – диаметр провода, мм.

*Длина провода* из этих выражений определяется по формулам

$$l = \frac{RS}{\rho} \quad \text{или} \quad l = \frac{0,785 R d^2}{\rho}.$$

Площадь поперечного сечения подсчитывается по формуле

$$S = 0,785 d^2.$$

Сопротивление провода  $R_2$  при температуре  $t_2$  может быть определено по формуле

$$R_2 = R_1(1 + \alpha(t_2 - t_1)),$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент электросопротивления (из табл. 8.1),  $R_1$  – сопротивление при некоторой начальной температуре  $t_1$ .

Таблица 8.1. Характеристики некоторых токопроводящих материалов

Материал	Удельное сопротивление $\rho$ , Оммм <sup>2</sup> /м	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Температурный коэффициент электро-сопротивления ( $\alpha$ )	Температура плавления, °С	Максимальная рабочая температура, °С
Медь	0,0175	8,9	+0,004	1085	–
Алюминий	0,0281	2,7	+0,004	658	–
Железо	0,135	7,8	+0,005	1530	–
Сталь	0,176	7,95	+0,0052	–	–
Никелин	0,4	8,8	+0,00022	1100	200
Константан	0,49	8,9	-0,000005	1200	200
Манганин	0,43	8,4	+0,00002	910	110
Нихром	1,1	8,2	+0,00017	1550	1000

Обычно за  $t_1$  принимают 18 °С, и во всех приведенных таблицах указана величина  $R_1$  для  $t_1=18$  °С.

Допустимую силу тока при заданной норме плотности тока  $\Delta$  (А/мм<sup>2</sup>) находят по формуле

$$I = 0,785\Delta d^2.$$

Необходимый диаметр провода по заданной силе тока определяют по формуле

$$d = \sqrt{\frac{1,27I}{\Delta}}.$$

Если норма нагрузки  $\Delta = 2$  А/мм<sup>2</sup>, то формула принимает вид

$$d = 0,8\sqrt{I}.$$

Ток плавления для тонких проволочек с диаметром до 0,2 мм подсчитывается по формуле

$$I_{пл} = \frac{d - 0,005}{k},$$

где  $d$  – диаметр провода, мм;  $k$  – постоянный коэффициент, составляющий для меди 0,034, для никеля – 0,07, для железа – 0,127.

Диаметр провода отсюда будет:

$$d = kI_{пл} + 0,005.$$

### 8.3.2. Электрические расчеты нагревательных элементов

Электронагреватели широко используются в таких электроприборах, как чайник, утюг, камин, плитка, паяльник и т. д. Радиолобителю довольно часто приходится сталкиваться с проблемой расчета нагревательных элементов.

*Тепловое действие тока.* При прохождении тока через неподвижные металлические проводники единственным результатом работы тока является нагревание этих проводников, и, следовательно, по закону сохранения энергии вся работа, совершенная током, превращается в тепло.

*Работа* (в джоулях), совершаемая током при прохождении через участок цепи, вычисляется по формуле:

$$A = UIt,$$

где  $U$  – напряжение, В;  $I$  – сила тока, А;  $t$  – время, с.

Количество теплоты (Дж), выделенное в проводнике при прохождении электрического тока, пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока и вычисляется по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2Rt,$$

где  $R$  – сопротивление проводника, Ом.

В качестве примера произведем расчет количества теплоты, требуемой для того, чтобы вскипятить воду в двухлитровом чайнике. Напряжение сети  $U = 220$  В. Ток, потребляемый электрочайником,  $I = 4$  А. Необходимо определить время закипания воды, если КПД чайника 80%, начальная температура воды  $20$  °С, удельная теплоемкость воды  $C = 4200$ .

Определим количество теплоты, необходимое для нагрева воды до температуры кипения:

$$Q = Cm(t_{\text{кип}} - t_0) = 4200 \times 2(100 - 20) = 672000 \text{ Дж.}$$

Затем определим общее количество теплоты, которое должен выделить нагревательный элемент электрочайника, с учетом потерь на нагрев керамики, корпуса чайника и внешней среды:

$$Q_{\text{общ}} = \frac{Q}{\text{КПД}} = \frac{672000}{0,8} = 840000 \text{ Дж.}$$

Вычислим время закипания воды в чайнике, используя закон Джоуля-Ленца:

$$Q_{\text{общ}} = A = UI t.$$

Отсюда находим время  $t$ :

$$t = \frac{Q_{\text{общ}}}{UI} = \frac{840000}{220 \cdot 4} = 954 \text{ с} = 15 \text{ мин } 54 \text{ с}.$$

*Мощность электрического тока.* Зная работу, совершаемую током за некоторый промежуток времени, можно рассчитать и *мощность* тока, под которой, как и в механике, понимают работу, совершаемую за единицу времени. Из формулы, определяющей работу постоянного тока,  $A = Ut$ , следует, что мощность его равна

$$P = \frac{A}{t} = UI.$$

Нередко говорят о мощности тока, потребляемого от сети, имея в виду, что при помощи электрического тока (за счет тока) нагреваются утюги, электроплитки и т. д.

В соответствии с этим на приборах нередко обозначается их мощность, то есть мощность тока, необходимая для их нормального функционирования. Так, например, для нормальной работы электроплитки на 220 В мощностью 500 Вт требуется ток около 2,3 А при напряжении 220 В ( $2,3 \times 220 \approx 500$ ). На практике применяют более крупные единицы мощности:

- 1 гВт (гектоватт) = 100 Вт;
- 1 кВт (киловатт) = 1000 Вт.

Таким образом, 1 Вт есть мощность, выделяемая током 1 А в проводнике, между концами которого поддерживается напряжение 1 В.

Единица работы, совершаемая электрическим током в течение 1 с при помощи 1 Вт, называется ватт-секундой, или джоулем. Применяют более крупные единицы работы: 1 Вт-ч (ватт-час) или 1 кВт-ч (киловатт-час), который равен работе, совершаемой электрическим током в течение 1 ч при мощности 1 кВт.

Длину и диаметр проволоки нагревательного элемента рассчитывают исходя из величины напряжения сети и его заданной мощности.

Основные данные для расчета нагревательных элементов приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Данные для расчета нагревательных элементов

Допустимая сила тока, А	1	2	3	4	5	6	7
Диаметр нихромовой проволоки при температуре 700 °С, мм	0,17	0,3	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85
Площадь поперечного сечения проволоки, мм <sup>2</sup>	0,0227	0,0707	0,159	0,238	0,332	0,442	0,57

Сила тока при данном напряжении и мощности определяется по формуле

$$I = \frac{P}{U};$$

омическое сопротивление проводника всегда вычисляется по формуле

$$R = \frac{U}{I}.$$

Зная величину тока, можно найти диаметр и сечение проволоки (табл. 8.2).

Подставляя полученные данные в формулу

$$l = \frac{SR}{\rho},$$

где  $l$  – длина проволоки, м;  $S$  – сечение проволоки, мм<sup>2</sup>;  $R$  – сопротивление проволоки, Ом;  $r$  – удельное сопротивление проволоки (для нихрома  $r = 1,1$ , для фехрала  $r = 1,3$ ), Ом×мм<sup>2</sup>/м, получим необходимую длину проволоки для нагревательного элемента.

**Пример.** Необходимо определить длину проволоки из нихрома для нагревательного элемента плитки мощностью  $P = 600$  Вт при напряжении сети  $U = 220$  В.

$$I = \frac{600}{220} = 2,72 \text{ А}; \quad R = \frac{220}{2,72} = 81 \text{ Ом}.$$

По этим данным находим диаметр и сечение проволоки:  $d = 0,45$  мм,  $S = 0,159$  мм<sup>2</sup>. Тогда длина проволоки будет равна

$$l = \frac{0,15981}{1,1} = 11,6 \text{ м}.$$

Таким же образом можно рассчитать нагревательные элементы и для других электроприборов.

При выборе сечения монтажных проводов необходимо учитывать величину силы тока, проходящего по ним. В табл. 8.3 приведены максимально допустимые токи нагрузки для медных проводов различного сечения.

Таблица 8.3. Допустимые токи нагрузки монтажных медных проводов

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	4	6	10
Наибольший допустимый ток, А	0,7	1	1,3	2,5	3,5	4	5	7	10	14	17	20	25	30	54

### 8.3.3. Расчет катушек индуктивности

Индуктивность катушки зависит от ее размеров, количества витков и способа намотки катушки. Чем больше эти параметры, тем выше индуктивность.

Если катушка наматывается плотно виток к витку, то индуктивность ее будет больше по сравнению с катушкой, намотанной неплотно, с промежутками между витками. Когда требуется изготовить катушку по заданным размерам и нет провода нужного диаметра, то при использовании более толстого провода надо сделать больше витков, а тонкого – уменьшить их количество, чтобы получить необходимую индуктивность.

Все приведенные выше соображения справедливы при намотке катушек без ферритовых сердечников.

Расчет однослойных цилиндрических катушек производится по формуле

$$L = \frac{D^2 \times n^2}{45D + 100l},$$

где  $L$  – индуктивность катушки, мкГн;  $D$  – диаметр катушки, см;  $l$  – длина намотки катушки, см;  $n$  – число витков катушки.

Расчет катушки выполняется в следующих случаях:

1. По заданным геометрическим размерам необходимо определить индуктивность катушки.
2. При известной индуктивности требуется определить число витков и диаметр провода катушки.

В первом случае все исходные данные, входящие в формулу, известны, и расчет не представляет затруднений.

**Пример.** Определим индуктивность катушки, изображенной на рис. 8.11, где  $l = 2$  см,  $D = 1,8$  см, число витков  $n = 20$ . Подставив в формулу все необходимые величины, получим:

$$L = \frac{1,8^2 \times 20^2}{45 \times 1,8 + 100 \times 2} \approx 4,6 \text{ мкГн.}$$

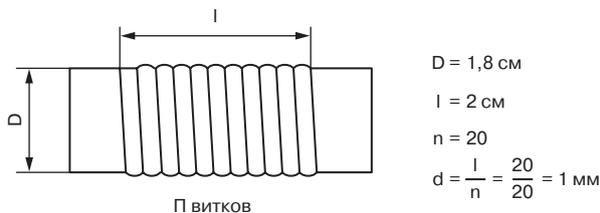


Рис. 8.11. Катушка индуктивности

Во втором случае известны диаметр катушки и длина намотки, которая, в свою очередь, зависит от числа витков и диаметра провода. Поэтому расчет рекомендуется вести в следующей последовательности. Исходя из конструкции изготавливаемого прибора, определяют размеры катушки (диаметр и длину намотки), а затем рассчитывают число витков по формуле

$$n = \frac{\sqrt{5L(9D + 20l)}}{D}.$$

Определив число витков, вычисляют диаметр провода с изоляцией по формуле

$$d = \frac{l}{n},$$

где  $d$  – диаметр провода, мм;  $l$  – длина обмотки, мм;  $n$  – число витков.

**Пример.** Нужно изготовить катушку диаметром 1 см при длине намотки 2 см, имеющую индуктивность 0,8 мкГн. Намотка рядовая виток к витку.

Подставив в последнюю формулу заданные величины, получим:

$$n = \frac{\sqrt{5 \times 0,8 (9 \times 1 + 20 \times 2)}}{1} = 14 \text{ витков.}$$

Диаметр провода

$$d = \frac{20}{14} = 1,43 \text{ мм.}$$

Если катушку наматывать проводом меньшего диаметра, то нужно полученные расчетным путем 14 витков разместить по всей длине катушки (20 мм) с равными промежутками между витками, то есть с большим шагом намотки. Индуктивность данной катушки будет на 1–2% меньше номинальной, что следует учитывать при ее изготовлении. Если для намотки берется провод большего диаметра, чем 1,43 мм, следует сделать новый расчет, увеличив диаметр или длину намотки катушки. Возможно, придется увеличить и то, и другое одновременно, пока не будут получены необходимые габариты катушки, соответствующие заданной индуктивности.

Следует заметить, что по приведенным выше формулам рекомендуется рассчитывать катушки, у которых длина намотки  $l$  равна половине диаметра или превышает эту величину. Если же длина намотки меньше половины диаметра, то более точные результаты можно получить по формулам

$$L = \frac{D^2 n^2}{10(4D + 11l)} \text{ и } n = \frac{\sqrt{10L(4D + 11l)}}{D}.$$

### 8.3.4. Пересчет катушек индуктивности

*Пересчет* катушек индуктивности производится при отсутствии провода нужного диаметра, указанного в описании конструкции, и замене его проводом другого диаметра, а также при изменении диаметра каркаса катушки.

Если отсутствует провод нужного диаметра, можно воспользоваться проводом другого диаметра. Изменение диаметра в пределах до 25% в ту или другую сторону вполне допустимо и, как правило, не отражается на качестве работы. Более того, увеличение диаметра провода допустимо во всех случаях, так как при этом уменьшается омическое сопротивление катушки и повышается ее добротность. Уменьшение же диаметра ухудшает добротность и увеличивает плотность тока на единицу сечения провода, которая не может быть больше допустимой величины.

Пересчет количества витков однослойной цилиндрической катушки при замене провода одного диаметра другим производится по формуле

$$n = n_1 \sqrt{\frac{d}{d_1}},$$

где  $n$  – новое количество витков катушки;  $n_1$  – число витков катушки, указанное в описании;  $d$  – диаметр имеющегося провода;  $d_1$  – диаметр провода, указанного в описании.

В качестве примера приведем пересчет числа витков катушки, изображенной на рис. 8.11, для провода диаметром 0,8 мм:

$$n = 20 \sqrt{\frac{0,8}{1}} \approx 18 \text{ витков,}$$

(длина намотки  $l = 18 \times 0,8 = 14,4$  мм, или 1,44 см).

Таким образом, количество витков и длина намотки несколько уменьшились. Для проверки правильности пересчета рекомендуется выполнить новый расчет катушки с измененным диаметром провода:

$$L = \frac{1,8^2 \times 18^2}{45 \times 1,8 + 100 \times 1,44} \approx 4,6 \text{ мкГн.}$$

Это подтверждают и соображения, приведенные в предыдущем разделе.

