**Юрий Ревич**

# занимательная ЭЛЕКТРОНИКА

## 8-е издание

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2026

УДК 621.3
ББК 32.85
Р32

**Ревич Ю. В.**

Р32 Занимательная электроника. — 8-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2026. — 752 с.: ил. — (Электроника)

ISBN 978-5-9775-2167-3

На практических примерах рассказано о том, как проектировать, отлаживать и изготавливать электронные устройства в домашних условиях. От физических основ электроники, описания устройства и принципов работы различных радиоэлектронных компонентов, советов по оборудованию домашней лаборатории автор переходит к конкретным аналоговым и цифровым схемам, включая устройства на основе микроконтроллеров. Приведены элементарные сведения по метрологии и теоретическим основам электроники. Дано множество практических рекомендаций: от принципов правильной организации электропитания до разводки плат и приобретения компонентов применительно к российским условиям. В 8-м издании обновлены многие главы, содержавшие устаревшие сведения, подробнее рассказано о компонентах для Arduino, цифровых дисплеях, часах с динамической индикацией, часовых системах, а также добавлены новые примеры применения платформы Arduino.

*Для широкого круга любителей электроники*

УДК 621.3
ББК 32.85

**Группа подготовки издания:**

| | |
|---|---|
| Руководитель проекта | *Евгений Рыбаков* |
| Зав. редакцией | *Людмила Гауль* |
| Редактор | *Григорий Добин* |
| Компьютерная верстка | *Ольги Сергиенко* |
| Дизайн серии | *Марины Дамбиевой* |
| Оформление обложки | *Зои Канторович* |

Подписано в печать 10.09.26.
Формат 70×100 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 60,63.
Тираж 1500 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.

Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО "Принт-М", 142300, М.О., г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1

ISBN 978-5-9775-2167-3

© Ревич Ю. В., 2026
© Оформление. ООО "БХВ-Петербург", ООО "БХВ", 2026

# Оглавление

**К читателю ..... 13**
Радиолюбительство — что это такое? ..... 15
Как пользоваться книгой? ..... 18
Как разрабатывать электронные схемы? ..... 20
Откуда взять информацию, как грамотно найти замену компонентов и где их приобрести? ..... 22

**ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ ОСНОВ ..... 25**

**Глава 1. Чем отличается ток от напряжения? ..... 27**
Связь тока и напряжения ..... 28
Регулирование тока с помощью сопротивления ..... 32
Источники напряжения и тока ..... 34

**Глава 2. Джентльменский набор**
**Оборудуем домашнюю лабораторию ..... 36**
Мультиметр ..... 37
Источник питания ..... 41
Осциллограф ..... 44

**Глава 3. Хороший паяльник — половина успеха**
**Инструменты и технологические советы ..... 50**
Инструменты и материалы ..... 51
Паяльники ..... 54
Флюсы для пайки ..... 56
Макетные платы ..... 58
Печатные платы ..... 59
Монтаж ..... 61
Немного о проводах ..... 69
Корпуса ..... 71
Новые подходы в любительском конструировании ..... 74
Проектирование схем и разводка плат ..... 74
Редактор sPlan для разработки схем ..... 75

Программа для раскладки плат Sprint-Layout ....78
Изготовление плат ....80
Пайка заказных плат на основе SMD-компонентов....81

**Глава 4. Тригонометрическая электроника**
**О частотах, периодах, мощности, переменных напряжениях и токах и немного о сигналах ....83**
Мощность....87
Что показывал вольтметр?....88
Сигналы....92
О переменном токе и электропитании....92
Децибелы....93

**Глава 5. Электроника без полупроводников**
**Резисторы, конденсаторы и схемы на их основе....95**
Резисторы....95
Переменные резисторы....101
Параллельное и последовательное соединение резисторов....102
Конденсаторы....104
Параллельное и последовательное включение конденсаторов....114
Конденсаторы в цепи переменного тока....115
Дифференцирующие и интегрирующие цепи....116
Индуктивности....118

**Глава 6. Изобретение, которое потрясло мир**
**Диоды, транзисторы и простейшие схемы на их основе ....121**
Диоды ....121
Транзисторы....123
Ключевой режим работы биполярного транзистора ....126
Усилительный режим работы биполярного транзистора....129
Включение транзистора с общим коллектором ....131
Стабильный усилительный каскад на транзисторе....132
Дифференциальный каскад....135
Полевые транзисторы....136
Выбор транзисторов....143

**Глава 7. Ошеломляющее разнообразие электронного мира**
**Реле, стабилитроны, светодиоды... ....147**
Электромагнитные реле ....147
Стабилитроны ....153
Оптоэлектроника и светодиоды ....156
Оптоэлектроника ....156
Светодиоды ....158
Светодиодные индикаторы ....162
ЖК-дисплеи....164
Простейший уровнемер для водяных баков....166

**ЧАСТЬ II. АНАЛОГОВЫЕ СХЕМЫ ..... 171**

**ГЛАВА 8. ЗВУКОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ БЕЗ МИКРОСХЕМ**
**Классическая схема УМЗЧ ..... 173**

Схема базового УМЗЧ ..... 174
Мощность усилителя ..... 177
Стабильность ..... 178
О мощности выходных транзисторов ..... 180
Проверка и отладка ..... 180
Классы усилителей, или немного высшей математики ..... 182
Действующее значение напряжения ..... 182
Классификация усилителей ..... 182
О мощности и качестве звуковых усилителей ..... 186

**ГЛАВА 9. ПРАВИЛЬНОЕ ПИТАНИЕ — ЗАЛОГ ЗДОРОВЬЯ**
**О питании электронных устройств ..... 189**

Электрохимические элементы ..... 189
Аккумуляторы ..... 193
Вторичные линейные источники питания ..... 198
Трансформаторы ..... 198
Расчет сетевого трансформатора ..... 200
Простейший нестабилизированный однополярный источник питания ..... 202
Стабилизаторы ..... 206
Интегральные стабилизаторы ..... 208
Однополярный регулируемый источник питания ..... 211
Двухполярные источники питания ..... 217
Простой трансформаторный ..... 217
Параллельный стабилизатор с искусственной средней точкой ..... 218
Источники тока ..... 219
Регулируемый источник тока на LM334 ..... 221
Источники тока для питания светодиодов ..... 222
Источник тока на стабилизаторе LM317 ..... 223
Драйвер светодиодов на PT4115 ..... 224
Рассеивание тепла ..... 226
Расчет радиатора через коэффициент теплоотдачи ..... 227
Расчет через значения термических сопротивлений ..... 229
Установка компонентов на радиаторы ..... 230
Принудительное охлаждение и элементы Пельтье ..... 231
Импульсные источники питания ..... 234
Как правильно питаться? ..... 240

**ГЛАВА 10. ТЯЖЕЛОВЕСЫ**
**Устройства для управления мощной нагрузкой ..... 243**

Базовая схема регулирования напряжения на нагрузке ..... 245
Мощность в нагрузке при тиристорном управлении ..... 247
Ручной регулятор мощности ..... 249
Базовая схема регулятора (диммера) ..... 249

Регулятор переменного напряжения с двумя тиристорами ....254
Регулятор с симистором ....255
Бесконтактный метод измерения переменного тока ....256
Помехи ....258

**Глава 11. Слайсы, которые стали чипами**
**О микросхемах ....261**

Некоторые типовые узлы микросхем и особенности их эксплуатации ....266
Звуковые усилители на микросхемах ....271
Мощный УМЗЧ ....272
Микроусилитель мощности ....275

**Глава 12. Самые универсальные**
**Обратная связь и операционные усилители ....277**

Опасные связи ....278
Основные свойства системы с отрицательной обратной связью ....282
Базовые схемы усилителей на ОУ ....284
Неидеальность ОУ, ее последствия и борьба с ними ....286
Дифференциальные усилители ....288
Другие распространенные схемы на ОУ ....291
Применение интегратора для измерения малых импульсных токов ....293
Аналоговый генератор ....295
Релейное регулирование и термостаты ....298
Термостат вообще ....299
Простой термостат для аквариума ....303
О гистерезисе ....306
Автомат включения освещения ....308
Терморегулятор «для дома, для семьи» ....310

**Глава 13. Как измерить температуру?**
**Об измерениях, погрешностях и обработке результатов ....315**

Основы термометрии ....316
Датчики ....317
Термисторы ....318
Металлические датчики ....320
Полупроводниковые датчики ....320
Методы измерения сопротивления ....322
Очень точный лабораторный измеритель температуры ....323
Электронный термометр со стрелочным индикатором ....325
О метрологии и ошибках аналоговых схем ....328
Точность и разрешающая способность ....329
Систематические ошибки ....330
Случайные ошибки измерения и их оценка ....331
Регрессия и метод наименьших квадратов ....336
Разновидности погрешностей ....338

**ЧАСТЬ III. ЦИФРОВОЙ ВЕК ..... 339**

**ГЛАВА 14. НА ПОРОГЕ ЦИФРОВОГО ВЕКА**
**Математическая логика и ее представление в технических устройствах ..... 341**

Основные операции алгебры Буля ..... 344
Булева алгебра на выключателях и реле ..... 347
То же самое, но на транзисторах и диодах ..... 350
О двоичной и других системах счисления ..... 352
Позиционные и непозиционные системы счисления. Десятичная система ..... 352
Двоичная и шестнадцатеричная системы ..... 355
Перевод из одной системы счисления в другую ..... 356
Байты ..... 358
Запись чисел в различных форматах ..... 360
Немного двоичной арифметики ..... 362
Отрицательные двоичные числа ..... 362
Дробные числа ..... 365
Коды, шифры и дешифраторы ..... 366
Код Грея ..... 369

**ГЛАВА 15. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, ИЛИ ИГРА В КВАДРАТИКИ**
**Устройство логических микросхем и двоичные операции ..... 372**

ТТЛ ..... 373
Основные характеристики КМОП ..... 375
Характеристики различных серий КМОП ..... 377
Двоичный сумматор на логических микросхемах ..... 384
Обработка двоичных сигналов с помощью логических элементов ..... 389
Мультиплексоры/демультиплексоры и ключи ..... 392

**ГЛАВА 16. УСТРОЙСТВА НА ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ**
**Мультивибраторы, формирователи, триггеры, счетчики ..... 394**

Генераторы ..... 394
Схемы на основе триггера Шмитта ..... 400
Кварцевые генераторы ..... 402
Формирователи импульсов ..... 407
Одновибраторы ..... 410
Схема периодического включения питания ..... 413
Одновибраторы и генераторы на микросхеме 555 ..... 414
Триггеры, регистры и счетчики ..... 419
Самый простой триггер ..... 420
D-триггеры ..... 422
Регистры ..... 425
Счетчики ..... 426
Цифровой лабораторный генератор ..... 431

**ГЛАВА 17. ОТКУДА БЕРУТСЯ ЦИФРЫ**
**Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи ..... 435**

Принципы оцифровки сигналов ..... 437
ЦАП ..... 440

АЦП ....444
АЦП параллельного действия ....444
АЦП последовательного приближения ....445
Интегрирующие АЦП ....446
Цифровой термометр без микроконтроллеров ....455
АЦП 572ПВ2 и ПВ5 ....456
Практическая схема термометра ....460

**ЧАСТЬ IV. МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ ....467**

**ГЛАВА 18. НАЧАЛА МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**
**Микропроцессоры, память и микроконтроллеры ....469**
Как работает микропроцессор? ....472
Лечение амнезии ....479
Изобретаем простейшую ROM ....480
Общее устройство памяти ....482
RAM ....483
EPROM, EEPROM и flash-память ....484
Микроконтроллеры Atmel AVR ....488
Почему AVR? ....489
Структура МК AVR ....490
Последовательные порты ....492

**ГЛАВА 19. ОСНОВЫ ARDUINO**
**Контроллеры, среда и примеры программирования ....494**
Что такое Arduino? ....495
Основные платы Arduino ....498
Установка среды программирования Arduino ....502
Процедура установки ....503
Настройки Arduino IDE ....507
Программы для Arduino ....507
Примеры программирования ....514
Обмен через последовательный порт ....515
Термостат на Arduino ....519
Правильное подключение кнопки ....522
Правильная мигалка на Ardiuno ....526

**ГЛАВА 20. КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ARDUINO**
**Как на Arduino делать устройства лучше фирменных ....529**
Что нам понадобится в этой главе? ....530
О выборе компонентов ....530
Интерфейс TWI ($I^2C$) ....532
Датчики метеорологических параметров ....534
Датчики температуры и влажности ....534
Барометры ....537
Другие метеорологические датчики ....538
Особенности калибровки цифровых датчиков ....540
Часовые модули (RTC) ....542

Дисплеи ....545
Непосредственное управление цифровыми LED-индикаторами....546
Светодиодный драйвер MBI5167 ....546
Схема и программа для тестирования MBI5167 ....548
Статическая индикация ....549
Динамическая индикация....551
Часы с динамической индикацией ....554
Цифро-буквенные дисплеи со встроенным контролером ....558
Подключение цифрового 4-разрядного дисплея к Arduino....558
Часы на 4-разрядном дисплее с контроллером ....560
Простой электронный термометр....562
Arduino и поразрядные матричные индикаторы ....566
Схема подключения драйвера MAX6953 с I²C-интерфейсом....568
Программа....570
Строчные OLED-дисплеи....573
Контроллер WS0010 и библиотека LiquidCrystal....574
Пишем по-русски....576
Подключение строчных дисплеев Winstar....577
Часы на основе OLED-дисплея....579
Вывод дополнительных символов и индикация заряда аккумулятора ....582
Графические дисплеи Winstar....586
I²C-интерфейс для дисплеев Winstar ....592
Передача данных по радиоканалу ....594
Беспроводной UART: приемопередатчик HC-12 ....595
Часовая система с первичными и вторичными часами ....597
Что мы делаем? ....597
Первичные часы....598
Вторичные часы....600
Подключение передатчика и приемника RF link 433 МГц....603
О режиме энергосбережения, Watchdog-таймере и питании метеостанции....609
Watchdog Timer ....610
О мерах по снижению энергопотребления ....614
Автономный датчик температуры и влажности....615
О конструктивном оформлении устройств на Arduino....618

**ГЛАВА 21. ПРИМЕНЕНИЯ ARDUINO**
**Избранные возможности платформы ....620**

Аналоговое управление внешними устройствами (ШИМ)....620
Принцип ШИМ-регулирования ....621
ШИМ и Arduino ....622
Подбор MOSFET-ключей и драйверов для мощной нагрузки....625
Запись на SD-карту....628
Измерение частоты в Arduino....630
Метод первый: измерение частоты ....631
Метод второй: измерение периода....632
Ультразвуковой дальномер....634
Пироэлектрический датчик....636
Управляем с ИК-пульта от телевизора ....639
Определение и применение кодов команд с ИК-пульта....639

Двухкнопочный плавный регулятор с запоминанием состояния ....642
Программа регулятора ....644
О преимуществах и недостатках Arduino ....646

**Глава 22. Персональный компьютер вместо паяльника**
**О программировании МК на ассемблере ....651**
Некоторые дополнительные подробности архитектуры AVR ....652
Classic, Mega и Tiny ....652
Память программ ....653
Память данных (ОЗУ, SRAM) ....654
Энергонезависимая память данных (EEPROM) ....655
Способы тактирования ....656
Параллельные порты ввода/вывода ....658
Прерывания ....660
Таймеры-счетчики ....662
Железо ....664
Софт ....666
О конфигурационных битах ....669
Примеры программирования ....672
Самая простая программа ....672
Таймер без прерываний ....677
Применение прерываний ....681
Прерывание таймера по переполнению ....684
Прерывание таймера по сравнению ....687
Арифметика многоразрядных чисел на ассемблере ....689
Операции с числами в формате BCD ....693
Мощный инвертор на микроконтроллере ....696
Программная реализация ШИМ ....698
О схемотехнике инвертора ....703
Экономичный автономный датчик температуры ....706

**ПРИЛОЖЕНИЯ ....709**

**Приложение 1. Резисторы и конденсаторы ....711**
Международная цветная маркировка резисторов (с допуском 5 и 10%) ....711
Таблицы номиналов резисторов и конденсаторов ....712

**Приложение 2. Стандартные обозначения, размеры и характеристики некоторых гальванических элементов ....713**

**Приложение 3. Соответствие наименований и функциональности некоторых зарубежных и отечественных цифровых микросхем ....715**

**Приложение 4. Словарь часто встречающихся аббревиатур и терминов ....718**

**Приложение 5. Единицы измерения и обозначения ....724**
Физические величины и их единицы измерения по умолчанию ....724
Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц ....725

Некоторые буквенные обозначения в электрических схемах ..... 725
Некоторые символические обозначения в электрических схемах ..... 726
Символические обозначения мощности резисторов на схемах ..... 728

**Приложение 6. Запись загрузчика в AVR-контроллеры и программирование Arduino Mini ..... 730**

Запись загрузчика (bootloader) ..... 730
Arduino as ISP ..... 731
Запись загрузчика через любой ISP-программатор ..... 733
Программирование Arduino Mini и Mini Pro ..... 734
Программирование Mini с помощью платы Arduino Uno ..... 734
Программирование Mini через адаптер USB-UART ..... 735
Программирование Arduino Mini через адаптер USB-UART с автоматическим сбросом ..... 736

**Литература и источники ..... 739**

**Предметный указатель ..... 742**

# К читателю

Как известно, каждый сходит с ума по-своему. Есть люди, сдвинутые на собирании спичечных этикеток или монет, есть те, кто прыгает с парашютом, лазает по городской канализации или спускается на плотах по горным рекам Северного Урала и Сибири. Одна из самых распространенных разновидностей подобных психических сдвигов — радиолюбительство.

Когда-то радиолюбители были действительно только «любителями радио» — просто потому, что в 20–30-х годах XX века, когда появились первые энтузиасты, кроме радиоэлектроники, почти никакой другой электроники не существовало. О, в те времена это было жутко престижное хобби! Это сейчас мы, не успев привыкнуть к проигрывателям/приемникам в каждом автомобиле и двум-трем телевизорам в каждой квартире, как-то незаметно для себя оказались в мире глобальных электронных коммуникаций. А тогда сама возможность слушать кого-то с другого конца Земли казалась чудом, магическим действием. В те времена радиолюбители нередко участвовали в важнейших событиях наравне с профессионалами, или даже опережали их — достаточно вспомнить радиолюбителя Николая Шмидта, деревенского жителя из Северо-Двинской губернии, который в 1928 году первым поймал SOS экспедиции Нобиле, тем самым установив постоянную связь с потерпевшим катастрофу экипажем дирижабля «Италия».

У обычных людей в те времена даже настройка на нужную станцию простого домашнего приемника, ставшего к тридцатым годам уже довольно привычным атрибутом не только в богатой Америке, но и в СССР, поначалу вызывала не меньше вопросов, чем сейчас установка и настройка Android-приложения или регистрация своего аккаунта в социальной сети.