При пересчете катушки, связанном с изменением ее диаметра, следует пользоваться процентной зависимостью между диаметром и числом витков. Эта зависимость заключается в следующем: при увеличении диаметра катушки на определенное число процентов количество витков уменьшается на столько же процентов, и, наоборот, при уменьшении диаметра на равное число процентов увеличивается количество витков. Для упрощения расчетов за диаметр катушки можно принимать диаметр каркаса.

В качестве примера произведем пересчет числа витков катушки, имеющей 40 витков при длине намотки 2 см и диаметр каркаса 1,5 см, на диаметр, равный 1,8 см. Согласно условиям пересчета диаметр каркаса увеличивается на 3 мм, или на 20%. Следовательно, для сохранения неизменной величины индуктивности этой катушки при намотке

на каркас большого диаметра нужно уменьшить число витков на 20%, или на 8 витков. Новая катушка будет иметь 32 витка. Длина намотки также уменьшится на 20%, или до 1,6 см.

Проверим пересчет и определим допущенную погрешность. Исходная катушка имеет индуктивность:

$$L = \frac{1,5^2 \times 40^2}{45 \times 1,5 + 100 \times 2} = 13,45 \text{ мкГн.}$$

Индуктивность новой катушки на каркасе с увеличенным диаметром:

$$L = \frac{1,8^2 \times 32^2}{45 \times 1,8 + 100 \times 1,6} = 13,77 \text{ мкГн.}$$

Ошибка при пересчете составляет 0,32 мкГн, или меньше 2,5%, что вполне допустимо для расчетов в радиолюбительской практике.

### 8.3.5. Расчет маломощных трансформаторов питания

Наиболее важными электрическими параметрами трансформаторов питания являются выходное напряжение, номинальная мощность, КПД, падение напряжения.

Номинальной мощностью трансформатора питания называют сумму номинальных мощностей вторичных обмоток. КПД трансформатора

$$\eta = \frac{P_{ном}}{P_{ном} + P_{мп} + P_{об}},$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность трансформатора;  $P_{мп}$  – мощность потерь в магнитопроводе;  $P_{об}$  – мощность потерь в обмотках. Падение напряжения  $\Delta U$ , выраженное в относительных единицах, показывает степень изменения выходного напряжения при полном изменении тока нагрузки от нуля до номинального значения:

$$\Delta U = \frac{P_{об}}{P_{ном}}.$$

Масса и габаритные размеры трансформатора зависят от номинальной мощности, напряжения, КПД и допустимой температуры перегрева трансформатора.

Порядок расчета трансформатора следующий. Определяем номинальную мощность трансформатора

$$P_{ном} = \sum_{i=2}^n P_i,$$

где  $P_i = U_i I_i$ . Вычисляем произведение

$$S_M S_{ок} = \frac{45 P_{ном}}{f B_m j k_{ок} k_M},$$

где  $S_M$  – площадь сечения магнитопровода, см<sup>2</sup>;  $S_{ок}$  – площадь окна магнитопровода, см<sup>2</sup>;  $P_{ном}$  – номинальная мощность, Вт;  $f$  – частота питающей сети, Гц;  $B_m$  – амплитуда магнитной индукции в магнитопроводе, Т;  $j$  – плотность тока в обмотках, А/мм<sup>2</sup>;  $k_{ок}$  – коэффициент заполнения окна магнитопровода;  $k_M$  – коэффициент заполнения сечения магнитопровода. Коэффициент  $B_m$  можно выбрать по графику (рис. 8.12) в зависимости от значения габаритной мощности трансформатора и марки стали. Габаритная мощность определяется как

$$P_g \approx (1,05 - 1,3) P_{ном}.$$

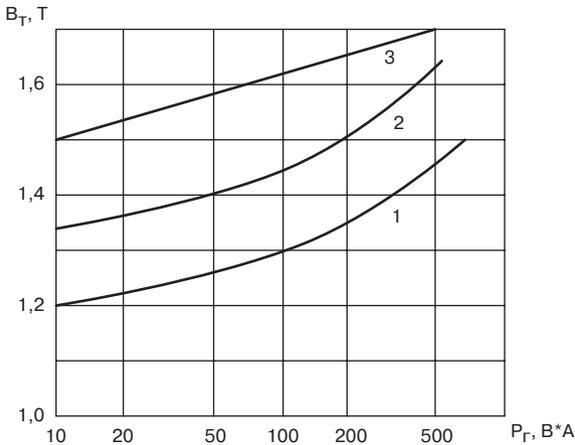


Рис. 8.12. График для выбора индукции в зависимости от габаритной мощности трансформатора при частоте тока 50 Гц для стали: 1 – Э41, Э43; 2, 3 – Э310 (2 – магнитопровод из пластин; 3 – ленточный магнитопровод)

Плотность тока в обмотках выбирается от 2 (при  $P_{\text{ном}} \geq 200 \text{ В}\cdot\text{А}$ ) до 6  $\text{А}/\text{мм}^2$  (при  $P_{\text{ном}} = 10 \text{ В}\cdot\text{А}$  и менее). Коэффициент  $k_{\text{ок}}$  (табл. 8.4) тем меньше, чем тоньше провода обмоток (чем меньше номинальная мощность трансформатора). Коэффициент  $k_{\text{м}}$  зависит от толщины листов и вида их изоляции (табл. 8.5).

Таблица 8.4. Значение коэффициента  $k_{\text{ок}}$ 

$P_{\text{ном}}, \text{В}\cdot\text{А}$	15–50	50–150	>150
$k_{\text{ок}}$	0,22–0,28	0,28–0,34	0,35–0,38

Таблица 8.5. Значение коэффициента  $k_{\text{м}}$  для Ш-образных пластин

Вид изоляции	Толщина пластин	
	0,1	0,2
Лак	0,7	0,85
Фосфатная пленка	0,75	0,89

Выбираем размеры магнитопровода (см. табл. 7.2–7.6). Для мало-мощных трансформаторов рекомендуются броневые магнитопроводы, позволяющие без особых денежных затрат изготовить трансформаторы меньших размеров и массы. Для выбранного магнитопровода должно выполняться условие

$$yy_1bh > S_{\text{м}}S_{\text{ок}}.$$

Отношение  $y_1/y$  не должно превышать 2–2,5. В противном случае следует выбрать пластины большего размера. Для кольцевых магнитопроводов должно выполняться условие

$$(D - d)d^2b > 3S_{\text{м}}S_{\text{ок}}.$$

Определяем число витков обмоток

$$\omega_i = 220U_i/fB_{\text{м}}S_{\text{м}},$$

где  $U_i$  – напряжение на  $i$ -й обмотке, В;  $f$  – частота, Гц;  $B_{\text{м}}$  – амплитуда магнитной индукции, Т;  $S_{\text{м}}$  – площадь,  $\text{см}^2$ . Число витков вторичных обмоток следует увеличить на 2–5%, чтобы учесть внутреннее падение напряжения. Наибольшее значение относится к трансформаторам с номинальной мощностью до 10 В·А, наименьшее – к трансформаторам с номинальной мощностью не менее 200 В·А.

Определяем диаметры проводов обмоток

$$d_i = 1,13\sqrt{I_i/j},$$

где  $I_i$  – ток в  $i$ -й обмотке, А;  $j$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup>. Ток в первичной обмотке приметно равен  $1,1P_{ном}/U_i$ . Из табл. П2.4 выбираем ближайшие большие значения диаметров проводов.

Проверяем размещение обмоток на магнитопроводе. Число витков в слое цилиндрической обмотки

$$\omega_{сл} = [h - 2(\delta_k + 1)] / 1,3\delta_{из},$$

где  $h$  – высота окна, мм;  $\delta_k$  – толщина материала каркаса, мм;  $\delta_{из}$  – диаметр провода с изоляцией, мм. Число слоев обмотки  $N_{сл} = \omega/\omega_{сл}$ , где  $\omega$  – число витков обмотки. Толщина обмотки  $\delta_{об} = N_{сл}(\delta_{из} + \delta_{из})$ , где  $\delta_{из}$  – толщина изоляции между слоями. Должно выполняться следующее условие:

$$b \geq \delta_k + \sum \delta_{об} + \delta_{пр},$$

где  $\sum \delta_{об}$  – суммарная толщина всех обмоток;  $\delta_{пр}$  – суммарная толщина всех прокладок между обмотками;  $b$  – ширина окна. Если это условие не выполняется, следует увеличить размеры магнитопровода и сделать повторный расчет трансформатора.

### 8.3.6. Расчет тороидальных трансформаторов (по таблице)

При изготовлении малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры лучше всего использовать трансформаторы с *тороидальным* магнитопроводом. По сравнению с броневыми сердечниками из Ш-образных пластин они имеют меньший вес и габариты, обладают повышенным КПД, а их обмотка лучше охлаждается. Кроме того, при равномерном распределении обмоток по периметру сердечника практически отсутствует поле рассеяния и в большинстве случаев отпадает необходимость в экранировании трансформаторов.

Полный расчет силовых трансформаторов на тороидальных сердечниках громоздок и сложен, поэтому в книге приводится таблица, с помощью которой легко рассчитать тороидальный трансформатор мощностью до 120 Вт. Точность расчетов достаточна для любительской практики. Расчет параметров тороидального трансформатора, не вошедших в таблицу, аналогичен расчету трансформатора на Ш-образном сердечнике.

Таблицей можно пользоваться при расчете трансформаторов на сердечниках из холоднокатаной стали Э340, Э350, Э360 с толщиной ленты 0,05–0,1 мм при частоте питающей сети 50 Гц. При намотке трансформаторов допустимо применять лишь межобмоточную и наружную изоляции. Хотя межслоевая изоляция и позволяет добиться более ровной укладки провода обмоток, из-за различия наружного и внутреннего диаметров сердечника при ее применении неизбежно увеличивается толщина намотки по внутреннему диаметру.

Для намотки тороидальных трансформаторов необходимо применять обмоточные провода с повышенной механической и электрической прочностью изоляции. При намотке вручную следует пользоваться проводами ПЭЛШО, ПЭШО. В крайнем случае, можно применить провод ПЭВ-2. В качестве межобмоточной и внешней изоляции можно применять фторопластовую пленку ПЭТ толщиной 0,01–0,02 мм, лакоткань ЛШСС толщиной 0,06–0,012 мм или батиловую ленту.

**Пример расчета трансформатора.** Дано напряжение питающей сети  $U_c = 220$  В, выходное напряжение  $U_{\text{вых}} = 12$  В, ток нагрузки  $I_n = 3,6$  А. Сначала определяем мощность вторичной обмотки:

$$P = U_{\text{вых}} \times I_n = 12 \times 3,6 = 43,2 \text{ Вт.}$$

Далее определяем габаритную мощность трансформатора:

$$P_r = \frac{P}{\eta} = \frac{43,2}{0,92} = 48 \text{ Вт.}$$

Величину КПД и другие необходимые для расчета данные выбираем в табл. 8.6 из нужной графы ряда габаритных мощностей. Находим площадь сечения сердечника:

$$S_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{P_r}}{12} = \frac{\sqrt{48}}{12} = 5,8 \text{ см}^2$$

Подбираем размеры сердечника  $D$ ,  $d$  и  $h$ :

$$S = \frac{D-d}{2} h.$$

Ближайший стандартный тип сердечника ОЛ50/80-40, площадь сечения которого равна

$$S = \frac{8-5}{2} 4 = 6 \text{ см}^2 \text{ (не менее расчетной).}$$

Таблица 8.6. Таблица для расчета тороидальных трансформаторов

$P_r$ , Вт	$\omega_1$	$\omega_2$	$S$ , см <sup>2</sup>	$\Delta$ , Ахмм <sup>2</sup>	$\eta$ , %
До 10	$\frac{41}{S}$	$\frac{38}{S}$	$\sqrt{Pr}$	4,5	0,8
20–30	$\frac{36}{S}$	$\frac{32}{S}$	$\frac{\sqrt{Pr}}{1,1}$	4	0,9
30–50	$\frac{33,3}{S}$	$\frac{29}{S}$	$\frac{\sqrt{Pr}}{1,2}$	3,5	0,92
50–120	$\frac{32}{S}$	$\frac{28}{S}$	$\frac{\sqrt{Pr}}{1,25}$	3	0,95

Примечание:  $P_r$  – габаритная мощность трансформатора,  $\omega_1$  – число витков на вольт для стали Э310, Э320, Э330,  $\omega_2$  – число витков на вольт для стали Э340, Э350, Э360,  $S$  – площадь сечения сердечника,  $\Delta$  – допустимая плотность тока в обмотках,  $\eta$  – КПД трансформатора.

При определении внутреннего диаметра сердечника должно быть выполнено условие  $d \geq d^1$

$$d^1 = \sqrt{2,4S} = \sqrt{2,4 \times 6} = 3,8 \text{ см, то есть } 5 > 3,8.$$

Предположим, выбран сердечник стали Э320, тогда число витков на вольт определяют по формуле

$$\omega_1 = \frac{33,3}{S} = \frac{33,3}{6} = 5,55 \text{ витка на вольт.}$$

Находим расчетные числа количества витков первичной и вторичной обмоток:

$$W_{1-1} = \omega_1 \times U_c = 5,55 \times 220 = 1221,$$

$$W_{1-2} = \omega_1 \times U_c = 5,55 \times 12 = 66.$$

Так как в тороидальных трансформаторах поток рассеяния весьма мал, то падение напряжения в обмотках определяется практически лишь активным сопротивлением, вследствие чего относительная величина падения напряжения в обмотках тороидального трансформатора значительно меньше, чем в трансформаторах стержневого и броневые типов. Поэтому для компенсации потерь на сопротивлении вторичной обмотки необходимо увеличить количество ее витков лишь на 3%.

$$W_{1-2} = 66 \times 1,03 = 68,$$

Определяем диаметры проводов обмоток. Диаметр провода первичной обмотки:

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{I_1}{\Delta}},$$

где  $I_1$  – ток первичной обмотки трансформатора, вычисленный по формуле

$$I_1 = 1,1 \frac{P_r}{U_c} = 1,1 \frac{48}{220} = 0,24 \text{ А.}$$

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{0,24}{3,5}} = 0,299 \text{ мм.}$$

Выбираем ближайший диаметр провода в сторону увеличения (0,31 мм). Диаметр провода вторичной обмотки

$$d_2 = 1,13 \sqrt{\frac{I_2}{\Delta}} = 1,13 \sqrt{\frac{3,6}{3,5}} = 1 \text{ мм.}$$

Расчет тороидального трансформатора закончен. Теперь можно приступить к его изготовлению.