Но достаточно быстро — начиная с 1940-х годов — электроника стала «широко простирать руки свои в дела человеческие». Термин «радиолюбительство» сохранился и по сей день, но под ним стали понимать уже отнюдь не только увлечение радиопередатчиками и приемниками. Первым делом выделилась в отдельное направление звукозапись и всё с ней связанное: различные усилители, эквалайзеры, акустические устройства. Затем электроника вторглась в электротехнику и управление разными механизмами. Потом начался компьютерный бум, и стало модным всё, связанное с информационными технологиями (вообще-то в них по справедливости следовало бы включить и радио с телевидением). Заметим, что в развитии

ИТ-отрасли любители сыграли не последнюю роль, — так, из увлечения Стива Возняка конструированием игровых приставок выросла компания Apple, теперь одна из самых известных и дорогих компаний мира. А из сообщества любителей программирования родилось течение «открытых исходников» (Open Source), в существенной мере определяющее ландшафт современного ИТ-мира.

В результате первоначально единая наука о применении электричества в технике разделилась на множество течений, значительная часть которых уже к собственно электричеству имеет лишь косвенное отношение. Выдающийся советский ученый Сергей Алексеевич Лебедев, один из создателей отечественной компьютерной промышленности, начинал с проектирования устойчивых энергосистем (т. е. с чисто электротехнических задач), а к концу своей творческой деятельности занимался уже проблемами операционных систем для сверхмощных вычислительных комплексов.

> В настоящее время не более одной пятой части объема журнала «Радио», выходящего в нашей стране с 1924 года (в последние годы — в электронном виде[1]), посвящено именно радио. Следовало бы придумать иное название, но слово «радиолюбитель» прижилось и ныне означает любого, кто увлекается электроникой. Правда, так только по-русски — например, в английском языке всё иначе: в нем radio ham (или на жаргоне просто ham) есть лишь «оператор любительской радиостанции», а для любителей электроники вообще нет никакого специального термина, все они относятся к сообществу «сделай сам» (по-английски «do it yourself», DIY). Только не думайте, что в Англии или в Штатах таких любителей электроники меньше, просто там это хобби традиционно имело несколько иной статус. Но в последние годы число таких DIY makers в области электроники на Западе растет опережающими темпами — возникли даже целые отрасли промышленности, выпускающие полуфабрикаты и конструкторы для любителей создания самых разных электронных изделий. Об одном из самых ярких примеров этого направления — платформе Arduino, прочно завоевавшей в том числе и отечественную аудиторию, пойдет речь в последних главах этой книги. Другими отличными примерами могут стать концепции умного дома, Интернета вещей (Internet of things, IoT) или конструирование «интеллектуальных» роботов. Примеры массово выпускаемых роботов в быту, за пределами военных и промышленных сфер применения, пока еще можно пересчитать по пальцам, зато любительских конструкций создано неисчислимое количество: по отдельным разновидностям умных роботов проводятся даже чемпионаты мира — совсем как когда-то по любительской радиосвязи.
>
> Отметим также появление стремительно набирающей широкую популярность «гражданской науки» (citizen science) — множества отдельных лиц и коллективов, добровольно занимающихся сбором и/или анализом данных по различным проектам, представляющим общественный интерес. Сама возможность появления «гражданской науки» обусловлена развитием электроники — появлением дешевых и доступных средств измерений, сбора, доставки и анализа их результатов.

Потому не удивляйтесь, что в этой книге, адресованной начинающим (и просто желающим повысить свою квалификацию) радиолюбителям, о радио вы получите лишь обрывочные сведения с сугубо утилитарной целью передачи данных между микроконтроллерными устройствами[2]. Зато весьма часто будут упомянуты ком-

---

[1] См. **http://www.radio.ru**.

[2] Для тех, кому интересно современное состояние радиолюбительства в прямом смысле «любителей радио», рекомендуется книжка [37], посвященная программно-определяемому радио (SDR). Характерно, что для осуществления описанных там проектов паяльник может не понадобиться ни разу.

пьютеры — по причинам, которые вы поймете, прочитав эту книгу. Так что же такое радиолюбительство?

# Радиолюбительство — что это такое?

Чем отличается «электронное» устройство от «электрического»? Оба они используют электрическую энергию, однако электрическое устройство, как правило, не содержит никаких заумных штучек, вроде транзисторов или микросхем, — простейшим примером электрического (электротехнического) устройства в чистом виде является настольная лампа с выключателем. Но та же лампа, снабженная регулятором яркости или бесконтактным сенсорным выключателем, является уже устройством электронным. Электронными устройствами постепенно стали давно известные люминесцентные лампы — в них встроена достаточно серьезная схема, управляющая запуском и свечением. А довольно быстро заменившие их светодиодные источники света являются электронными устройствами от рождения. В таких сложных электротехнических системах, как, например, современные генераторы электроэнергии или устройства преобразования переменного тока в постоянный (и наоборот), электронную часть от электротехнической отделить уже невозможно.

Эту тенденцию легко проследить на примере эволюции автомобильных электросистем, где первоначально генератор электроэнергии совместно с электромеханическим регулятором и аккумулятором представляли собой отдельную вспомогательную систему, при выходе из строя которой автомобиль тем не менее можно было завести «ручкой» и заставить передвигаться. Нарастание количества электронных узлов в конце концов связало электротехнические компоненты (стартер, генератор, аккумулятор), электронные устройства (электронное зажигание, датчики, контроллеры, вплоть до бортового компьютера) и механические узлы (двигатель с трансмиссией) в неразрывное целое, где ни одна из систем не может функционировать без другой. А некоторые последние модели автомобилей высшего класса фактически уже ближе к роботам, а не просто к автомашинам, т. е. представляют собой сложнейший электронно-программно-механический агрегат. Панель управления («торпеда») электромобиля настолько начала напоминать игровую консоль, что не так давно, в начале 2026 года, китайскому правительству пришлось издать специальный закон, запрещающий полностью переводить электромобили на сенсорное управление.

Занятие радиолюбительством в нашей стране некоторое время назад, в 1960–1980-е годы, было не просто модным, а очень модным. Этому способствовало много причин: и относительно высокий уровень технического образования, и бесплатный доступ к компонентам (да-да, купить в свободной продаже что-то электронное было очень сложно, а вот вынести с завода или из НИИ — всегда пожалуйста), и, наконец, то, что промышленность явно не справлялась с обеспечением потребности населения в «продвинутых» бытовых приборах, а качество тех, что выпускались, чаще всего было ниже всякой критики. Дешевле, лучше и интереснее было сделать самому. Поэтому в те времена стать меломаном в современном смысле (т. е. «любителем качественной звукозаписи») означало фактически, что человек был вынужден сам изучать азы электроники и браться за паяльник.

Положение, конечно, резко изменилось в 1990-е годы с приходом в страну дешевого и качественного ширпотреба с Запада и Востока, и теперь уже вряд ли кто будет всерьез самостоятельно изобретать, скажем, карманный плеер-«дебильник». Но, как ни странно, радиолюбительство не только не погибло, но даже расцвело — прежде всего потому, что стали доступны, пусть и за деньги, практически любые, как импортные, так и отечественные, компоненты и, что немаловажно, исчерпывающая документация к ним — в 70–80-е годы прошлого века какой-нибудь «Справочник по транзисторам» сметали с прилавков со скоростью, которой могли бы позавидовать сами братья Стругацкие. Поэтому находятся энтузиасты постройки даже собственного планшета, а за образец любительского конструирования принято считать настольную метеостанцию, что даже стало своеобразным мемом: «*что бы ни делал любитель электроники, у него получаются либо часы, либо метеостанция*» (подробнее об этом направлении см. *главу 20*).

Мудрый римлянин Публий Корнелий Тацит в свое время промолвил: «Можно восхищаться древностью, но следовать нужно современности». Он был совершенно прав, но сам остался в веках именно благодаря своим историческим трудам. «Восхищение древностью», как ничто другое, помогает «следовать современности». Например, если покопаться в истории науки и техники, то выясняется интересная вещь — почти все эпохальные изобретения и открытия делались дилетантами, а если и специалистами, то из другой области. Чаще всего это было обусловлено тем, что до них соответствующих направлений просто не существовало, и они вынуждены были всё изобретать «с нуля». Крайний случай такого «любительства» — изобретение телеграфа Сэмюэлом Морзе (рис. 1), который вообще не имел никакого — даже самостоятельного — технического образования и до начала работы над телеграфом был признанным художником, в том числе основателем существующей и поныне Нью-Йоркской академии дизайна. Были и другие, не менее интересные случаи.

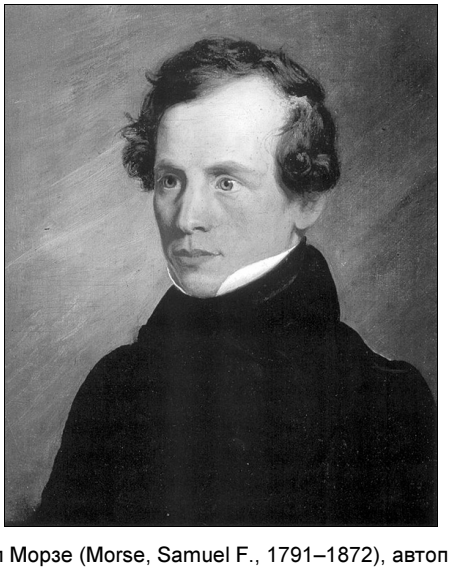


**Рис. 1.** Сэмюэл Морзе (Morse, Samuel F., 1791–1872), автопортрет, 1818 г.

В области электроники существует некая иерархия знаний, в которой неявно подразумевается, что при переходе от одной ступеньки к следующей знания предыдущего уровня усвоены в полной мере. Например, в радиолюбительской литературе сорокалетней давности вы могли встретить подробнейшее описание принципов работы аналого-цифровых преобразователей (АЦП), ибо их собирали из отдельных деталей, и без понимания их устройства такая работа просто не могла быть успешной. Сейчас АЦП всем доступны и в виде законченных микросхем, и в составе микроконтроллеров, управляются они программно, и, казалось бы, понимание принципов их функционирования уже никому не требуется — подавай нужные команды в соответствии с инструкцией, и всё будет работать.