<b>1</b>	Рабочее место радиомонтажника	11
<b>2</b>	Гальваническое соединение деталей	43
<b>3</b>	Изготовление печатных плат	63
<b>4</b>	Монтаж печатной платы	109
<b>5</b>	Изготовление корпуса	129
<b>6</b>	Окраска деталей	147
<b>7</b>	Технологические секреты	175
<b>8</b>	Электрические измерения и расчеты	201

## **9** ПРИЛОЖЕНИЯ

<b>Приложение 1. Краткая характеристика некоторых веществ</b>	<b>230</b>
<b>Приложение 2. Провода</b>	<b>236</b>
<b>Приложение 3. Маркировка электрорадиоэлементов</b>	<b>246</b>
<b>Приложение 4. Аэрозоли, применяемые в электронике</b>	<b>268</b>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

Как работникам ремонтных мастерских, так и радиолюбителям часто приходится пользоваться различными химическими веществами. Чтобы применять их по назначению, соблюдая необходимые меры безопасности, полезно знать их свойства и некоторые характеристики.

#### Кислоты

**Азотная кислота** – бесцветная или с желтоватым оттенком жидкость. Обычно выпускается в 49- и 60-процентных растворах.

**Серная кислота** (купоросное масло) – тяжелая едкая жидкость, бесцветная или с желтоватым оттенком. Является одной из самых активных кислот.

**Соляная кислота** – бесцветная или светло-желтая жидкость. Легко смешивается с водой. Относится к активным кислотам, растворяет металлы (железо, цинк, медь и т.д.).

**Уксусная кислота** – бесцветная или желтоватая жидкость. Относится к классу органических кислот. Выпускается в разной концентрации: 80% – уксусная эссенция (ледяная); 30% – техническая эссенция; 8% – уксус.

«**Царская водка**» – представляет смесь кислот в определенной пропорции (например, 100 г азотной кислоты, смешанной со 100 г соляной кислоты). Применяется при травлении меди, латуни, железа, стали, цинка и т.д. Этот раствор действует на металлы почти мгновенно; коррозия и грязь при этом исчезают, и поверхность металла становится блестящей или матовой.

#### Щелочи

**Гидроксид натрия** (едкий натр, каустик, каустическая сода) – сплавленная твердая масса белого или желтого цвета. Является сильной щелочью, легко поглощает влагу из воздуха, поэтому поступает в продажу в герметически закрытых железных сосудах. Хорошо растворяется в воде, при этом выделяя тепло. Сильно раздражает кожу и вызывает ожоги. Работая с этой щелочью, следует соблюдать меры предосторожности – надевать резиновые перчатки и предохранительные очки.

**Гидроксид калия** (едкое кали) – белое кристаллическое вещество. Выпускается в сухом виде или растворе (хранится в железной посуде). Относится к сильным щелочам.

**Нашатырный спирт** (водный аммиак) – раствор аммиака (газа) в воде. Бесцветная жидкость с острым запахом. Концентрация – 10% и 25%. Относится к слабым щелочам.

---

**Внимание!** *При работе с активными кислотами необходимо строго соблюдать правила безопасности. Следует помнить, что, разбавляя кислоту водой, нужно вливать кислоту в воду, а не наоборот, в противном случае происходит разбрызгивание кислоты, что может привести к тяжелым ожогам. При работе с кислотами и щелочами рекомендуется пользоваться защитными очками.*

---

При химических ожогах кожи пораженное место нужно промыть интенсивной струей проточной воды и нейтрализовать действие опасного вещества: кислоту – 3-процентным раствором питьевой соды; щелочь – 1-процентным раствором уксусной кислоты.

## Соли

**Сода кальцинированная** (карбонат натрия безводный, углекислый натрий) – белый безводный порошок, содержащий около 2% примесей, в основном поваренной соли.

**Поташ** (карбонат калия, углекислый калий) – представляет собой белое порошкообразное вещество, легкорастворимое в воде и по свойствам сходное с содой. Во влажном воздухе поташ расплывается, поэтому его хранят в плотно закрытых банках.

**Жидкое стекло** (водный раствор силиката натрия) – тяжелая жидкость серого цвета. Это растворенный в воде твердый силикат натрия, который представляет собой сплав кремнезема (песка) и соды или сульфата натрия (глауберовой соли). Жидкое стекло применяется в быту в виде конторского клея, а также как составная часть различных замазков, красок, порошков и т.д. Выпускается также жидкое калийное стекло (водный раствор силиката калия). Оно используется в качестве клеящего, вяжущего и пропитывающего средства.

**Бура** (тетраборат натрия, тетраборнокислый натрий) – представляет собой порошок или кристаллы белого цвета. Выпускается в двух видах – бура техническая и медицинская. Получается из четырехборной кислоты и соды. Применяется при пайке и сварке металлов, а также в быту и различных промышленных производствах – в стекольной промышленности, в кожевенном производстве и т.д. Бура ядовита.

**Нашатырь** (хлористый аммоний) – кристаллический порошок белого цвета, легкорастворимый в воде. При нагревании не расплавляется, а сразу превращается в газ. Применяется при плавке металлов, при нанесении на металлы различных покрытий – лужении, оцинковке и т.д.

**Купорос медный** (сульфат меди, серноокислая медь) – кристаллы синего цвета. Применяется при изготовлении минеральных красок, в малярных работах, при нанесении медных покрытий на другие металлы и т.д.

## Растворители

**Бензин** – бесцветная прозрачная жидкость, представляет собой продукт переработки нефти. Обладает характерным запахом. Легко воспламеняется; пары бензина взрывоопасны, что следует иметь в виду при хранении. Используется для обезжиривания различных поверхностей и приготовления резинового клея.

**Скипидар** – прозрачная бесцветная горючая жидкость с резким запахом. Добывается из смолы хвойных деревьев. Применяется как растворитель при изготовлении различных лаков, красок, некоторых флюсов.

**Ацетон** – бесцветная легколетучая жидкость с сильным запахом. Хорошо растворяет многие органические вещества – смолы, нитролаки и т.д. Легко воспламеняется.

**Бутилацетат** – бесцветная жидкость с сильным запахом. Подобно ацетону, хорошо растворяет некоторые смолы и нитроклетчатку.

**Этиловый (винный) спирт** – легковоспламеняющаяся бесцветная жидкость. Хорошо растворяет некоторые лаки и смолы. В ремонтной и радиолюбительской практике используется для промывки контактов и удаления остатков флюсов.

**Метиловый (древесный) спирт** (метанол) – светлая жидкость со слабым запахом. Ядовит и огнеопасен. Применяется как растворитель при изготовлении различных красителей, лаков и т.д.

**Растворитель КР-36** – бесцветная или светло-желтая жидкость, представляющая собой смесь различных органических растворителей (ацетона, ксилола, спирта и др.). Применяется для разбавления загустевших лаков и нитроэмалей и смывания старой краски.

**Растворитель № 646** – бесцветная или светло-желтая жидкость. Состоит из смеси различных растворителей – ацетона, ксилола, толуола, бензола и др. Применяется для разбавления загустевших нитролаков и нитроэмалей.

**Разбавитель № 1** – светлая жидкость, представляющая собой очищенный скипидар. Применяется для разбавления различных масляных красок и лаков.

**Лаковые разбавители № 1 и № 2** – жидкости, состоящие из 75% высококачественного бензина и 25% скипидара. Лаковый разбавитель № 1 – светлый, с желтовато-зеленым оттенком, № 2 – желто-коричневого или темно-желтого цвета. Применяются для разбавления масляных лаков и красок.

## Лаки и политуры

**Лак спиртовой шеллачный** – раствор шеллака и канифоли в винном спирте. Высыхает при температуре 18–23 °С через 2 ч. Цвет – от светло-коричневого до светло-бурого. Перед использованием шеллачный лак нужно энергично взбалтывать. Применяется как пропиточный материал при изготовлении спиртовых политур.

**Лак спиртовой мебельный** применяется для покрытий изделий из дерева. Высыхание происходит при 18–20 °С в течение 2–4 ч (первый слой высыхает в течение 15 мин, после чего наносят второй слой). Спиртовой мебельный лак непригоден для лакировки предметов, подвергающихся воздействию влаги.

**Лаки спиртовые цветные для металла.** Применяются для покрытия поверхностей стеклянных и металлических изделий (медных, из белых металлов и др.). Представляют собой подкрашенные анилиновыми красителями растворы искусственных смол в винном спирте. Выпускают лаки следующих цветов: желтый, золотистый, малиновый, фиолетовый, синий, голубой, зеленый. Высыхание происходит в течение двух часов. Пленка указанных лаков не устойчива к воздействию влаги.

**Цапон-лаки** представляют собой растворы нитроцеллюлозы в летучих органических растворителях. В цветные цапон-лаки добавляют органические красители. Применяются для покрытия металлических изделий из черных и цветных металлов, а также стекла, бумаги и т. п. По цвету они могут быть различными: бесцветными, синими, красными, зелеными, фиолетовыми, черными и других цветов.

**Политуры спиртовые** применяются для полировки поверхностей деревянных изделий, для сглаживания лаковой пленки и придания блеска лакированной поверхности. Представляют собой растворы смол в этиловом (винном) спирте с добавлением органических красителей. Выпускается светлая, красная и черная политуры. Политуры на основе шеллака применяют для полировки деревянных изделий,

а также других поверхностей, покрытых лаком. Полирование по дереву называют столярным полированием, в отличие от полирования по лаковому покрытию (полуполировка и располировка).

**Олифы** в зависимости от исходного сырья, используемого для их изготовления, подразделяют на две разновидности: натуральные на основе растительных масел (льняное, подсолнечное, хлопковое, касторовое) и искусственные, производные от органических продуктов (канифоли и растворителей). Олифы применяются для разведения различных густотертых красок, изготовления грунтовок, замазок, шпаклевок и др. В зависимости от состава олифы время высыхания колеблется от 24 до 48 ч.

**Масляный лак** любого цвета можно изготовить, смешивая мелко-тертые художественные масляные краски. В качестве разбавителя используется очищенный светлый масляный лак № 5. Для этого в 1 л лака растворяют 10 г поваренной соли и дают отстояться сутки. Отфильтрованный лак сливают в чистую посуду. Для получения ровного покрытия лак наносят кистью на подогретое до 30–40 °С изделие. Очень хорошее покрытие получается при нанесении лака на подготовленную таким образом поверхность с помощью пульверизатора. Для этого лак предварительно подогревают до 30–40 °С.

## Другие вещества

**Канифоль** – хрупкое стекловидное вещество желтого или светло-желтого цвета. Легко растворяется в спирте, эфире, ацетоне; плохо растворяется в бензине; не растворяется в воде. Применяется в качестве флюса при пайке проводов, для изготовления различных лаков и др.

**Парафин** – твердое прозрачное или молочно-белое воскообразное вещество, представляющее собой смесь твердых углеводов. Добывается из нефти. При нагреве легко плавится. Широко применяется для заливки различных деталей, в том числе катушек и трансформаторов, с целью повышения их влагостойкости. Нужно иметь в виду, что использовать для этой цели можно лишь парафин, в котором отсутствуют примеси кислот (определить примеси можно по покраснению лакмусовой бумажки, опущенной в расплавленный парафин). Можно очистить парафин, прокипятив его в воде. Воду при этом несколько раз меняют. Нерастворимые в воде примеси оседают на дно, а растворившиеся кислоты удаляются вместе с водой.

Пропитку трансформаторов, дросселей и других деталей для защиты от влаги можно производить, опустив деталь в горячий раствор, составленный из 30 частей чистого воска, 15 весовых частей очищенного от кислот парафина и 55 весовых частей зубного порошка. В состав можно добавить также анилиновый краситель любого цвета.

**Шеллак** – воскоподобное вещество, выделяемое тропическими насекомыми. Применяется главным образом для изготовления спиртовых лаков и политуры.

**Желатин** – смесь белковых веществ животного происхождения. В желатине около 15% воды и 1% золы. Желатин имеет желтоватый оттенок. Он набухает в воде и при нагревании растворяется. При охлаждении раствора образуется студень, который при нагревании опять переходит в раствор. Сырьем для производства желатина служат кости, хрящи животных и т.д.

### **Несовместимость химических веществ**

Когда говорят о *несовместимости* химических веществ, имеют в виду ту нежелательную реакцию, которая возникает при случайном смешивании, а иногда и хранении на достаточно близком расстоянии. Если реакция сопровождается выделением большого количества тепла, то может произойти взрыв или самовозгорание. В других случаях взаимодействие веществ приводит к потере их первоначальных свойств, и, как следствие, невозможности использования по назначению. Ниже указаны некоторые несовместимые вещества.

**Азотная кислота** несовместима с глицерином, спиртом, эфирными маслами, смолами, сахаром, фенолом, опилками, ватой.

**Алюминиевые квасцы** несовместимы с едкими щелочами (гидроксид натрия, гидроксид калия, нашатырный спирт), клеем и желатином.

**Аммиак** (нашатырный спирт) и нашатырь несовместимы с формалином (формальдегидом) и йодом.

**Бура** несовместима с кварцами, нашатырем, серной кислотой, соляной кислотой.

**Йод** несовместим с аммиаком (нашатырным спиртом).

**Кислоты** несовместимы с мылом, щелочами, содой, поташом, известью и др.

**Перманганат калия** несовместим с органическими веществами, эфирами, винным спиртом, глицерином, танином, а также с аммиаком, нашатырем, серой, йодом, углем.

**Сер**а несовместима с перманганатом калия, хлорной известью.

**Серная кислота** (купоросное масло) несовместима со скипидаром, спиртом и бензином.

**Спирт** несовместим с хромовой кислотой, перманганатом калия, клеом, желатином, казеином.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2 ПРОВОДА

### Проводники

Основные электрические параметры проводников – удельное электрическое сопротивление и температурный коэффициент сопротивления. *Удельное электрическое сопротивление* – сопротивление провода длиной 1 м с постоянным по длине поперечным сечением 1 мм<sup>2</sup>. *Температурный коэффициент сопротивления* (ТКС) – относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1 °С. ТКС зависит от температуры.

Сопротивление провода определяется по формуле

$$R = \rho l / S \text{ и } R = 1,27 \rho l / d^2,$$

где  $R$  – сопротивление, Ом;  $\rho$  – удельное сопротивление, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $l$  – длина провода, м;  $S$  – поперечное сечение провода, мм<sup>2</sup>;  $d$  – диаметр провода, мм. Сопротивление провода зависит от температуры:

$$R_T = R_{20} [1 + \alpha (T - 20) / 100],$$

где  $R_T$  – сопротивление при заданной температуре;  $R_{20}$  – сопротивление при 20 °С;  $\alpha$  – ТКС, % / °С;  $T$  – заданная температура, °С.

Основные параметры некоторых проводников низкого сопротивления приведены в табл. П2.1, а высокого сопротивления – в табл. П2.2.

Таблица П2.1. Основные параметры проводников низкого сопротивления

Материал	Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·мм <sup>2</sup> / м	ТКС, % / °С	Температура плавления, °С	Плотность, г / см <sup>3</sup>
Алюминий	0,028	0,49	660	2,7
Бронза	0,115	0,4	900	8,8
Золото	0,024	0,37	1060	19,3
Латунь	0,03–0,06	0,2	900	8,5

Таблица П2.1. Основные параметры проводников низкого сопротивления (окончание)

Материал	Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·мм <sup>2</sup> / м	ТКС, % / °С	Температура плавления, °С	Плотность, г / см <sup>3</sup>
Медь	0,0175	0,4	1080	8,9
Никель	0,07	0,6	1450	8,8
Олово	0,115	0,42	230	7,3
Никель	0,07	0,6	1450	8,8
Олово	0,115	0,42	230	7,3
Серебро	0,016	0,38	960	10,5
Сталь	0,098	0,62	1520	7,8
Уголь	0,33–1,85	0,06	–	–
Хром	0,027	–	–	6,6
Цинк	0,059	0,35	420	7,0

Таблица П2.2. Основные параметры проводников высокого сопротивления

Материал	Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·мм <sup>2</sup> / м	ТКС (в интервале 0–100 °С), % / °С	Максимальная рабочая температура, °С	Температура плавления, °С	Плотность, г / см <sup>3</sup>
Константан	0,44–0,52	0,0005	500	1270	8,9
Манганин	0,4–0,5	0,005	100	1200	8,4
Нейзильбер	0,28–0,35	0,03	150	1000	8,4
Никелин	0,39–0,45	0,002	150	–	–
Нихром	1,0–1,1	0,015	900	1400	8,2
Реотан	0,45–0,52	0,04	150	–	–
Фехраль	1,1–1,3	0,01	900	1460	7,2
Хромаль	1,45	0,005	1000	1500	7,1

## Медные обмоточные провода

Для обмоток трансформаторов, дросселей, электромагнитных реле, катушек колебательных контуров применяют *медные обмоточные провода* (табл. П2.3). 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.

Таблица П2.3. Медные обмоточные провода

Марка	Характеристика изоляции	Диаметр медной жилы, мм	Максимальная рабочая температура, °С
ПЭВ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,02–2,44	120
ПЭВ-2	Два слоя высокопрочной эмали	0,06–2,44	120
ПЭВД	Один слой высокопрочной эмали с дополнительным термопластичным покрытием	0,2–0,5	–
ПЭВКЛ	Высокопрочная эмаль с покрытием на основе капроновой смолы	0,1–0,15	105
ПЭВЛО	Высокопрочная эмаль и обмотка из шелка с лавсаном	0,06–1,3	105
ПЭВТЛ-1	Один слой высокопрочной теплостойкой эмали	0,06–1,56	120
ПЭВТЛ-2	Два слоя высокопрочной теплостойкой эмали	0,06–1,56	120
ПЭВШО	Высокопрочная эмаль и обмотка из искусственного шелка	0,07–0,51	105
ПЭЛ	Лакостойкая эмаль	0,03–2,44	105
ПЭЛКО	Лакостойкая эмаль и обмотка из капронового волокна	0,2–2,1	105
ПЭЛО	Лакостойкая эмаль и обмотка из шелка с лавсаном	0,05–2,1	105
ПЭЛР-1	Один слой высокопрочной полиамидной эмали	0,1–2,44	120
ПЭЛР-2	Два слоя высокопрочной полиамидной эмали	0,1–2,44	120
ПЭЛУ	Лакостойкая эмаль (утолщенный слой)	0,05–2,44	105
ПЭЛШКО	Лакостойкая эмаль и обмотка из капронового волокна	0,1–1,56	105
ПЭЛШО	Лакостойкая эмаль и обмотка из натурального шелка	0,05–1,56	105
ПЭМ-1	Один слой высокопрочной эмали «металвин»	0,1–2,44	105
ПЭМ-2	Два слоя высокопрочной эмали «металвин»	0,1–2,44	105
ПЭМ-3	Три слоя высокопрочной эмали «металвин»	0,1–2,44	105
ПЭПЛО	Высокопрочная теплостойкая эмаль и обмотка из шелка с лавсаном	0,06–1,3	120
ПЭТВ	Высокопрочная теплостойкая эмаль	0,06–2,44	130
ПЭТК	Теплостойкая эмаль	0,05–0,51	–
ПЭТЛО	Высокопрочная теплостойкая эмаль и обмотка из шелка с лавсаном	0,06–1,3	130

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 двухслойной 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.

Как видно из табл. П2.3, 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.).

Основные параметры некоторых медных обмоточных проводов, применяемых при изготовлении и ремонте электрорадиотехнических устройств, приведены в табл. П2.4.

Таблица П2.4. Характеристика медных обмоточных проводов

Диаметр медной жилы, мм	Сечение медной жилы, мм <sup>2</sup>	Рабочий ток, А	ПЭЛ, ПЭВ-1, ПЭЛР-1	
			витков на длине 1 см	витков в сечении 1 см <sup>2</sup>
0,05	0,00196	0,0049	128	13200
0,06	0,00283	0,0071	112	10150
0,07	0,00385	0,0096	100	8020
0,08	0,00502	0,0125	90	6500
0,09	0,00636	0,0159	81	5370

Таблица П2.4. Характеристика медных обмоточных проводов (окончание)

Диаметр медной жилы, мм	Сечение медной жилы, мм <sup>2</sup>	Рабочий ток, А	ПЭЛ, ПЭВ-1, ПЭЛР-1	
			витков на длине 1 см	витков в сечении 1 см <sup>2</sup>
0,10	0,00785	0,0196	73	4360
0,12	0,0113	0,0282	63	3220
0,15	0,0176	0,0441	52	2190
0,16	0,0201	0,0502	47	1800
0,17	0,0227	0,0566	45	1620
0,18	0,0254	0,0635	42	1470
0,19	0,0283	0,0708	40	1340
0,20	0,0314	0,0784	39	1220
0,25	0,00491	0,123	31	770
0,31	0,0754	0,188	25	530
0,33	0,0855	0,213	24	474
0,35	0,0962	0,240	23	427
0,38	0,113	0,283	21	368
0,41	0,132	0,329	20	320
0,44	0,152	0,379	18	282
0,47	0,173	0,433	17	249
0,49	0,188	0,471	16	230
0,51	0,204	0,510	16	207
0,53	0,221	0,551	15	193
0,55	0,237	0,593	15	180
0,57	0,255	0,637	14	169
0,59	0,273	0,682	14	158
0,62	0,302	0,753	13	144
0,64	0,322	0,803	13	136
0,67	0,352	0,880	12	125
0,69	0,374	0,933	12	118
0,72	0,407	1,02	11	106
0,74	0,430	1,07	11	101
0,80	0,502	1,25	10	87
0,86	0,581	1,45	9	78
0,90	0,636	1,59	9	70
0,93	0,679	1,69	9	66
0,96	0,723	1,81	8	62
1,00	0,785	1,96	8	55
1,08	0,916	2,29	7	48
1,12	0,985	2,46	7	45
1,20	1,13	2,82	7	39
1,25	1,23	3,06	6	36

Примечание: число витков в сечении 1 см<sup>2</sup> зависит от плотности намотки, числа и толщины межслойных прокладок.

## Высокочастотные обмоточные провода

Высокочастотные обмоточные провода (литцендраты) 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 (табл. П2.5). 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.

Таблица П2.5. Высокочастотные обмоточные провода

Марка	Характеристика изоляции
ЛЭЛ	Без дополнительной изоляции
ЛЭЛД	С обмоткой из шелка с лавсаном в два слоя
ЛЭЛО	С обмоткой из шелка с лавсаном в один слой
ЛЭП	Без дополнительной изоляции
ЛЭПКО	С обмоткой из капронового волокна
ЛЭШД	С обмоткой из натурального шелка в два слоя
ЛЭШО	С обмоткой из натурального шелка в один слой

Провода марок ЛЭП и ЛЭПКО перед лужением не требуют зачистки и применения каких-либо травильных составов. Основные параметры некоторых высокочастотных обмоточных проводов приведены в табл. П2.6.

Таблица П2.6. Основные параметры высокочастотных обмоточных проводов

Диаметр проволоки, мм	Число проволок в пучке	Диаметр провода, мм					Расчетное сечение медной жилы, мм <sup>2</sup>	Сопротивление провода длиной 1 км при 20 °С, Ом, не более
		ЛЭЛ	ЛЭЛО, ЛЭШО	ЛЭЛД, ЛЭШД	ЛЭП	ЛЭПКО		
0,05	10	0,25	0,32	0,38	-	-	0,0196	1012
	16	0,31	0,38	0,44	-	-	0,0314	634
	20	0,34	0,41	0,47	-	-	0,0392	507
0,06	50	-	-	0,71	-	-	0,098	209
	3	-	-	-	0,2	-	0,0085	2300
	5	-	-	-	0,25	-	0,0142	1380

Таблица П2.6. Основные параметры высокочастотных обмоточных проводов (окончание)

Диаметр проволоки, мм	Число проволок в пучке	Диаметр провода, мм					Расчетное сечение медной жилы, мм <sup>2</sup>	Сопротивление провода длиной 1 км при 20 °С, Ом, не более
		лэл	лэЛО, лэШО	лэлД, лэШД	лэлП	лэПКО		
0,07	7	–	0,34	–	–	–	0,0269	760
	8	0,29	0,36	0,42	0,35	0,4	0,0308	624
	10	0,33	0,4	0,46	0,39	0,44	0,0385	499
	12	–	0,42	0,48	0,42	0,47	0,0462	416
	16	–	0,47	0,54	0,47	0,52	0,0616	312
	20	–	0,52	0,59	0,53	0,57	0,077	249
	27	–	0,58	0,65	–	–	0,104	190
	32	–	0,63	0,7	–	–	0,123	161
	50	–	0,82	0,89	–	–	0,193	85,6
0,1	9	0,44	0,51	0,58	0,48	0,53	0,0707	276
	12	0,5	0,57	0,64	0,54	0,59	0,0942	207
	14	0,54	0,61	0,68	0,58	0,63	0,11	177
	16	0,57	0,64	0,71	0,61	0,66	0,126	155
	19	0,6	0,67	0,74	–	–	0,149	131
	21	0,64	0,71	0,78	0,69	0,73	0,165	118
	24	0,68	0,75	0,82	0,74	0,78	0,188	103
	28	0,74	0,81	0,88	0,8	0,84	0,22	91,3

## Обмоточные провода высокого сопротивления

Обмоточные провода высокого сопротивления (табл. П2.7) используются для изготовления проволочных резисторов и шунтов. Последняя буква марки провода обозначает материал: М – мягкий, Т – твердый. Термостойкость этих проводов, так же, как и медных, определяется материалом изоляции. Основные характеристики некоторых обмоточных проводов высокого сопротивления приведены в табл. П2.8.