Это верно только на первый поверхностный взгляд. Никакие инструкции вам не заменят глубокого понимания принципов работы электронных компонентов. При условии, конечно, что вы хотите подойти к проектированию своих устройств творчески и что-то изобрести самостоятельно, а не тупо скопировать готовую конструкцию. Для «копировщиков» эта книга не потребуется — вполне достаточно сборников радиолюбительских схем, которые ныне доступны каждому через Интернет. Для особо ленивых выпускаются готовые конструкторы с подробной пошаговой инструкцией. Но вот как только вы захотите чужую схему приспособить к своим нуждам, модифицировать или хотя бы просто заменить детали более современными или доступными, без понимания принципов работы вы окажетесь в тупике.

#### *Заметки на полях*

В современной электронике очень распространился модульный подход, когда вы набираете готовые модули-кирпичики, соединяете их готовыми проводами с контроллером и получаете готовый прибор, для которого остается лишь написать программу. И ладно бы это было ориентировано только на любителей, но такой подход довольно быстро становится основным и среде профессионалов. Это породило целое поколение инженеров, прекрасно разбирающихся в тонкостях языка C и Python, во фреймворках для машинного обучения или библиотеках для выполнения сложных математических операций на слабых вычислительных платформах. И быстро обнаруживается, что такие инженеры не способны эффективно спроектировать питание устройства, не умеют грамотно подключить светодиод и объяснить его работу, не разбираются в метрологии и не могут оценить правильность показаний датчиков — в общем, демонстрируют полное непонимание сути протекающих в схеме процессов и неспособность их выстроить оптимальным образом. Психологически это понятное явление: их учили программированию, поэтому они воспринимают модули контроллеров, датчиков или исполнительных устройств подобно программным библиотекам — есть входы и выходы, описаны правила взаимодействия с ними, если эти правила соблюдаются, то всё должно работать автоматически. Им невдомек, что электроника — это не раздел программирования, где всё строго детерминировано и расписано. Правда, они знают, что и в программировании это только недостижимый идеал, но почему-то напрочь забывают, что в электронике таких недетерминированных моментов гораздо больше, и иногда они лежат далеко за пределами собственно науки об электричестве. Мы еще будем по ходу изложения разбирать примеры различных нелепостей, порожденных подобным программистским подходом к электронике. А пока заметим, что именно на решение задачи преодоления такого рода односторонности и направлена эта книга.

Вообще говоря, без ряда фундаментальных знаний: от школьной физики до понимания того, как работают выходные каскады цифровых микросхем (а значит, и зна-

ния принципов работы транзисторов и других компонентов), — невозможно даже правильно подсоединить светодиод к микроконтроллеру. Можно скопировать чужое подключение, но никогда нет уверенности, что и сам автор схемы всё сделал правильно. Развивая эту мысль, можно утверждать, что без знания закона Ома написать корректно работающую программу для Arduino можно только случайно, и пусть это не покажется вам таким уж большим преувеличением.

Поэтому мы дадим совет, который может показаться несколько неожиданным. Но сначала попробуйте мысленно ответить на один вопрос, каким бы идиотским он вам ни показался: «Какова величина тока в комнатной розетке?» То, что этот вопрос отнюдь не столь прост, как кажется, доказывают результаты ответов на него, полученные после опроса группы студентов одного технического вуза (по специальности, не связанной напрямую с электротехникой или электроникой), — из нескольких десятков опрошенных только двое смогли дать вразумительный ответ.

Итак, если вы, читатель, замялись с ответом или просто не уверены в нем, то вот обещанный совет, причем адресованный любому независимо от возраста, — прежде чем читать дальше, возьмите учебники физики за седьмой и восьмой классы и перечитайте главы, посвященные электричеству. Можете также захватить из учебника девятого-десятого класса главу, посвященную строению атома. Еще лучше обратиться не к обычным школьным учебникам, а изучить соответствующие главы из учебника Г. С. Ландсберга [1], где то же самое изложено куда более увлекательно и подробно[3]. Хотя ряд элементарных сведений и дается в первых главах книги, которую вы держите в руках, после ознакомления с этим учебником вам будет много легче читать ее дальше.

## Как пользоваться книгой?

Несколько слов о том, как пользоваться книгой. Она рассчитана на тех, кто делает всё своими руками и дома (поэтому, например, я стараюсь не рекомендовать компоненты для поверхностного монтажа — платы под них своими руками изготовить достаточно сложно, и еще труднее их отлаживать, см. *главу 3*). Для тех, кто уже имеет известный опыт работы и оборудованную домашнюю лабораторию, первые главы можно пропустить, хотя *главы 5–7* о дискретных компонентах я всё же прочитать рекомендую. Книга отличается от большинства имеющихся руководств тем, что почти все описанные в ней схемы подробно рассмотрены шаг за шагом, включая самые мелкие детали, — так, чтобы при повторении конструкции у вас не возникало вопросов, зачем нужен тот или иной резистор и почему его сопротивление именно такое.

Однако, чтобы вопросов действительно возникало как можно меньше, при чтении книги следует проверять все рассуждения и расчеты с карандашом и калькулято-

[3] Первое издание этого учебника вышло в свет на рубеже 1940–1950-х годов, он переиздается до сих пор и входит в набор рекомендуемой литературы в современной средней школе.

ром[4]. В процессе чтения вам, вероятно, придется возвращаться к уже освоенным главам. Логика построения книги подчинена принципу постепенного усложнения конструкций, но в то же время широко используется метод опережающего изложения — скажем, операционные усилители и обратная связь подробно рассматриваются только в *главе 12*, но примеры их использования вы сможете встретить уже в *главах 9* и *10*. Опыт показывает, что такой прием очень способствует усвоению информации — уже немного знакомое легче изучать подробно, чем незнакомое вовсе. С другой стороны, не удивляйтесь, что звуковой усилитель подробно рассмотрен в *главе 8*, а источник питания для него — только в следующей. Сведения из этих глав во многом пересекаются между собой, поэтому, прежде чем браться за реальный усилитель, вам придется прочесть обе главы.

Огромное большинство конструкций, описанных в книге, рассчитаны на то, чтобы их использовать как готовые образцы в других проектах. Таковы, например, практически все проекты из раздела про микроконтроллеры и Arduino. Метеостанция и часы, например, там взяты как универсальный практический пример, позволяющий охватить в одном проекте очень много полезных узлов, которые могут использоваться в любых других приложениях этой платформы. При описании этих узлов автор старался представить как можно более широкую картину их разновидностей. Но это касается не только Arduino — в книге есть целые главы, посвященные описанию в основном заготовок (например, *глава 12* об операционных усилителях или *глава 16* о применении цифровых микросхем). В этих главах тоже есть описания отдельных законченных конструкций, но и они сделаны с упором на то, чтобы разъяснить принципы построения подобных схем, а не просто тупо повторить их для конкретных целей.

Книга несамодостаточна — для того чтобы повторить многие конструкции, вам потребуется дополнительный справочный материал, например по разводке выводов транзисторов или иных компонентов, а для работы с последней частью книги, посвященной микроконтроллерам, обязательно нужно иметь фирменное описание микропроцессоров AVR и системы команд для них, а также справочник по языку Arduino. Слава богу, у нас теперь есть Интернет, так что можно и не забивать шкаф справочниками, но кое-что всё же потребуется иметь и на полке или как минимум в электронном виде на своем компьютере.

Не нужно рассматривать любую схему из этой книги или из других источников как нечто вроде текста из Библии, который никому не позволено изменять. Даже рекомендации производителей по включению того или иного компонента есть всего лишь рекомендации. Можно и нужно экспериментировать, изменяя параметры компонентов и подгоняя схему к своим условиям, нелишне и поспорить с автором, если то или иное решение кажется чересчур усложненным. Однако стоит делать это разумно — если вы замените рекомендуемый операционный усилитель OP177 по-

[4] Никем не замеченная ошибка в расчетах выдержала четыре издания этой книги, пока на нее не указал один особо внимательный читатель. Так что, если что-то непонятно, пишите, буду очень благодарен!

хожим на него по названию усилителем OP2177, то можете быть весьма удивлены результатами.

## Как разрабатывать электронные схемы?

И наконец, рискуя утомить читателя, всё же скажу несколько слов о том, как вообще следует разрабатывать и отлаживать схемы. Самый эффективный метод — сборка нужной схемы из готовых и заранее отлаженных фрагментов. Эта операция аналогична тому, как программисты собирают программы из готовых и заранее отлаженных библиотечных процедур. Каждая такая процедура есть «черный ящик», у которого имеются входы и выходы для общения с другими частями программы, причем в общем случае вы даже не знаете, как она устроена внутри, — точно так же, как вы не знаете, что именно размещается внутри микросхемы. Вы берете микросхему, подсоединяете к ней внешние элементы в соответствии с рекомендациями производителя и получаете готовый узел, который соединяете с другими подобными узлами.

> Повторим, что именно на этой стадии можно сильно «попасть», если вообще отказаться от попыток понять, как работают используемые узлы, и лишь тупо следовать рекомендациям производителя, которые по понятным причинам не исчерпывают всего разнообразия жизненных ситуаций. Лучше всего, если производитель предлагает не только описания компонентов (datasheets), но и рекомендации по их применению (application notes), — в этом случае их совсем не вредно изучить перед проектированием. Практика предоставления рекомендаций производителей по проектированию типовых узлов — давно уже не исключение, а правило, потому элементарное знание технического английского становится обязательным условием для любого более-менее грамотного радиолюбителя. Для облегчения преодоления этого порога в конце книги приведен словарик специфических терминов и аббревиатур (см. *приложение 4*).

При рисовании схемы обязательно обозначайте на ней конкретные типы и значения параметров компонентов — не откладывайте это до стадии отладки! Изменить эти параметры вы всегда сможете, но всё, что можно подсчитать, нужно подсчитать заранее — это сохранит вам очень много времени. Когда вы берете, наконец, паяльник в руки, то не следует сразу собирать всю схему устройства целиком. Разбейте ее на как можно более мелкие самостоятельно работающие узлы и отлаживайте каждый узел по отдельности. Не верьте печатному слову и все рекомендации из литературы проверяйте на макетах (в конце концов у вас образуется библиотека таких самостоятельно отлаженных узлов, и вы будете экономить огромное количество времени). Отладив всё, обязательно нанесите на чертеж схемы полученные в результате отладки точные значения компонентов (те, что всё еще требуют окончательной подгонки «по месту», обозначаются звездочкой), проверьте правильность соединения этих узлов и разводку питания и лишь затем собирайте всю схему целиком — сначала на макетной плате. И только убедившись в работоспособности макета схемы, переносите ее на настоящую рабочую плату.

В отличие от многих радиолюбительских изданий и сайтов, рисунки плат в книге не приводятся, чему есть много причин: во-первых, повторить конструкцию в точности с теми компонентами, которые приведены в описании, как правило, не полу-

чается, да это и совершенно не требуется. Во-вторых, лично я никогда не повторял опубликованных конструкций в точности, стараясь улучшить или упростить схему, и в этой книге вы почти всегда найдете рекомендации по улучшению характеристик или расширению функциональности описанного прибора, так что публикация рисунка платы вообще теряет смысл. Наконец, есть и еще один момент, скорее психологический, — раскладывая плату самостоятельно, вы намного лучше вникаете в работу схемы, после чего отладка и регулировка ее значительно упрощаются. Мое глубокое убеждение состоит в том, что плату нужно делать самостоятельно, под выбранную конструкцию и корпус, а не подгонять габариты корпуса под имеющуюся плату — в результате такой подгонки самодельные конструкции иногда получаются весьма уродливыми. Исключением могут быть схемы на основе готовых узлов (таких, например, как Arduino и аксессуары к ней — см. *главы 19–21*), но там раскладывать платы самостоятельно чаще всего и не требуется.

Если вы разрабатываете серьезный прибор, который должен служить годами, — постарайтесь заложить в разработку время и деньги, необходимые для выполнения следующих этапов:

- **разработка технического задания** с возможно более подробным описанием требуемой функциональности. Не пренебрегайте мелочами, особенно если вы работаете «на сторону», а не для себя, — так, будет очень печально, если вы собрали и проверили прибор дома на столе, а потом выяснится, что он должен работать круглогодично на улице;
- **разработка принципиальной схемы** с отладкой отдельных узлов на макетах;
- **изготовление полного макета** и его отладка;
- **разработка окончательной принципиальной схемы**, подбор деталей и разработка печатной платы[5];
- **изготовление опытного образца** и его отладка, корректировка печатной платы;
- **изготовление окончательного варианта** печатной платы, корпуса и монтаж прибора.
- **написание инструкции по эксплуатации**.

Отдельно стоит остановиться на составлении технического описания и инструкции по эксплуатации. Я знаю, что большинство разработчиков искренне ненавидит этот этап работы (то же относится, увы, и к программистам), но советую себя пересилить и начинать составление документации прямо сразу, одновременно с началом проектирования. Значительная часть из проектов по Arduino, имеющихся в Сети, страдает отсутствием более-менее внятного описания, довольно часто даже не имеет принципиальной схемы. Учтите, что модная наглядная схема на макете, созданная в пакетах типа Fritzing, ни в коем случае принципиальную схему не заменяет! Подобные проекты почти бесполезны для использования вне рамок того конкретного применения, для которого были созданы, и даже такое их использование сильно затруднено, — отладка схемы, о которой ничего не известно, превращается в сущий кошмар. Не берите с них пример! Во-первых,

[5] Настоятельный совет: начинайте разработку и изготовление печатной платы только после того, как все компоненты будут лежать у вас на столе. Так вы сбережете много времени и средств в случае, если необходимого компонента в продаже не окажется.

при попытке описать словами «как это работает» в расчете на стороннего читателя обычно всплывают все недостатки и упущения. Ладно еще любительские Arduino-проекты — иногда на примере некоторых вполне промышленных изделий бытовой техники (как и компьютерных программ, кстати) отчетливо видно, что их разработчики сами никогда и не пытались взглянуть на свое творение с точки зрения того, кто это будет применять на практике, а инструкцию по эксплуатации писали наспех совершенно другие люди. Во-вторых, с уверенностью можно сказать, что через пару лет вы напрочь забудете, как у вас работал тот или иной узел и почему выбраны именно такие компоненты. Поэтому написание технической документации нужно вам самим не меньше, чем пользователю.

Приведенный идеальный вариант последовательности разработки редко осуществим на практике — либо времени не хватает, либо денег, либо того и другого. Есть одна известная фирма, которая занимается разработкой заказных электронных устройств, — так там берут несколько десятков тысяч рублей только за написание технического задания. И они правы! Конечно, на практике часто получается так, что макетный либо опытный образец, если его не требуется тиражировать, становится и окончательным изделием. И всё же по мере возможности не пренебрегайте этими промежуточными этапами — поверьте, так получится намного быстрее, чем, зажмурившись, собрать всё сразу, а потом в лучшем случае обнаружить, что ничего не работает, а в худшем — выветривать из комнаты очень неприятный и стойкий запах горелой пластмассы. Учтите, что почти ни одна незнакомая дотоле схема никогда не работает сразу, — будьте к этому готовы и заранее наберитесь терпения.

Ряд толковых и подробно аргументированных советов по разработке электронных устройств читатель может также найти в статье [35].

## Откуда взять информацию, как грамотно найти замену компонентов и где их приобрести?

Прежде чем перейти к собственно конструированию электронных схем, хорошо бы знать, как подобрать компоненты. Опыт показывает, что рядовых начинающих радиолюбителей обычно ставит в тупик отсутствие, например, указанного на схеме конденсатора в 100,0×6,3 В, транзистора КТ680А или диода 1N4001, и они начинают рыть землю в поисках знакомых и магазинов, где можно именно такой приобрести. В большинстве случаев компоненты спокойно заменяются аналогичными.

Что касается компонентов, упомянутых в этой книге, то для большинства из них соответствующие аналоги указаны по ходу изложения (это касается, в частности, тех отечественных микросхем и транзисторов, которые сейчас сложнее приобрести, чем их зарубежные аналоги). О замене резисторов и конденсаторов также подробно рассказывается в соответствующих главах. Хорошим подспорьем для подбора аналогов микросхем и транзисторов может служить портал Radio-hobby.org[6].

Справочную информацию о компонентах всегда можно найти на сайте производителя. Это касается даже таких компонентов, как резисторы и конденсаторы, хотя

[6] См. **https://radio-hobby.org**.

обычно их характеристики для распространенных типов одинаковы, от производителя не зависят, и можно ограничиться сведениями из *главы 5*. Документацию нередко можно найти на сайтах торгующих организаций; хорошим общим справочником для подбора компонентов может служить каталог магазина «Чип и Дип»[7].

В *приложении 1* приведены сведения о маркировке резисторов цветными полосками, а также о самых распространенных рядах номиналов компонентов с 5%- и 10%-ной точностью. В *приложении 2* вы найдете характеристики основных типов гальванических элементов и их обозначения. В *приложении 3* имеется таблица зарубежных и отечественных микросхем КМОП-типа, что поможет вам подобрать нужную разновидность микросхемы из различных совместимых серий.

Чтобы разобраться в *даташитах*[8], надо знать азы технического английского. Для облегчения этого процесса в *приложении 4* приведен перевод некоторых часто встречающихся терминов с английского на русский и обратно. В *приложении 5* приведены принятые обозначения и правила написания единиц измерения, а также графические условные обозначения распространенных компонентов. Наконец, в *приложении 6* изложены способы программирования плат Arduino Mini и Pro Mini, а также способы записи Arduino-загрузчика в новые контроллеры.

Цены на компоненты в настоящее время могут очень различаться. Упомянем некоторые из проверенных интернет-магазинов: «Чип и Дип» (**www.chipdip.ru**), «Электронщик» (**electronshik.ru**), Dip8.ru (**www.dip8.ru**), Tixer (**tixer.ru**), «Амперка» (**amperka.ru**), iArduino (**iarduino.ru**), «Кварц» (**quartz1.com**), Roboshop (**roboshop.spb.ru**) и др. Следует предостеречь начинающих от бездумной покупки на AliExpress (**aliexpress.ru**) — при удаче это может значительно снизить стоимость, но с такой же вероятностью можно нарваться на откровенную халтуру, подмену или брак. Распространенный прием снижения стоимости у мелких поставщиков из Китая — продажа компонентов, отбракованных производителем в процессе тестирования, среди которых могут попадаться как вполне годные, так и совершенно нерабочие экземпляры. Поэтому лучше полагаться на отечественные источники: пусть даже они просто перепродают товары, приобретенные оптом на том же Ali, но все-таки есть кому в случае чего предъявить претензии, не втягиваясь в многомесячную переписку.

Итак, приступим.

*Юрий Ревич*, **revich@lib.ru**

* * *

Автор выражает искреннюю благодарность администрации интернет-магазина «Амперка» (**amperka.ru**) за поддержку подготовки глав, посвященных платформе Arduino.