Таблица П2.7. Обмоточные провода высокого сопротивления

Марка	Характеристика изоляции	Диаметр жилы, мм
<b>Константановые</b>		
<b>ПШДК</b>	Два слоя обмотки из шелка	0,05–1,0
<b>ПЭБОК</b>	Эмаль и один слой обмотки х/б пряжи	0,04–1,0

Таблица П2.7. Обмоточные провода высокого сопротивления (окончание)

Марка	Характеристика изоляции	Диаметр жилы, мм
<b>Константановые</b>		
<b>ПЭВКМ-1</b>	Один слой высокопрочной эмали	0,1–0,8
<b>ПЭВКМ-2</b>	Два слоя высокопрочной эмали	0,1–0,8
<b>ПЭВКТ-1</b>	Один слой высокопрочной эмали	0,03–0,8
<b>ПЭВКТ-2</b>	Два слоя высокопрочной эмали	0,03–0,8
<b>ПЭК</b>	Лакостойкая эмаль	0,03–1,0
<b>ПЭШОК</b>	Эмаль и один слой обмотки из шелка	0,05–1,0
<b>Манганиновые</b>		
<b>ПШДММ</b>	Два слоя обмотки из шелка	0,05–1,0
<b>ПШДМТ</b>	Два слоя обмотки из шелка	0,05–1,0
<b>ПЭВММ-1</b>	Один слой высокопрочной эмали	0,05–0,8
<b>ПЭВММ-2</b>	Два слоя высокопрочной эмали	0,05–0,8
<b>ПЭВМТ-1</b>	Один слой высокопрочной эмали	0,02–0,8
<b>ПЭВМТ-2</b>	Два слоя высокопрочной эмали	0,02–0,8
<b>ПЭММ</b>	Лакостойкая эмаль	0,05–1,0
<b>ПЭМТ</b>	Лакостойкая эмаль	0,03–1,0
<b>ПЭМС</b>	Высокопрочная эмаль	0,05–0,8
<b>ПЭШОММ</b>	Эмаль и один слой обмотки из шелка	0,05–1,0
<b>ПЭШОМТ</b>	Эмаль и один слой обмотки из шелка	0,05–1,0
<b>Нихромовые</b>		
<b>ПЭВНХ-1</b>	Один слой высокопрочной эмали	0,02–0,4
<b>ПЭВНХ-2</b>	Два слоя высокопрочной эмали	0,02–0,4
<b>ПЭНХ</b>	Лакостойкая эмаль	0,03–0,4

Таблица П2.8. Сопротивление провода высокого сопротивления длиной 1 м, Ом

Диаметр, мм	Материал					
	Манганин		Константан		Нихром	
	М	Т	М	Т	Х15Н60	Х20Н80
0,02	–	1370	–	–	–	3374
0,025	–	876	–	–	–	2160
0,03	606	655	655	693	1528	1500
0,04	342	369	369	390	857	844
0,05	220	237	237	250	550	535
0,06	152	164	164	173	386	379
0,07	112	121	121	127	281	278
0,08	85,4	92,5	92,5	97,5	216	213
0,09	37,6	73,1	73,1	77	170	168
0,1	54,8	59,2	59,2	62,4	138	136

Таблица П2.8. Сопротивление провода высокого сопротивления длиной 1 м, Ом (окончание)

Диаметр, мм	Материал					
	Манганин		Константан		Нихром	
	М	Т	М	Т	X15H60	X20H80
0,12	38,1	41,1	41,1	43,6	95,7	94,7
0,15	24,3	26,3	26,3	27,7	61,1	60,5
0,18	16,9	18	18	19	43	42,1
0,2	13,7	14,8	14,8	15,6	35,3	34,1
0,22	11,3	–	12,1	12,9	29,2	28,2
0,25	8,76	9,5	9,5	9,98	22,6	21,8
0,28	–	–	7,55	7,96	18	17,4
0,3	6,06	6,6	6,6	6,93	15,3	15,2
0,32	–	–	–	–	13,8	13,3
0,35	4,47	4,83	4,83	5,09	11,3	11,1
0,38	3,81	–	4,1	4,32	–	–
0,4	3,42	3,7	3,7	3,9	8,59	8,52
0,45	2,71	2,92	2,92	3,09	6,98	6,73
0,5	2,2	2,37	2,37	2,5	5,66	5,45
0,55	1,82	1,96	1,96	2,06	–	–
0,6	1,52	1,65	1,65	1,73	4,07	3,82
0,65	1,36	1,4	1,4	1,49	–	–
0,7	1,12	1,21	1,21	1,27	2,91	2,84
0,75	0,975	–	1,05	1,12	–	–
0,8	0,854	0,925	0,925	0,975	2,23	2,17
0,85	–	–	0,82	0,864	–	–
0,9	0,675	0,731	0,731	0,77	1,76	1,72
1,0	0,548	0,592	0,592	0,624	1,42	1,39

Манганиновые провода выпускаются двух классов. ТКС проводов класса А составляет от  $+3 \cdot 10^{-5}$  до  $-4 \cdot 10^{-5}$ , класса Б – от  $+6 \cdot 10^{-5}$  до  $-6 \cdot 10^{-5}$ . Для малогабаритных высокоомных резисторов высокой стабильности выпускаются провода диаметром 6–10 мкм в сплошной стеклянной оболочке, обладающей хорошими изоляционными свойствами. Эти провода сортируют по их сопротивлению на единицу длины.

### Монтажные провода

Монтажные провода выпускаются в полихлорвиниловой (ПВХ), полиэтиленовой (ПЭ), фторопластовой и волокнистой изоляции. Провода с волокнистой изоляцией применяются в аппаратуре, работающей в нормальных условиях (при невысокой влажности воздуха и температуре), когда исключена возможность конденсации воды в аппаратуре

и отсутствуют резкие климатические изменения. Наиболее термостойки провода с фторопластовой изоляцией (до 250 °С).

По конструкции токопроводящей жилы различают однопроволочные (негибкие) и многопроволочные (гибкие) монтажные провода. У последних токопроводящая жила свита из тонких медных проволок (голых или луженых).

Основные параметры некоторых монтажных проводов приведены в табл. П2.9.

Таблица П2.9. Основные характеристики монтажных проводов

Марка	Конструкция	Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Максимальное рабочее напряжение, В	Интервал рабочих температур, °С
<b>МГВ</b>	Многопроволочный, изолированный ПВХ	0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0	220	-60+70
<b>МГВЭ</b>	МГВ экранированный	0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0	220	-60+70
<b>МГШ</b>	Многопроволочный, изолированный одним слоем оплетки из искусственного шелка	0,05; 0,07; 0,1	24	-60+90
<b>МГШД</b>	Многопроволочный, изолированный двумя слоями оплетки из искусственного шелка	0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5	60	-60+90
<b>МГШДЛ</b>	Многопроволочный, изолированный двумя слоями оплетки из искусственного шелка, лакированный	0,05; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5	250	-60+100
<b>МГШДО</b>	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой и оплеткой из искусственного шелка	0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5	100	-60+90
<b>МПП</b>	Многопроволочный, изолированный ПЭ	0,12; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5	250	-50+100
<b>МШВ</b>	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из шелка	0,07 0,2; 0,5; 0,75; 1,5	380 1000	-50+70
<b>МШП</b>	Однопроволочный, изолированный обмоткой из шелка и ПЭ	0,07 0,2; 0,5; 1,75; 1,0	380 1000	-50+70
<b>ПМВ</b>	Однопроволочный, изолированный ПВХ	0,2; 0,5; 0,75	380	-60+70
<b>ПМВГ</b>	Многопроволочный, изолированный обмоткой из х/б пряжи или стекловолокна и ПВХ	0,2; 0,35; 0,5; 0,75	380	-60+70
<b>ПМОВ</b>	Однопроволочный, изолированный обмоткой из х/б пряжи или стекловолокна и ПВХ	0,2; 0,35; 0,5; 0,75	380	-60+70
<b>ПМП</b>	Однопроволочный, изолированный ПЭ	0,24; 0,5	380	-60+70

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3 МАРКИРОВКА ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ

### Маркировка резисторов и конденсаторов

До 1968 года условное обозначение типов резисторов отечественного производства состояло из букв. Первая буква обозначала вид резистивного элемента:

- У – углеродистый;
- К – композиционный;
- М – металлопленочный;
- Б – бороуглеродистый.

Второй буквой указывался вид защиты резистивного элемента:

- Л – лакированный;
- Г – герметичный;
- Э – эмалированный;
- И – изолированный;
- В – вакуумированный.

Третья буква означала особые свойства резистора:

- Т – теплостойкий;
- П – прецизионный;
- В – высокоомный;
- М – малогабаритный;
- О – объемный;
- Н – низкоомный.

Иногда вид резистивного элемента обозначался двумя буквами (МО – металлоокисный); вторая буква могла указывать и на особые свойства (М – мегаомный, Т – теплостойкий). Тип резистора записывался и без указания вида резистивного элемента: так углеродистые влагостойкие резисторы обозначали как ВС. На первом месте могла стоять буква О – «особой серии» (например, ОМЛТ – металлопленочный лакированный теплостойкий с повышенной механической прочностью). Через дефис указывалась номинальная мощность резистора. В табл. ПЗ.1 приведена маркировка сопротивления резистора. Для обозначения омического сопротивления вместо буквы Е иногда ставилась буква греческого алфавита  $\Omega$  (омега).

Переменное сопротивление обозначалось как СП или СПО, переменное проволочное – ППБ, ППЗ.

Условное обозначение типа конденсатора также было буквенным. На первом месте обычно стояла буква К – конденсатор керамический. Стеклокерамические конденсаторы обозначались буквами СК; стеклоэмалевые – КС; слюдяные – КС, С; металlobумажные – МБ; пленочные и металлопленочные – П; электролитические – КЭ, Э; оксидно-полупроводниковые – КОПП; переменные – КПЕ; переменные и подстроечные – КП. Последующие буквы имеют значения:

- В – с воздушным диэлектриком (КПВ);
- Г – герметизированный (КЛГ, СГМ);
- Д – дисковый (КД);
- К – керамический (КПК);
- Л – литой (КЛС, КЛГ);
- М – монолитный (КМ), малогабаритный (КТПМ, КПВМ, КПКМТ, МБМ, ПМ, СГМ, ЭМ), многослойный (СКМ);
- О – опорный (КО, КДО), опрессованный (КСО);
- П – проходной (КТП);
- С – секционный (КЛС);
- Т – трубчатый (КТ, КПКМТ, ЭТ), термостойкий (СКМ-Т), с твердым диэлектриком (КПТМ);
- У – для УКВ диапазона (КДУ);
- Ц – цилиндрический (ЭГЦ).

Через дефис цифрой мог быть указан порядковый номер разработки (например, КМ-4).

В соответствии с ГОСТ 13453-68 обозначение резисторов состоит из следующих элементов:

- типа резистора (С – постоянного сопротивления, СП – переменного сопротивления);
- цифры, характеризующей конструкцию токопроводящего элемента (1 – углеродистый; 2 – металлопленочный, металлооксидный или металлодиэлектрический; 3 – тонкий пленочный композиционный слой, нанесенный на изоляционное основание; 4 – объемный композиционный токопроводящий элемент; 5 – проволочный);
- порядкового номера разработки резистора.

Номинальная мощность указывалась только на непроволочных резисторах больших габаритов. Для малогабаритных резисторов она определялась по размеру корпуса.

Для переменного резистора отечественного производства условное буквенно-цифровое обозначение типономинала имеет вид:

- СП (сопротивление переменное);
- цифры, характеризующей конструкцию токопроводящего элемента (2 – металлосидный; 3 – тонкий пленочный композиционный слой, нанесенный на изоляционное основание; 4 – объемный композиционный токопроводящий элемент; 5 – проволочный);
- порядкового номера разработки резистора;
- строчной буквы, указывающей на его конструктивный вариант (дополнительная буква М – модернизированная конструкция);
- номинальной мощности рассеяния;
- номинального сопротивления;
- допустимого отклонения от номинала;
- вида функциональной характеристики.

Кроме того, на корпус резистора наносят четырехзначное число, первые две цифры которого указывают месяц, а остальные – год выпуска. Маркировка номинала соответствует маркировке постоянных резисторов. Допустимое отклонение от номинала  $\pm 20\%$  кодируют буквой В,  $\pm 30\%$  – буквой Ф.

Линейная зависимость изменения сопротивления от перемещения движка (для резистора в круглом корпусе – по часовой стрелке, а для резистора с поступательным перемещением движка – слева направо) обозначается буквой А, близкая к обратногологарифмической – буквой Б и близкая к логарифмической – буквой В. Сдвоенный переменный резистор, предназначенный для регулирования стереобаланса, маркируется буквами Е/И (в таком резисторе при перемещении движка сопротивление одной секции увеличивается, а другой – одновременно уменьшается).

СПЗ-26а 0,25 Вт М22ВА 1289 – непроволочный переменный резистор с токопроводящим элементом на тонком композиционном слое, порядковый номер разработки 26, конструктивный вариант «а» (одинарный резистор), номинальная мощность рассеяния 0,25 Вт, номинальное сопротивление 220 кОм, фактическое сопротивление может отличаться от номинального на  $\pm 20\%$ , функциональная характеристика линейная. Изготовлен резистор в декабре 1989 г.

Исключение составляют резисторы старого типа, условное обозначение которых после букв СП содержит римскую цифру, причем I – одинарный резистор без стопора оси; II – то же, но со стопором;

III – двояный, без стопора оси; IV – то же, но со стопором. В этом случае вид функциональной характеристики указывает первая буква после римской цифры. Далее записываются номинальная мощность, номинальное сопротивление, допустимое отклонение от номинала, дата изготовления.

Маркировка конденсаторов по ГОСТ 13453-68 состоит из трех элементов. Первый элемент (одна или две буквы) обозначает группу конденсаторов:

- К – конденсатор постоянной емкости;
- КТ – конденсатор подстроечный;
- КП – конденсатор переменный.

Второй элемент – число, обозначающее разновидность конденсатора:

- 1 – вакуумный;
- 2 – с воздушным диэлектриком;
- 4 – с твердым диэлектриком;
- 10 – керамический на номинальное напряжение до 1600 В;
- 21 – стеклянный;
- 22 – стеклокерамический;
- 31 – слюдяной малой мощности;
- 40 – бумажный на номинальное напряжение до 2 кВ с обкладками из фольги;
- 50 – электролитический фольговый алюминиевый;
- 52 – электролитический объемно-пористый;
- 53 – оксидно-полупроводниковый;
- 71 – полистирольный;
- 72 – фторопластовый;
- 73 – полиэтилентерефталатный;
- 76 – лакопленочный;
- 77 – поликарбонатный.

Третий элемент – порядковый номер разработки конденсатора.

На конденсаторах достаточно большого размера обозначаются тип, номинальная емкость (см. табл. ПЗ.2) и допустимое отклонение емкости от номинальной в процентах (см. табл. ПЗ.4), номинальное напряжение, марка завода-изготовителя, месяц и год выпуска и другие данные. Если конденсатор подобного типа выпускается только одного класса точности, то допуск не маркируют.

## Кодированные обозначения номиналов на резисторах и конденсаторах

Для маркировки номиналов и допускаемых отклонений от них на резисторах и конденсаторах широкого применения используют специальный четырехзначный *буквенно-цифровой код* (ГОСТ 11076-69). Первые три знака (буква и две цифры) обозначают номинал, последний (буква) – допуск.

В номиналах резисторов буквы Е, К и М обозначают соответственно ом, килоом и мегаом. Сопротивление менее 100 Ом указывают в омах, от 1 до 99 кОм и от 1 до 99 МОм – соответственно в килоомах и мегаомах, а от 100 до 999 Ом и от 100 до 999 кОм – соответственно в долях килоома и мегаома, помещая код единицы сопротивления (Е, К или М) на месте нуля и запятой. Аналогично поступают и в том случае, если номинал представляет собой число, состоящее из одной цифры (на месте десятых долей помещают цифру 0). Примеры обозначений номинала резистора приведены в табл. ПЗ.1.

Таблица ПЗ.1. Буквенно-цифровое обозначение номинальных сопротивлений резисторов

Диапазон сопротивлений	Единицы измерения	Примеры
1–9,9 Ом	ом	1 Ом – 1Е0; 4,7 Ом – 4Е7
10–99 Ом	ом	33 Ом – 33Е; 75 Ом – 75Е
100–999 Ом	килоом	100 Ом = 0,1 кОм – К10; 820 Ом = 0,82 кОм – К82
1–9,9 кОм	килоом	2,7 кОм – 2К7; 6,8 кОм – 6К8
10–99 кОм	килоом	10 кОм – 10К, 91 кОм – 91К
100–999 кОм	мегаом	120 кОм = 0,12 МОм – М12; 750 кОм = 0,75 МОм – М75
1–9,9 МОм	мегаом	3 МОм – 3М0, 5,1 МОм – 5М1
10–99 МОм	мегаом	10 МОм – 10М, 47 МОм – 47М

Единицы емкости – пикофарад ( $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$ ), нанофарад ( $1 \text{ нФ} = 1000 \text{ пФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$ ) и микрофарад ( $1 \text{ мкФ} = 1000 \text{ нФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ ) кодируют соответственно буквами П, Н и М. Маркировка конденсаторов производится так же, как и сопротивлений. Примеры обозначений номиналов конденсаторов приведены в табл. ПЗ.2.

Таблица ПЗ.2. Буквенно-цифровое обозначение номинальных емкостей конденсаторов

Диапазон емкостей	Единицы измерения	Примеры
1–9,9 пФ	пикофарад	1 пФ – 1П0; 4,7 пФ – 4П7
10–99 пФ	пикофарад	33 пФ – 33П; 75 пФ – 75П
100–999 пФ	нанофарад	100 пФ = 0,1 нФ – Н10; 820 пФ = 0,82 нФ – Н82
1000–9999 пФ	нанофарад	2700 пФ = 2,7 нФ – 2Н7; 6800 пФ = 6,8 нФ – 6Н8
0,01–0,99 мкФ	нанофарад	0,047 мкФ = 47 нФ – 47Н
0,1–0,99 мкФ	микрофарад	0,1 мкФ = 0,10 мкФ – М10; 0,33 мкФ = – М33
1–9,9 мкФ	микрофарад	1 мкФ – 1М0, 3,3 мкФ – 3М3
10–99 мкФ	микрофарад	10 мкФ – 10М, 47 мкФ – 47М

Фактическое значение сопротивления или емкости каждого радиоэлемента отличается от номинальной, но не более чем на величину допуска. Номинальные значения выбираются из рядов E (табл. ПЗ.3).

Таблица ПЗ.3. Ряды E номинальных сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов

Индекс ряда	Номинальные значения (единицы, десятки, сотни ом, килоом, мегаом, гигаом, пикофарад, нанофарад, микрофарад, фарад)						Допустимые отклонения от номинальных значений, %
	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	
<b>E6</b>	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±20
<b>E12</b>	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±10
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
<b>E24</b>	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±5
	1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5	
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
	1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1	
<b>E48</b>	1,00	1,47	2,18	3,23	4,76	6,70	±2
	1,05	1,55	2,29	3,39	5,00	7,04	
	1,10	1,63	2,41	3,56	5,25	7,39	
	1,16	1,71	2,53	3,73	5,52	7,76	

Таблица ПЗ.3. Ряды E номинальных сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов (окончание)

Индекс ряда	Номинальные значения (единицы, десятки, сотни ом, килоом, мегаом, гигаом, пикофарад, нанофарад, микрофарад, фарад)						Допустимые отклонения от номинальных значений, %
	1,22	1,80	2,65	3,92	5,60	8,15	
	1,28	1,89	2,79	4,12	5,79	8,56	
	1,34	1,98	2,93	4,32	6,08	9,00	
	1,41	2,08	3,07	4,54	6,39	9,43	
<b>E96</b>	см. примечание						±1
<b>E192</b>	см. примечание						±0,5

Примечание: ряды E представляют собой геометрическую прогрессию со знаменателем  $q_n$ , равным:

для ряда E6

$$\text{для ряда E12 } q_{12} = \sqrt[12]{10} = 1,21;$$

$$\text{для ряда E24 } q_{24} = \sqrt[24]{10} = 1,1;$$

$$\text{для ряда E48 } q_{48} = \sqrt[48]{10} = 1,05;$$

$$\text{для ряда E96 } q_{96} = \sqrt[96]{10} = 1,025;$$

$$\text{для ряда E192 } q_{192} = \sqrt[192]{10} = 1,012.$$

Номинальные значения с допустимым отклонением более 20% выбираются из ряда E6.

Допустимое отклонение сопротивления или емкости от номинального значения обозначается буквами (табл. ПЗ.4). С учетом этого надпись К18И расшифровывается как номинальное сопротивление 180 Ом с допуском не более ±5%; Н10С – номинальная емкость 100 пФ ±10%.

Таблица ПЗ.4. Буквенное обозначение допустимого отклонения сопротивления или емкости от номинального значения

Величина отклонения, %	Буквенное обозначение по старому ГОСТу	Международное буквенное обозначение
от +100 до -10	Ю	-
+100	Я	-



Таблица ПЗ.5. Характеристика групп температурной стабильности керамических, стеклянных и стеклокерамических конденсаторов

Код группы ТКЕ	Номинальное значение ТКЕ, %/°С	Цвет покрытия корпуса	Цвет маркировочного знака
<b>П100</b>	+0,01	Синий	–
<b>П60</b>	+0,006	Серый	Красный
<b>П33</b>	+0,0033	Серый	–
<b>МПО</b>	0	Голубой	Черный
<b>М33</b>	–0,0033	Голубой	Коричневый
<b>М47</b>	–0,0047	Голубой	–
<b>М75</b>	–0,0075	Голубой	Красный
<b>М150</b>	–0,015	Красный	Оранжевый
<b>М220</b>	–0,022	Красный	Желтый
<b>М330</b>	–0,033	Красный	Зеленый
<b>М470</b>	–0,047	Красный	Синий
<b>М750</b>	–0,075	Красный	–
<b>М1500</b>	–0,15	Зеленый	–
<b>М2200</b>	–0,22	Зеленый	Желтый
<b>М3300</b>	–0,33	–	–

Примечание: конденсаторы могут быть покрыты эмалью любого цвета (не только той, что указана в таблице), с буквенно-цифровой маркировкой или обозначением в виде двух рядом расположенных цветных знаков (точек или полос). При этом конденсаторы групп П100, П33, М47, М750, М1500 должны иметь один цветной знак, соответствующий цвету покрытия корпуса конденсатора. Для других групп цвет первого знака должен соответствовать цвету покрытия, а второго – цвету маркировочного знака. В последнем случае первый знак должен быть приблизительно в два раза больше второго. Кроме того, маркировочный знак на трубчатых конденсаторах помещается со стороны вывода внешнего электрода.

На керамических конденсаторах КМ перед кодом группы ТКЕ может стоять еще одна цифра, которая обозначает разновидность конденсатора. Так, маркировка 5П33 указывает, что перед вами конденсатор КМ-5 с группой ТКЕ П33, 4М750 – конденсатор КМ-4 с группой ТКЕ М750 и т.д.

Иначе кодируют ТКЕ на слюдяных конденсаторах. Здесь условное обозначение группы ТКЕ состоит из одной буквы, причем буква А представляет собой ненормируемый ТКЕ, Б – ТКЕ, равный  $\pm 200 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , В –  $\pm 100 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , Г –  $\pm 50 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Допустимое изменение емкости конденсатора с диэлектриком из низкочастотной керамики (корпус оранжевого цвета) относительно емкости при 20 °С в интервале температур от –60 °С до +85 °С маркируется цветной точкой (табл. ПЗ.6).

Таблица ПЗ.6. Допустимые изменения емкости конденсаторов с оранжевым корпусом

Код группы ТКЕ	Допустимое изменение емкости, %	Цвет маркировочной точки на корпусе оранжевого цвета
Н10	±10	Черный
Н20	±20	Красный
Н30	±30	Зеленый
Н50	±50	Синий
Н70	±70	Фиолетовый (или отсутствует)
Н90	±90	Белый

Не так давно на российском рынке появились керамические конденсаторы азиатского производства емкостью от 1 пФ до 40000 пФ с отрицательным ТКЕ. Расшифровка их маркировки представляет определенную трудность. Так, на конденсаторах емкостью до 99 пФ указывается число пикофард. Обозначение емкости более 100 пФ состоит из трех цифр: первые две указывают значение первого сомножителя, а третья – степень числа 10 (второго сомножителя). Например, маркировка 201 расшифровывается как  $20 \cdot 10^1 = 200$  пФ. Емкость конденсаторов более 2000 пФ иногда указывается и в микрофарадах. Например, конденсатор емкостью 3300 пФ может иметь маркировку 332 или 0,0033.

### Цветовая маркировка радиоэлементов

В последнее время маркировку номиналов малогабаритных резисторов и конденсаторов все чаще указывают не буквенно-цифровым обозначением, а *цветовым кодом*. На корпус детали наносят цветные кольцевые или точечные метки (рис. ПЗ.1), которые указывают на сопротивление, допуск и ТКС резистора или емкость, допуск и ТКЕ конденсатора (см. табл. ПЗ.7).

Такой способ маркировки часто удобнее. Во-первых, разглядеть мелкие цифры на корпусе резистора мощностью менее 0,5 Вт нелегко; особенно трудно прочесть надпись черного цвета на резисторах МЛТ-0,125, окрашенных в темно-зеленый цвет. Цветные же полосы

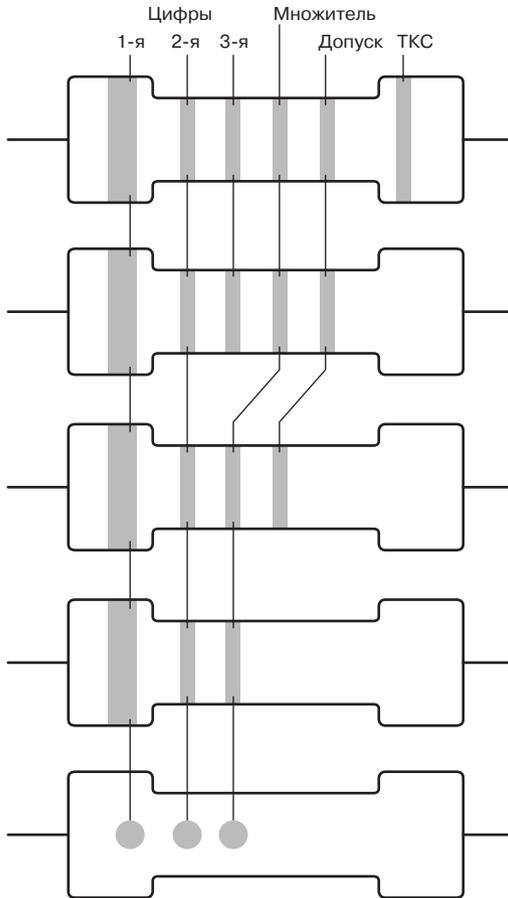


Рис. ПЗ.1. Цветовая маркировка резисторов

хорошо различимы. Во-вторых, надпись может стереться, а полосы, нанесенные вокруг всего корпуса резистора, полностью не исчезнут – какая-то их часть все равно сохранится. И наконец, «полосатая» маркировка установленного на плату резистора всегда хорошо видна. А резисторы с буквенно-цифровым обозначением зачастую устанавливают так, что надпись оказывается снизу и прочесть ее не удастся.

Параметры резистора указывают тремя, четырьмя, пятью и даже шестью полосами, причем первая полоса обычно расположена ближе

к одному из выводов компонента, иногда она шире остальных. Если на корпус резистора нанесены четыре полосы, то цвет первых двух соответствует первым цифрам сопротивления. Третья полоса обозначает множитель, на который надо умножить число, указываемое первыми двумя полосами, чтобы определить сопротивление резистора в омах. Если же на резистор нанесены пять или шесть полос, то три первых обозначают три цифры, четвертая – множитель, а пятая – допуск. Шестая полоса означает ТКС резистора. Если на резисторе только три полосы, его допуск – 20 % и все полосы означают сопротивление (табл. ПЗ.7).

Обычно в справочниках приводятся объемные таблицы, в которых указано, что обозначает тот или иной цвет в зависимости от того, какая полоса им окрашена. На самом деле все намного проще. Цифра, закодированная цветной полосой, не зависит от порядкового номера этой полосы (за исключением полосы, указывающей допуск). Достаточно знать (запомнить или держать под рукой таблицу) лишь соответствие цвета цифре, как показано в табл. ПЗ.7.

Таблица ПЗ.7. Соответствие цветов в маркировке резисторов и конденсаторов к рис. ПЗ.1, ПЗ.2, ПЗ.3

Цвет кольца (точки)	1-я, 2-я и 3-я цифры	Множитель	Допуск, %	ТКС, %/°С	Код ТКЕ
Золотистый	–	$10^{-1}$	±5	–	–
Серебристый	–	$10^{-2}$	±10	–	–
Черный	0	1	±20	–	МР0
Коричневый	1	10	±1	0,1	МЗЗ
Красный	2	$10^2$	±2	0,05	М75
Оранжевый	3	$10^3$	–	0,015	М150
Желтый	4	$10^4$	–	0,025	М220
Зеленый	5	$10^5$	±0,5	–	МЗЗ0
Голубой	6	$10^6$	±0,25	0,01	М470
Фиолетовый	7	$10^7$	±0,1	0,005	М750
Серый	8	$10^8$	±0,05	–	ПЗЗ
Белый	9	$10^9$	–	–	–

Примечание: на конденсаторах с оранжевым корпусом цвет полосы, обозначающей код ТКЕ, соответствует табл. ПЗ.6.