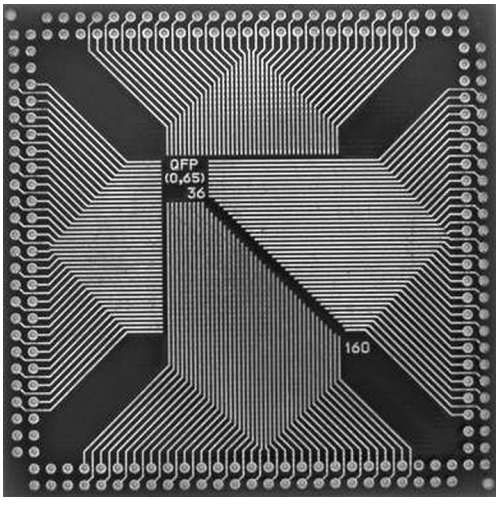
---

[7] См. **www.chipdip.ru**.

[8] Datasheet — файл технической документации, в буквальном переводе означает «таблица данных».

Схемы, чертежи и фотографии компонентов подготовлены автором. Все остальные иллюстрации взяты из источников, допускающих свободное копирование, за исключением фотографии первого транзистора из *главы 6* и портрета Клода Шеннона из *главы 14*, любезно предоставленных автору корпорацией Lucent Technologies Inc./Bell Labs в лице ее сотрудницы Франциски Мэттьюз (Francisca Matthews).

В архиве, размещенном по адресу **http://revich.lib.ru/AVR/ZE8-AVR.zip**, вы найдете тексты и примеры большинства программ, обсуждаемых *в главах 19–23* этой книги. Все схемы, программы и отдельные алгоритмы, помещенные в книге, проверены на макетах, и их работоспособность гарантируется при соблюдении указанных для них условий.




# ЧАСТЬ I

# Основы основ

**Глава 1.** Чем отличается ток от напряжения?

**Глава 2.** Джентльменский набор
Оборудуем домашнюю лабораторию

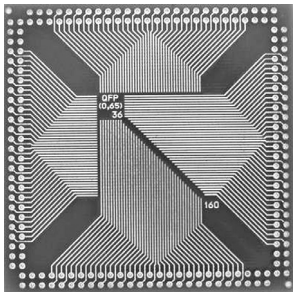
**Глава 3.** Хороший паяльник — половина успеха
Инструменты и технологические советы

**Глава 4.** Тригонометрическая электроника
О частотах, периодах, мощности, переменных напряжениях и токах и немного о сигналах

**Глава 5.** Электроника без полупроводников
Резисторы, конденсаторы и схемы на их основе

**Глава 6.** Изобретение, которое потрясло мир
Диоды, транзисторы и простейшие схемы на их основе

**Глава 7.** Ошеломляющее разнообразие электронного мира
Реле, стабилитроны, светодиоды…



# ГЛАВА 1

# Чем отличается ток от напряжения?

> Поэтому-то мне будет легче, facilius natans, взять тему по моему выбору, которая для этих трудных вопросов богословия явилась бы тем же, чем мораль является для метафизики и философии.
>
> *А. Дюма. «Три мушкетера»*

Дурацкий вопрос, скажете вы? Отнюдь. Опыт показал, что не так уж и много людей могут на него ответить правильно. Известную путаницу вносит и язык: в выражении «имеется в продаже источник постоянного тока 12 В» смысл искажен. На самом деле в этом случае имеется в виду, конечно, источник напряжения, а не тока, поскольку ток в вольтах не измеряется, но так говорить не принято. Самое правильное будет сказать — «источник питания постоянного напряжения 12 вольт», а написать можно и «источник питания =12 В» где символ «=» обозначает, что это именно постоянное напряжение, а не переменное. Впрочем, и в этой книге мы тоже иногда будем «ошибаться» — язык есть язык[1].

Чтобы разобраться во всем этом, для начала напомним строгие определения из учебника (зазубривать их — весьма полезное занятие!). Итак, *ток* (точнее, его величина) *есть количество электрического заряда, протекающее через сечение проводника за единицу времени*: $I = Q/t$. Единица тока называется «ампер», и ее размерность в системе СИ — кулоны в секунду. Знание сего факта пригодится нам позднее.

Куда более запутанно выглядит определение напряжения: *величина напряжения есть разность электрических потенциалов между двумя точками пространства.* Измеряется она в вольтах, и размерность этой единицы измерения — джоуль на кулон, т. е. $U = E/Q$. Почему это так, легко понять, вникнув в смысл строгого опре-

---

[1] В англоязычных источниках часто можно встретить сокращения AC (Alternating Current — «переменный ток») и DC (Direct Current — «постоянный ток»). Русскому «источник питания переменного тока напряжением 12 В» будет соответствовать выражение «AC power source with 12 V voltage». Легко заметить, что здесь кроется то же самое лингвистическое противоречие «напряжение … тока», что и в русском аналоге, но к этому также все давно привыкли.

деления единицы напряжения: *1 вольт есть такая разность потенциалов, при которой перемещение заряда в 1 кулон требует затраты энергии, равной 1 джоулю*.

Всё это наглядно можно представить себе, сравнив проводник с трубой, по которой течет вода (и это будет довольно точная аналогия). При таком сравнении величину тока можно себе представить как количество (расход) протекающей воды за секунду, а напряжение — как разность давлений на входе и выходе трубы. Чаще всего труба заканчивается открытым краном, так что давление на выходе равно атмосферному давлению, и его можно принять за нулевой уровень. Точно так же в электрических схемах существует *общий провод* (или «общая шина» — в просторечии для краткости ее часто называют «землей», хотя это и не точно — мы еще вернемся к этому вопросу позднее), потенциал которого принимается за ноль и относительно которого отсчитываются все напряжения в схеме. Обычно (но не всегда!) за общий провод принимают минусовый вывод основного источника питания схемы.

Итак, вернемся к вопросу, сформулированному в заголовке, — так чем же отличается ток от напряжения? Правильный ответ будет звучать так: ток — это количество электричества, а напряжение — мера его потенциальной энергии. Неискушенный в физике собеседник, разумеется, начнет трясти головой, пытаясь вникнуть, и тогда можно дать такое пояснение. Представьте себе падающий камень. Если он маленький (количество электричества мало), но падает с большой высоты (велико напряжение), то он может наделать столько же несчастий, сколько и большой камень (много электричества), но падающий с малой высоты (напряжение невелико).

## Связь тока и напряжения

На самом деле аналогия с камнем наглядна, но не точна, — труба с текущей жидкостью подходит куда больше. Дело в том, что напряжение и ток обычно связаны между собой. (Слово «обычно» я употребил потому, что в некоторых случаях — в источниках напряжения или тока — от этой связи стараются избавиться, хотя полностью никогда и не удается.) В самом деле, если вернуться к нашей трубе, то легко представить, как с увеличением давления (напряжения) увеличивается количество протекающей жидкости (ток). Иначе зачем нужны были бы насосы? Сложнее представить себе наглядно обратную зависимость — как ток влияет на напряжение. Для этого нужно сначала понять, что такое *сопротивление*.

Вплоть до середины XIX века физики не знали, как выглядит зависимость тока от напряжения. Этому есть одна важная причина. Попробуйте сами экспериментально выяснить, как выглядит график этой зависимости. Схема эксперимента приведена на рис. 1.1, а примерные результаты — на рис. 1.2. Показанные на графике результаты весьма приблизительны, т. к. реальный вид кривой сильно зависит от того, как именно выполнен подопытный проводник («П» на рис. 1.1) — плотно или редко он намотан, на толстый массивный каркас из керамики или на тонкий стакан из бумаги, а также от температуры в комнате, чистоты материала и еще от множества других причин. Именно такое непостоянство и смущало физиков — не только сама кривая загибается (т. е. ток в общем случае непропорционален напряжению), но и

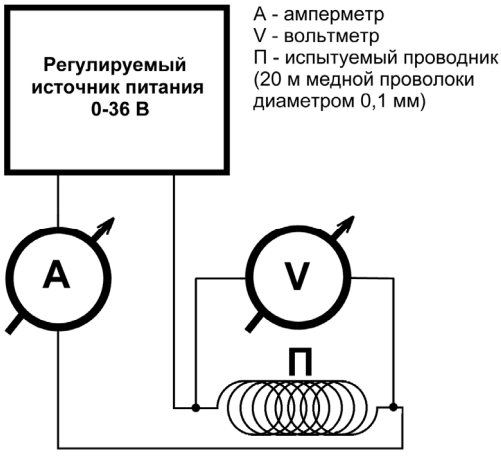



**Рис. 1.1.** Схема эксперимента по проверке закона Ома

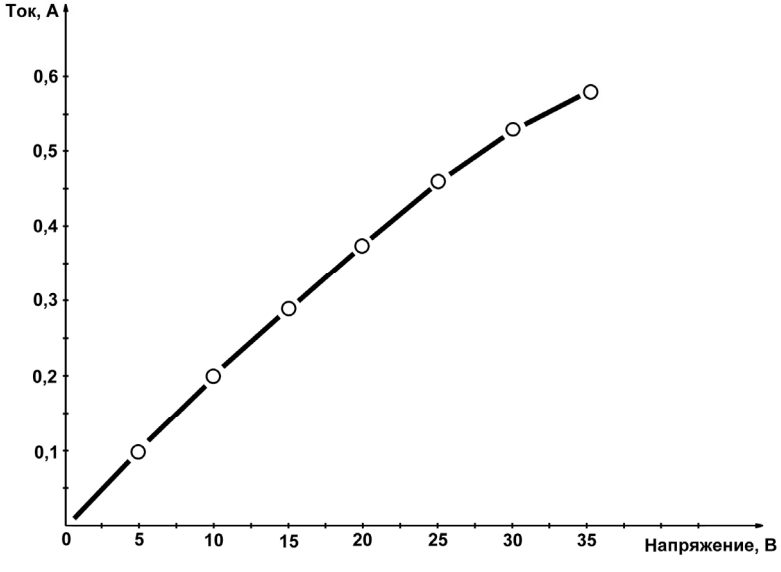



**Рис. 1.2.** Примерные результаты проверки закона Ома

вид и форма этого загиба весьма непостоянны и меняются как при изменении условий внешней среды, так и для различных материалов.