Параметры *цилиндрического конденсатора* указываются тремя, пятью или шестью цветными полосами (рис. ПЗ.2). Их значения идентичны маркировке резистора. Первые две (три) цифры определяют емкость конденсатора в пикофарадах, следующая цифра – множитель,

далее – допуск и код ТКЕ. Обратите внимание, что полоса маркировки кода ТКЕ шире остальных. Если на конденсаторе только три полосы, его допуск – 20 % и все полосы означают только емкость (табл. П3.7).

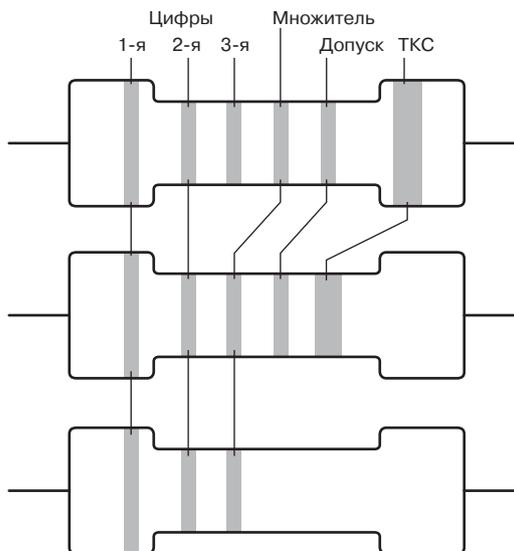


Рис. П3.2. Цветовая маркировка конденсаторов

Зная эти соответствия, легко определить параметры радиоэлемента. Например, на резистор нанесены четыре полосы в следующем порядке: желтая, фиолетовая, красная, серебристая. Из таблицы видим, что первые две полосы обозначают цифры 4 и 7. К ним нужно приписать два нуля, о чем говорит цвет третьей полосы (множитель  $10^2$ ). Итак, получается, что сопротивление резистора – 4700 Ом, то есть 4,7 кОм. Величину допуска (четвертая полоса) также определяем по таблице – она равна  $\pm 10\%$ .

Рассмотрим другой пример. На резистор нанесены оранжевая, голубая, черная и золотистая полосы. Первые две полосы соответствуют цифрам 3 и 6, а третья обозначает множитель 1. Поэтому не нужно дописывать ни одного нуля. Следовательно, полное сопротивление резистора – 36 Ом, допуск –  $\pm 5\%$ .

В том случае, если третья полоса (или четвертая, если на резисторе их пять или шесть) золотистая или серебристая, необходимо «передвинуть» десятичную запятую соответственно на одну или две позиции влево. Например, следующие по порядку серая, красная и золотистая полосы обозначают сопротивление 8,2 Ом.

Сопротивление резистора можно приблизительно определить и по одной предпоследней цифре. Рассмотрим это на примере резисторов с четырьмя полосами. Черная третья полоса говорит о том, что резистор имеет сопротивление десятки ом, коричневая – сотни ом, красная – единицы кОм, оранжевая – десятки кОм, желтая – сотни кОм, зеленая – единицы МОм и т. д. Если на маркировке резистора первые три полосы красные, можно по третьей цифре сразу определить, что он имеет сопротивление от 1 до 10 кОм, а поскольку первые две полосы тоже соответствуют цифре 2, делаем вывод, что сопротивление резистора – 2,2 кОм.

Параметры конденсатора определяются аналогичным образом. Например, чередование колец на конденсаторе – оранжевое, белое, коричневое, золотистое, желтое. По таблице находим первые две цифры 3 и 9, множитель – 10. Следовательно, емкость конденсатора составляет 390 пФ. Допуск (четвертая цифра) –  $\pm 5\%$ , код ТКЕ – М220.

Перейдем к следующему примеру. Чередование цветов колец на конденсаторе – желтый, фиолетовый, красный. Получаем 4700 пФ, допуск –  $\pm 20\%$ . Самостоятельно проверьте это по таблице.

Маркировка *проволочных резисторов* (рис. ПЗ.3) имеет следующие особенности: сначала расположены одна или две серебристые (белые) полосы, затем две полосы, обозначающие сопротивление в омах, далее множитель и допуск (табл. ПЗ.7). Учтите, что полоса множителя может быть окрашена только в золотистый, черный, коричневый, красный, оранжевый и желтый цвета. Серая полоса допуска означает  $\pm 0,01\%$ . Голубая полоса, идущая последней, указывает на термоустойчивость проволочного резистора.

Маркировка *керамических дисковых конденсаторов* имеет некоторые особенности (рис. ПЗ.4). Цвет первой полосы (точки) определяет первые две цифры емкости. Вторая и третья полосы указывают на значение множителя и допуска соответственно, а четвертая – на рабочее напряжение (табл. ПЗ.8).

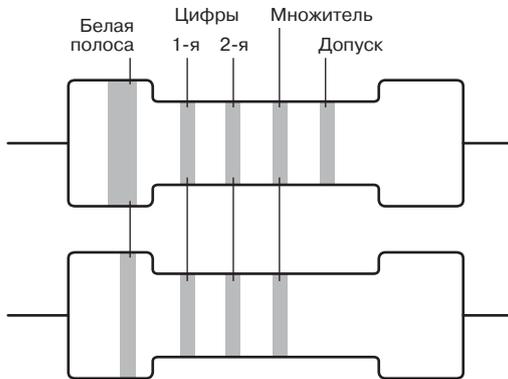


Рис. ПЗ.3. Цветовая маркировка проволочных резисторов

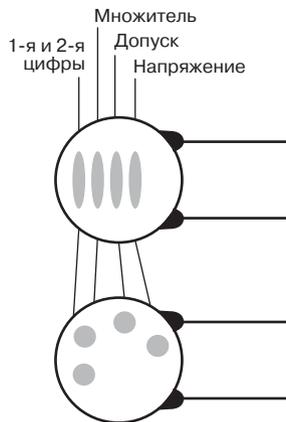


Рис. ПЗ.4. Цветовая маркировка керамических дисковых конденсаторов

Таблица ПЗ.8. Соответствие цветов в маркировке керамических дисковых конденсаторов к рис. ПЗ.4

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Допуск, %	Рабочее напряжение конденсатора, В
Золотистый	82	$10^{-1}$		1,6
Серебристый	68	$10^{-2}$		2,5

Таблица ПЗ.8. Соответствие цветов в маркировке керамических дисковых конденсаторов к рис. ПЗ.4 (окончание)

Расшифровка маркировки *высоковольтных конденсаторов* (рис. ПЗ.5) особой сложности также не вызывает. Первые две полосы означают

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Допуск, %	Рабочее напряжение конденсатора, В
Черный	10	1	±20	4
Коричневый	12	10	±1	6,3
Красный	15	10 <sup>2</sup>	±1	10
Оранжевый	18	10 <sup>3</sup>	±0,25	16
Желтый	22	10 <sup>4</sup>	±0,5	40
Зеленый	27	10 <sup>5</sup>	±5	20 или 25
Голубой	33	10 <sup>6</sup>	±0,1	30 или 32
Фиолетовый	39	10 <sup>7</sup>	-20/+50	50
Серый	47	10 <sup>8</sup>	-20/+80	3,2
Белый	56	10 <sup>9</sup>	±10	63

а пятая –

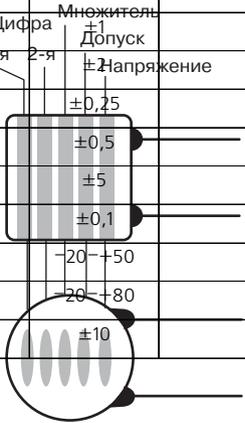


Рис. ПЗ.5. Цветовая маркировка высоковольтных конденсаторов

Таблица ПЗ.9. Соответствие цветов в маркировке высоковольтных конденсаторов к рис. ПЗ.5

Цвет кольца (точки)	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Допуск, %	Номинальное напряжение конденсатора, В
Серебристый	–	–	±10	–
Черный	0	–	±20	–
Коричневый	1	10	–	–
Красный	2	10 <sup>2</sup>	–	250
Оранжевый	3	10 <sup>3</sup>	–	–
Желтый	4	10 <sup>4</sup>	–	400
Зеленый	5	10 <sup>5</sup>	–	–
Голубой	6	–	–	–
Фиолетовый	7	–	–	–
Серый	8	–	–	–
Белый	9	–	–	–

Маркировка *танталовых конденсаторов* представлена на рис. ПЗ.6 и в табл. ПЗ.10.

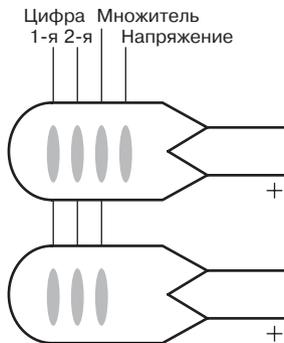


Рис. ПЗ.6. Цветовая маркировка танталовых конденсаторов

Таблица ПЗ.10. Соответствие цветов в маркировке танталовых конденсаторов к рис. ПЗ.6

Цвет полосы	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Рабочее напряжение конденсатора, В
Золотистый	–	10 <sup>-1</sup>	1,6
Серебристый	–	10 <sup>-2</sup>	2,5

Таблица ПЗ.10. Соответствие цветов в маркировке танталовых конденсаторов к рис. ПЗ.6 (окончание)

Маркировка электролитических конденсаторов указана на рис. ПЗ.7 и в табл. ПЗ.11.

Цвет полосы	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Рабочее напряжение конденсатора, В
Черный	0	$10^0$	4
Коричневый	1	$10^1$	6,3
Красный	2	$10^2$	10
Оранжевый	3	$10^3$	16
Желтый	4	$10^4$	40
Зеленый	5	$10^5$	20 или 25
Голубой	6	$10^6$	30 или 32
Фиолетовый	7	$10^7$	50
Серый	8	$10^8$	3,2
Белый	Рис. ПЗ.7? Цветовая маркировка электролитических конденсаторов		

Таблица ПЗ.11. Соответствие цветов в маркировке электролитических конденсаторов к рис. ПЗ.7

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Рабочее напряжение конденсатора, В
Черный	0	$10^6$	10
Коричневый	1	$10^7$	—

Таблица ПЗ.11. Соответствие цветов в маркировке электролитических конденсаторов к рис. ПЗ.7 (окончание)

В последнее время *малогабаритные* катушки индуктивности маркируются цветными кольцами или точками (рис. ПЗ.8, табл. ПЗ.12).

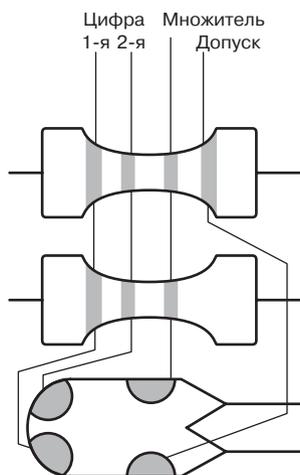


Рис. ПЗ.8. Цветовая маркировка катушек индуктивности

Таблица ПЗ.12. Соответствие цветов в маркировке катушек индуктивности к рис. ПЗ.8

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, мкГн	Множитель	Допуск, %
Золотистый	–	$10^{-1}$	$\pm 5$
Серебристый	–	$10^{-2}$	$\pm 10$

Таблица ПЗ.12. Соответствие цветов в маркировке катушек индуктивности к рис. ПЗ.8 (окончание)

В цветной маркировке *стабилитронов* закодировано рабочее напряжение стабилизации (рис. ПЗ.9, табл. ПЗ.13). Двойной второй элемент указывает на запятую между цифрами.

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, мкГн	Цифра		Допуск, %
		1-я	2-я	
Черный	0	1		±20
Коричневый	1	10		-
Красный	2	10 <sup>0</sup>		-
Оранжевый	3	10 <sup>1</sup>		-
Желтый	4			-
Зеленый	5			-
Голубой	6			-
Фиолетовый	7			-
Серый	8			-
Белый	9			-

Рис. ПЗ.9. Цветовая маркировка стабилитронов

Таблица ПЗ.13. Соответствие цветов в маркировке стабилитронов к рис. ПЗ.9

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры
Черный	0
Коричневый	1
Красный	2
Оранжевый	3
Желтый	4
Зеленый	5
Голубой	6

Таблица ПЗ.13. Соответствие цветов в маркировке стабилитронов к рис. ПЗ.9 (окончание)

Из-за многообразия радиокомпонентов и их малых размеров сложно определить по корпусу даже тип *транзистора*. В одинаковых корпусах выпускают самые разные транзисторы, отличить их друг от друга помогает цветовая маркировка. Так, например, лет 10–15 назад одни транзисторы отечественного производства цилиндрического типа с отсеченным сегментом маркировали двумя точками (рис. ПЗ.10, табл. ПЗ.14), а другие – четырьмя (рис. ПЗ.11, табл. ПЗ.15).