Понадобился гений Георга Ома (рис. 1.3), чтобы за всеми этими деревьями увидеть настоящий лес — а именно понять, что зависимость тока от напряжения описывается элементарно простой формулой: $I = U/R$, а все несуразности, упомянутые ранее, проистекают от того, что величина сопротивления $R$ зависит от материала проводника и от условий внешней среды, в первую очередь от температуры. Так, в нашем эксперименте загиб кривой вниз происходит потому, что при прохождении тока проводник нагревается, а сопротивление меди с повышением температуры

увеличивается (примерно на 0,4% с каждым градусом изменения температуры). А вот сама величина этого нагрева зависит от всего, чего угодно, — намотайте провод поплотнее и заверните его в асбест — он будет нагреваться сильнее, размотайте и поместите на сквозняк — нагрев резко уменьшится.

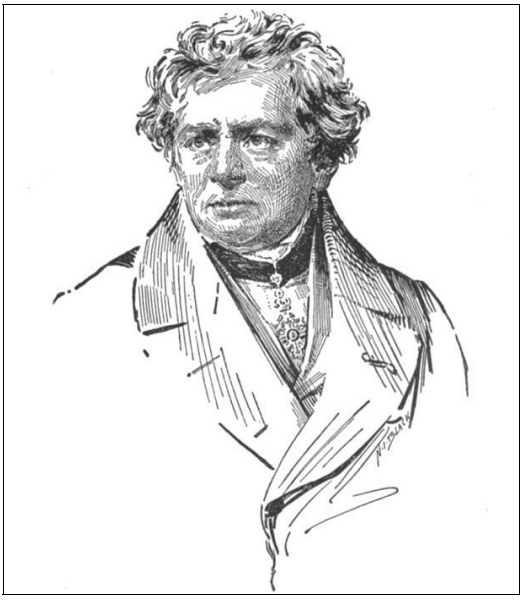


**Рис. 1.3. Георг Симон Ом** (1787–1854) — немецкий физик, член-корреспондент Берлинской академии наук. Окончил Эрландский университет. Преподавал математику, затем физику в различных гимназиях. С 1833 года — профессор Нюрнбергской высшей политехнической школы. В 1849–1952 годах — ректор Мюнхенского университета. Член Лондонского королевского общества

В знак признания заслуг Георга Ома единица измерения сопротивления так и называется — ом (ohm по-английски). Согласно формуле, приведенной в предыдущем абзаце, *1 Ом есть сопротивление такого проводника, через который течет ток в 1 А при напряжении на его концах, равном 1 В*. Обратная сопротивлению величина называется *проводимостью* и измеряется в сименсах, названных так в честь другого немецкого ученого, электротехника и предпринимателя Вернера фон Сименса: 1 *См* = 1/*Ом*. В электронике почти всегда оперируют именно величиной сопротивления, так что сименсы мы оставим для физиков.

#### *Заметки на полях*

Обратите внимание, что *название* единицы измерения «ом» мы пишем со строчной буквы, а ее *обозначение* («Ом») — с прописной. Это общее правило — все обозначения единиц измерения, которые образованы от фамилий ученых, пишутся с прописной буквы: Дж (джоуль), Вт (ватт), В (вольт), А (ампер). В то же время обозначения единиц измерения, которые не образованы от имен собственных, а являются обычными словами, пишутся со строчной буквы: с (секунды), м (метры).

Сопротивление проводника зависит от его геометрических размеров — оно увеличивается пропорционально длине и уменьшается пропорционально площади сечения: $R = \rho \cdot L/S$. Большое практическое значение имеет коэффициент пропорцио-

нальности, обозначаемый буквой ρ (ро), — так называемое *удельное сопротивление* материала проводника. При определенной температуре (обычно берется 20°С) эта величина почти постоянна для каждого материала. «Почти» я тут написал потому, что на самом деле эта величина зависит от химической чистоты и даже от способа изготовления материала проводника (например, формировался ли проводник штамповкой, протяжкой или электрохимическим напылением). Для проводников стараются употреблять очень чистые металлы, скажем, обычный медный провод изготавливают из меди с количеством примесей не более 0,1% (как говорят, с чистотой в «три девятки») — это позволяет уменьшить сопротивление такого провода и избежать лишних потерь на его нагрев.

Удельное сопротивление проводника, по определению, есть сопротивление (Ом) проводника единичной площади (1 $м^2$) и единичной длины (1 м), и если подставить эти величины в формулу, приведенную ранее, вы получите размерность для удельного сопротивления: Ом·$м^2$/м или просто Ом·м. Практически в таких единицах измерять удельное сопротивление страшно неудобно, т. к. для металлов величина получается крайне маленькой — представляете сопротивление куба меди с ребром в 1 м?! На практике часто употребляют единицу в 100 раз больше: Ом·см. Эта величина часто приводится в справочниках (см., например, [2]), но и она не слишком удобна для практических расчетов. Так как диаметр проводников измеряют обычно в миллиметрах (а сечение, соответственно, в квадратных миллиметрах), то на практике наиболее удобна старинная внесистемная единица Ом·$мм^2$/м, которая равна сопротивлению проводника сечением в 1 квадратный миллиметр и длиной 1 метр. Для того чтобы выразить официальный Ом·м в этих единицах, нужно умножить его величину на $10^6$, а для Ом·см — на $10^4$. Подглядев в справочнике величину удельного сопротивления меди (0,0175 Ом·$мм^2$/м при 20°С), мы легко можем вычислить, что сопротивление проводника с параметрами, приведенными на рис. 1.1, составляет около 45 Ом (проверьте!).

Надо сказать, что человечество весьма преуспело в изготовлении специальных материалов, имеющих коэффициент удельного сопротивления, мало зависящий от температуры. Это прежде всего специальные сплавы — константан и манганин, — температурный коэффициент сопротивления (ТКС) которых в несколько сотен раз меньше, чем у чистых металлов. А для обычных стандартных углеродистых или металлопленочных резисторов ТКС составляет приблизительно 0,1% на градус, т. е. примерно в 4 раза меньше, чем у меди (причем, отметьте, что у резисторов он может быть как положительным, так и отрицательным, в отличие от металлов). Есть и специальные прецизионные резисторы (среди отечественных это, например, С2-29В, проволочные С5-54В и др.), у которых этот коэффициент значительно меньше. Есть и другие материалы, у которых температурный коэффициент, наоборот, весьма велик (несколько процентов на градус, и при этом, в отличие от металлов, отрицателен) — из них делают так называемые *термисторы*, которые используют как чувствительные датчики температуры (подробнее о них см. *главу 13*). Однако для точного измерения температуры всё же используют чистые металлы — чаще всего платину и медь. К этому вопросу мы еще вернемся.

# Регулирование тока с помощью сопротивления

Познакомившись, таким образом, с понятием сопротивления и его особенностями, вспомним, для чего мы всё это делали. Ах да, мы же хотели понять, как практически представить зависимость напряжения от тока! Но ведь мы пока не умеем произвольно изменять ток в проводнике, так? Напряжение изменять просто — нужно взять регулируемый источник питания, как это изображено на рис. 1.1, или, на худой конец, набор батареек, при последовательном соединении которых (одной, двух, трех и т. д.) мы получим некий набор напряжений. А вот источников тока (именно тока, а не напряжения) мы еще не имеем. Как же быть?

Выход из этой ситуации показан на рис. 1.4 (заметьте, мы от схематического изображения проводника как катушки из длинной проволоки, имеющей некое сопротивление, перешли к стандартному изображению резисторов, как это делается в настоящих электрических схемах). Здесь мы уже не используем регулируемый источник питания — он нам не нужен. Питается схема от батареи из трех гальванических элементов, например типоразмера D, соединенных последовательно. Каждый такой элемент (если он еще не был в эксплуатации) дает напряжение примерно 1,6 В, так что суммарное напряжение будет почти 5 В, как и указано на схеме (под нагрузкой и по мере истощения элементов напряжение немного упадет, но ошибка в нашем случае не играет большой роли).

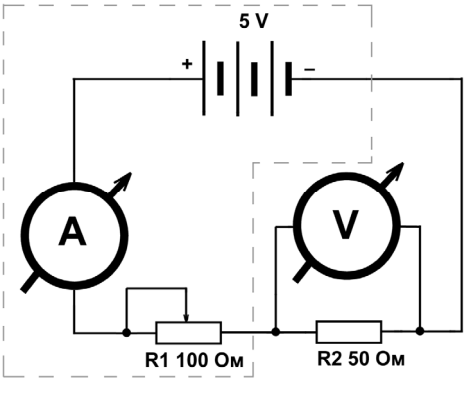



**Рис. 1.4.** Схема для изучения свойств цепи с двумя резисторами

Как работает эта схема? Допустим, что движок переменного резистора R1 (подробнее о переменных резисторах рассказано в *главе 5*) выведен в крайнее правое (по схеме) положение. Проследим путь тока от плюсового вывода батареи: амперметр, вывод движка резистора R1, крайний правый вывод R1, резистор R2, минусовый вывод батареи. Получается, что резистор R1 в схеме как бы не участвует — ток от плюсового вывода батареи сразу попадает на R2 (амперметр, как мы узнаем из *главы 2*, можно не принимать во внимание), и схема становится фактически такой же, как на рис. 1.1. Что покажут наши измерительные приборы? Вольтметр покажет напряжение батареи — 5 В, а показания амперметра легко вычислить по закону

Ома: ток в цепи составит 5 В/50 Ом = 0,1 А, или 100 мА. На всякий случай еще раз напомним, что эти значения приблизительные — реальное напряжение батареи несколько меньше 5 В.