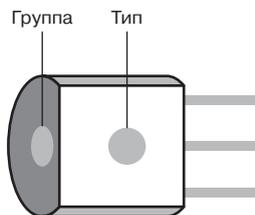


Рис. ПЗ.10. Маркировка транзисторов двумя цветными точками

Таблица ПЗ.14. Соответствие цветов в маркировке транзисторов к рис. ПЗ.10

Цвет точки	Тип	Группа
Бордовый	КТ203	А
Желтый	КТ502	Б
Темно-зеленый	КТ3102	В
Голубой	КТ339	Г
Синий	КТ342	Д
Белый	КТ503	Е
Коричневый	КТ326	Ж
Серебристый	КТ632	И
Оранжевый	КТ313, КТ368	К
Табачный	КП364	Л
Серый	КТ309	М

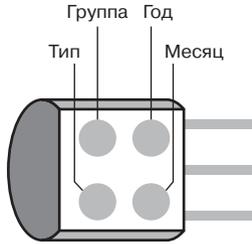


Рис. ПЗ.11. Маркировка транзисторов четырьмя цветными точками

Таблица ПЗ.15. Соответствие цветов в маркировке транзисторов к рис. ПЗ.11

Цвет точки	Тип	Группа	Год выпуска	Месяц выпуска
Бежевый	КТ345	Г	1977	январь
Синий	КТ349	В	–	февраль
Зеленый	КТ352	И	1985	март
Красный	КТ337	К	1983	апрель
Салатовый	–	Ж	1978	май
Серый	КТ350	Л	–	июнь
Коричневый	КТ326	–	1984	июль
Оранжевый	–	Д	1979	август
Электрик	–	Е	1980	сентябрь
Белый	КТ645	–	1982	октябрь
Желтый	КТ354	Б	–	ноябрь
Голубой	КТ3107	–	1986	декабрь
Розовый	КТ363	А	–	–
Бирюзовый	–	–	1981	–

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 4 АЭРОЗОЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРОНИКЕ**

### **Препараты для обработки контактов**

Эти составы позволяют решить одну из наиболее актуальных проблем при создании электронных устройств – защитить от коррозии и загрязнения контакты переключателей, разъемы, панели микросхем, держатели предохранителей и т. д. Высокое качество очистки контактов обеспечивается при последовательном применении трех препаратов – КОНТАКТ 60, КОНТАКТ WL, КОНТАКТ 61. Первый из них растворяет и разлагает оксиды на поверхности контакта, второй вымывает остатки оксидов и грязи, а третий формирует на очищенной поверхности защитную пленку, которая предохраняет ее от коррозии и обеспечивает исправную работу контакта в течение длительного периода.

Контакты с покрытием из золота, серебра, олова, родия и палладия полезно обрабатывать препаратом КОНТАКТ GOLD 2000, который создает защитную пленку и заметно уменьшает их износ.

Все перечисленные препараты не проводят электрический ток и химически нейтральны к большинству диэлектриков, используемых в электронных устройствах.

### **Чистящие препараты**

КОНТАКТ IPA – универсальное чистящее средство, применяемое для чистки магнитных головок, резиновых роликов, оптики и зеркал. Оно удаляет из точных механизмов смазку, содержащую смолы, и пастообразную грязь. А для чистки сильно загрязненных устройств, эксплуатирующихся в тяжелых условиях (высоковольтные выключатели, изоляторы антенн, электродвигатели и т. п.), лучше использовать специальное обезжиривающее средство DEGREASER 65.

Привести в порядок поверхность экранов дисплеев и телевизоров, а также различной оптической аппаратуры (например, ксероксов) можно с помощью препарата SCREEN 99. Он пригоден и для чистки металлических, керамических и пластмассовых поверхностей, но для этого (в частности, для очистки пористых поверхностей в компьютерном и копировальном оборудовании) выпускают специальный препарат – SURFACE 95. Он поможет там, где не справляются другие чистящие средства.

Хорошо известно, что обычными средствами очень трудно удалить следы клея на поверхности изделия после снятия наклейки. А препарат LABEL OFF 50 без труда справляется с этой задачей, поскольку растворяет большинство клеев, в том числе и те, которые применяются на самоклеющихся этикетках. Он весьма эффективно удаляет и пятна красок, смол и клеев (в том числе и с рук).

### **Смазывающие препараты**

Здесь следует особо выделить препарат LUB OIL 88, который не содержит силиконов и не образует смол. Эта бескислотная композиция особенно подходит для смазки приводов аудио- и видеомagneтофонов и точных механизмов оргтехники.

Для сухой смазки движущихся поступательно и вращающихся поверхностей выпускают препараты KONTAFILON 85 и VASELIN 701. Первый из них представляет собой аэрозольную суспензию на основе мелкозернистого фторопластового порошка и пригоден для электронной и телекоммуникационной аппаратуры, работающей в широких температурных пределах (от  $-50$  до  $+260$  °С). VASELIN 701 изготовлен на основе белого бескислотного вазелина и хорошо зарекомендовал себя в обслуживании телекоммуникационной техники и антенного хозяйства.

### **Средства для создания токопроводящих и защитных покрытий**

Современную аппаратуру, как правило, изготавливают в пластмассовых корпусах. При всех достоинствах они не имеют экранирующих свойств и способны накапливать на поверхностях заряды статического электричества. Устранить эти недостатки можно с помощью препарата ЕМІ 35, который содержит медный порошок. Препарат наносят на внутренние поверхности корпуса, и через 30 мин покрытие превращается в тонкий проводящий слой со стабильными характеристиками.

Сухое электропроводящее покрытие для снятия статического электричества обеспечивает и препарат GRAPHIT 33, изготавливаемый на основе коллоидного графита и обладающий высокими адгезивными свойствами к любым конструкционным материалам.

А вот препарат ZINK 62, состоящий на 95% из чистого цинка и тоже создающий электропроводящий слой, позволяет решить иную задачу – обеспечить антикоррозионное гальваническое покрытие любых металлов. Его применяют для защиты самого разнообразного оборудования, в частности и устройств автомобилей.

Для снятия статического напряжения предназначен препарат ANTISTATIK 100, пригодный, кстати, для обработки тканей. А любителям послушать грампластинки он просто необходим, поскольку в значительной степени устраняет шелчки, возникающие из-за статического электричества.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение остается напомнить, что в журналах «Радио», 1996 г., № 4 (с. 59–60), № 5 (с. 59–60), № 6 (с. 58) приведены указатели статей, опубликованных в рубрике «Радиолюбительская технология», которые посвящены разработке и изготовлению печатных плат, различных приспособлений для монтажа, облегчающих труд радиолюбителя, усовершенствованию паяльников, приемам лужения и пайки.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Бастанов В. Г. 300 практических советов. – М.: Московский рабочий, 1993.
2. Бессонов В. В. Электроника для начинающих и не только. – М.: Солон-Р, 2001.
3. Борисов В. Г. Энциклопедия юного радиолюбителя-конструктора. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Солон-Р, 2001.
4. Верхало Ю. Окраска органического стекла. – М.: ДОСААФ, 1985. – (В помощь радиолюбителю; вып. 88).
5. Колобов Б. Некоторые рекомендации. – М.: ДОСААФ, 1990. – (В помощь радиолюбителю; вып. 108).
6. Мацкевич В. В. Занимательная радиоэлектроника. – М.: ДОСААФ, 1986.
7. Пестриков В. М. Энциклопедия радиолюбителя. – СПб.: Наука и техника, 2000.
8. Справочник по печатным схемам/Под ред. Б. Н. Файзулаева и В. Н. Квасницкого – М.: Советское радио, 1972.
9. Сычев В. Анодирование алюминиевых деталей. – М.: ДОСААФ, 1990. – (В помощь радиолюбителю; вып. 108).
10. Терещук Р. М., Терещук К. М., Седов С. А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. 2-е изд. – Киев, 1982.

# ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

## А

- Алюминий  
  лужение 58  
  омеднение 59  
  пайка 58  
Анодирование 150  
  электролит 150–152  
Ацетон 232
- Бензин 232  
Браслет  
  антистатический 32, 113  
Бумага  
  восковая 83  
  мелованная 83  
Бура 231  
Бутилацетат 232
- Ванна лудильная 54, 110  
Ванночка 187  
Вошение 154  
Высечка 78
- Гайка «барашек» 185  
Гидроксид  
  калия 230  
  натрия 230  
Грунтовка 153
- Декапирование 111, 166  
Демонтаж 125, 126  
Диод 205
- Жало стальное 180  
Жидкое стекло 231
- Заземление 14  
Замыкание проводников 122
- Инструмент  
  радиомонтажника 17  
  слесарный 20  
  чертежный 36
- Канифоль 234  
Каркас 195  
  пластина 195  
  щечка 195  
Катушка индуктивности  
  пересчет 220  
  проверка 203  
  расчет 218  
Кембрик 199  
Кислота  
  азотная 230  
  серная 230

- соляная 230
- уксусная 230
- Клей 139
  - токопроводящий 60
- Конденсатор
  - проверка 202
- Контакт
  - очистка 115
  - штыревой 72
- Корпус
  - деревянный 145
  - заливной 144
  - изготовление 132
- КПД 222
- Краситель 155
  - анилиновый 157
  - водорастворимый 156
  - неорганический 158
- Краска
  - несовместимость 164
  - светящаяся 172
- Кронштейн 134
- Купорос медный 232
  
- Лак
  - для металла 233
  - масляный 153, 234
  - мебельный 233
  - покрытие 153
  - спиртовой 153
  - флюсующий 97
  - фоторезист 85
  - шеллачный 233
- Латунь
  - пассирование 160
  - химическое окрашивание 161
- Литцендрат 241
- Литье
  - смола 142
  - форма 143
- Лужение 110
  - алюминия 58
  - вывода 50
  - провода 55
  
- Магнитопровод
  - броневой 188
  - стержневой 188
- Маркировка 117
  - буквенная 246, 247
  - буквенно-цифровая 250
  - цветовая 255
- Матирование 159
- Матрица 139
- Место рабочее 12
- Микроклимат 14
- Микропаяльник 30
- Микросхема
  - пайка 119
  - установка 66
- Монтаж поверхностный 120
- Мощность номинальная 222
  
- Надежность 113
- Намотка
  - виток к витку 197
  - внавал 197
- Наполнитель 145
- Напряжение питания 14
- Нашатырь 232
- Неисправность тепловая 128

- Несовместимость 235  
Нитролак 153
- Обезжиривание 148  
раствор 148  
фреон 148
- Обмотка  
галетная 198  
отвод 199  
понижающая 200  
сетевая 200  
цилиндрическая 197
- Окраска  
лаком 153  
светящимися красками 172  
эмалью 163
- Оксидирование 158
- Олифа 234
- Определение  
внутреннего  
сопротивления 212  
полярности 210  
цоколевки 209
- Оргстекло  
окраска 169–171  
очистка 168
- Освещение 14
- Отвердитель 142
- Пайка 44  
алюминия 58  
деталей 51  
микросхем 119  
«холодная» 54
- Панель  
металлическая 130  
сгибание 131
- Пара витая 120
- Парафин 234
- Паяльник  
жало 50, 176  
подставка 27  
электрический 50
- Перемычка 125
- Пленка  
защитная 115, 116  
фторопластовая 83
- Плата  
двусторонняя 112  
изготовление 64  
лужение 110  
макетная 104  
отверстия 74  
печатная 64  
проводник 69  
резиновая 107  
рисунок 65, 75  
сборка 116  
сетка 66  
соединительная линия 68  
сторона деталей 67  
сторона проводников 67  
шаблон 68
- Площадка контактная 72
- Покрытие серебряное 114
- Полировка 149
- Политура 233
- Полоса изоляционная 197
- Помехозащищенность 120
- Поташ 231
- Приборы электрические 17
- Припой 44
- Проверка  
диод 205  
катушка индуктивности 203  
конденсатор 202  
резистор 202  
тиристор 207  
транзистор 206

- транзистор полевой 208  
трансформатор 204  
элемент питания 208
- Провод 186  
высокого сопротивления 242  
высокочастотный 241  
диаметр 214  
длина 213  
лужение 55  
монтажный 244  
обмоточный 237  
сварка 55  
сопротивление 213
- Проводник  
обрыв 125  
разводка 72
- Прокладка слюдяная 188
- Пуансон 139
- Разбавитель 233
- Разводка проводников 72
- Разъем 182
- Ракель 111
- Расплав 110
- Раствор  
активизация 93  
восстановление 92  
дубящий 89  
кислотный 94  
регенерация 92  
хлорида железа 90  
щелочной 95
- Растворитель 110, 115, 232
- Регенерация 92  
электролитическая 93
- Резак 136
- Резистор  
переменный 184  
проверка 202  
установка 67
- Рисунок  
иглой 76  
лентой ПВХ 78  
маркером 76  
надпись 80  
нанесение 74  
ошибка 77  
принтером 81  
проводников 75  
рапидографом 85
- Сварка  
проводов 55  
«точечная» 57
- Серебрение 166
- Сеткография 88
- Скипидар 232
- Смола  
литье 142  
полимеризация 141  
эпоксидная 141
- Сода 231
- Сопротивление  
внутреннее 212  
провода 213  
удельное 236
- Спирт  
винный 232  
древесный 232  
метиловый 232  
нашатырный 231  
этиловый 232
- Сплав Розе 110
- Способ изготовления  
гальванический 96  
механический 97  
прошивка 101
- Станок намоточный 36

## Стекло

- органическое 136
- сверление 137
- склеивание 138
- штамповка 139

## Стержень

- латунный 176
- миниатюрный 177

## Стол

- радиомонтажника 12
- слесаря 16

## Теплоотвод 53, 117

## Термопара 56

## ТКЕ 253

## ТКС 236, 253

## Ток

- вихревой 190
- допустимый 214
- мощность 216
- плавления 214
- работа 215
- утечки 118

## Травление 90

- гальваническое 95

## Транзистор

- полевой 208
- проверка 206
- цоколевка 209

## Трансформатор

- каркас 195
- ленточный 190
- магнитопровод 188
- обмотка 197
- параметры 211
- проверка 204
- расчет 222
- тороидальный 191, 225
- ферритовый 193

## Условия труда 15

## Установка

- микросхема 66
- резистор 67

## Флюс 46

- бескислотный 47
- кислотный 46

## Фольга алюминиевая 81

## Фоторезист 85

- проявление 87
- распыление 86

## Фотошаблон 87

## Фрезеровка 97

## Фреон 148

## Хранение

- деталей 25
- инструмента 22

## Цапон-лак 233

## Царская водка 230

## Шеллак 235

## Щуп тонкий 183

## Электричество статическое 113

## Электродрель миниатюрная 35

Николаенко М. Н.

## Радиолобительские технологии

Главный редактор *Моачан Д. А.*  
dm@dmk-press.ru

Выпускающий редактор *Морозова Н. В.*

Верстка *Латшова М. А.*

Графика *Салимонов Р. В.*

Дизайн обложки *Дудатий А. М.*

Подписано в печать 18.08.2003. Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Гарнитура «Петербург». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 17,15. Тираж 3000 экз. Зак. №

Издательство «ДМК Пресс»

Web-сайт издательства: [www.dmk.ru](http://www.dmk.ru)

Internet-магазин: [www.abook.ru](http://www.abook.ru)

Отпечатано в типографии № 9. Волочаевская, 40.