Теперь поставим движок R1 в среднее положение. Ток в цепи теперь пойдет от плюса батареи через амперметр, вывод движка R1, половину резистора R1, резистор R2 и далее, как и раньше, вернется к минусу батареи. Как изменятся показания приборов? Раньше резистор R1 в процессе не участвовал, а теперь участвует, хотя и половинкой. Соответственно, общее сопротивление цепи станет уже не 50 Ом (один резистор R2), а 50 (R2) + 50 (половинка R1), т. е. 100 Ом. Амперметр покажет уже не 100 мА, а 5 В/100 Ом = 0,05 А, или 50 мА — в два раза меньше.

А вот что покажет вольтметр? Так сразу и не скажешь, не правда ли? Придется подсчитать, и для этого рассмотрим отдельно участок цепи, состоящий из R2 с присоединенным к нему вольтметром. Очевидно, что току у нас деться некуда, — всё то количество заряда, которое вышло из плюсового вывода батареи, пройдет через амперметр, через половинку R1, через R2 и вернется в батарею[2]. Значит, и на этом отдельном участке, состоящем из одного R2, ток будет равен тому, что показывает амперметр, — т. е. 50 мА. Получается, как будто резистор R2 подключен к источнику тока! И это действительно так — источник напряжения с последовательно включенным резистором (в нашем случае половинкой R1) представляет собой *источник тока* (хотя и плохой, как мы увидим в дальнейшем). Так каковы же будут показания вольтметра? Очень просто: из закона Ома следует, что $U = I \cdot R$, где $R$ — сопротивление нужного нам участка цепи, т. е. R2, и в нашем случае вольтметр покажет 0,05·50 = 2,5 В. Эта величина называется *падением напряжения*, и в нашем случае — падением напряжения на резисторе R2. Легко догадаться, даже не подключая вольтметр, что падение напряжения на резисторе R1 будет равно тоже 2,5 В[3], причем его можно вычислить двумя путями: как разницу между 5 В от батареи и падением на R2 (2,5 В) или по закону Ома аналогично расчету для R2.

А что будет, если вывести движок переменного резистора R1 в крайнее левое положение? Я сразу приведу результат: амперметр покажет 33 мА, а вольтметр — 1,66 В. Пожалуйста, проверьте это самостоятельно! Если вы получите те же значения, то это будет означать, что вы усвоили закон Ома и теперь умеете отличать ток от напряжения. А более сложными схемами включения резисторов мы займемся в *главе 5*.

Прежде чем пойти дальше, я хочу ответить на вопрос, который, несомненно, у вас уже возник: а как можно себе представить резистор в нашей аналогии с водопроводной трубой? Ток — расход воды, напряжение — давление, а сопротивление? Оказывается, это очень просто, мало того, соответствующая величина в гидравлике называется точно так же: *гидравлическое сопротивление* (*сопротивление потоку*).

---

[2] На самом деле это не совсем точно — часть тока, хотя и очень небольшая, всё же пойдет через вольтметр, минуя R2. Но на практике этим всегда пренебрегают (подробности см. в *главе 2*).

[3] И это не совсем точно — амперметр тоже имеет некоторое сопротивление и может быть представлен как еще один последовательный резистор. Но, как и в случае с вольтметром, этим на практике пренебрегают.

Аналогами резисторов будут всякие устройства, установленные на трубе: краны, задвижки, муфты или просто местные сужения. Определенным сопротивлением обладает и сама труба, причем чем она тоньше, тем ее сопротивление выше, в точности как и с проводником. И точно так же, как на включенном в электрическую цепь резисторе происходит падение напряжения, на этих гидравлических сопротивлениях происходит падение давления, которое пропорционально величине самого сопротивления. Прикрывая кран, мы увеличиваем сопротивление потоку, и расход воды уменьшается, т. е. здесь мы производим в точности то же действие, что и при экспериментах с переменным резистором в электрической цепи.

## Источники напряжения и тока

В схеме на рис. 1.4 мы можем выделить, как показано пунктиром, ее часть, включив туда батарейку и переменный резистор R1. Тогда этот резистор (вместе с сопротивлением амперметра, конечно) можно рассматривать как *внутреннее сопротивление* источника электрической энергии, каковым выделенная часть схемы станет для нагрузки, роль которой будет играть R2. Любой источник, как легко догадаться, имеет свое внутреннее сопротивление (электронщики часто употребляют выражение *выходное сопротивление*) — хотя бы потому, что у него внутри есть провода определенной толщины.

Но на самом деле не провода служат ограничивающим фактором. В *главе 4* мы узнаем, что такое электрическая мощность в строгом значении этого понятия, а пока, опираясь на интуицию, читатель может сообразить сам: чем мощнее источник, тем у него меньше должно быть свое внутреннее сопротивление, иначе всё напряжение «сядет» на этом внутреннем сопротивлении, и на долю нагрузки ничего не достанется. На практике так и происходит — если вы попытаетесь запустить от набора батареек типа AA какой-нибудь большой прибор, питающийся от источника с низким напряжением (вроде настольного сканера или ноутбука), то прибор, конечно, не заработает, хотя формально напряжения должно хватать, — однако это напряжение «сядет» почти до нуля. А вот от гораздо более мощного автомобильного аккумулятора всё получится как надо.

Такой источник, у которого внутреннее сопротивление мало по отношению к нагрузке, называют еще *идеальным источником напряжения*. Физики предпочитают название *идеальный источник ЭДС* (электродвижущей силы), но на практике это абстрактное понятие используется реже, чем менее строгое, но всем понятное «напряжение»[4]. К ним относятся в первую очередь все источники электрического питания: от батареек до промышленной сети. Кстати, для снижения внутреннего сопротивления вовсе не обязательно увеличивать мощность источника напряжения

[4] Электродвижущая сила (ЭДС) — сложное абстрактное понятие, на практике означающее теоретически возможную разность потенциалов на выводах источника при бесконечном сопротивлении нагрузки. Поскольку у самого идеального вольтметра собственное сопротивление бесконечности все-таки не равно, то на практике ЭДС мы измерить не можем, и по этой причине мы всегда имеем дело с напряжением, а не с ЭДС.

до бесконечности — к тому же эффекту приводят специальные меры по стабилизации напряжения, с которыми мы познакомимся в *главе 9*.

Наоборот, *идеальный источник тока*, как нетрудно догадаться, обязан обладать бесконечным внутренним сопротивлением — только тогда ток в цепи совсем не будет зависеть от нагрузки. Понять, как источник реального тока (не бесконечного малого) может обладать бесконечным выходным сопротивлением, довольно трудно, и в быту такие источники вы не встретите[5]. Однако уже обычный резистор, включенный последовательно с источником напряжения (не тока!), как R1 на рис. 1.4, при условии, что сопротивление нагрузки мало (R2<<R1), может служить хорошей моделью источника тока. Еще ближе к желаемому будут транзисторы в определенном включении, и мы с этим разберемся позднее. А с помощью обратной связи и операционных усилителей можно добиться и результатов, близких к теоретическому идеалу, — построить источник тока конечной величины с выходным сопротивлением, весьма близким к бесконечности (см. *главу 9*).

Источники напряжения и тока обозначаются на схемах так, как показано на рис. 1.5, *а* и *б*. Не перепутайте — логики в этих обозначениях немного, но так уж принято. А так называемые *эквивалентные схемы* (их еще называют *схемами замещения*) реальных источников приведены на рис. 1.5, *в* и *г*, где $R_в$ обозначает внутреннее сопротивление источника.

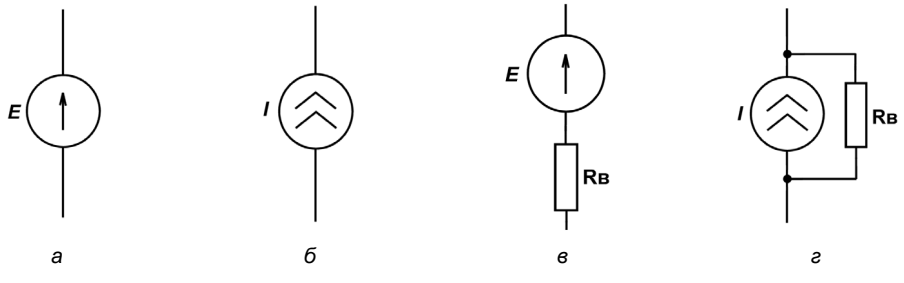
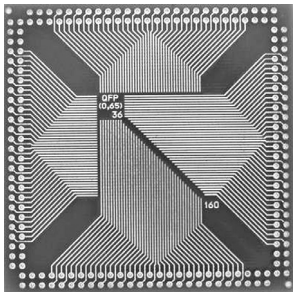



**Рис. 1.5.** Источники тока и напряжения: *а* — обозначение идеального источника напряжения; *б* — обозначение идеального источника тока; *в* — эквивалентная схема реального источника напряжения; *г* — эквивалентная схема реального источника тока

Теперь нам придется отвлечься от схем и разобраться с тем, как оборудовать себе рабочее место. Теоретические знания — это важно, но на практике всё познается куда лучше.

[5] Точнее, встретите, но в неявном виде: источники тока, например, встроены в цоколь светодиодных ламп.



# ГЛАВА 2

# Джентльменский набор

## Оборудуем домашнюю лабораторию

> Затем он сходил на набережную Железного Лома и отдал приделать новый клинок к своей шпаге.
>
> *А. Дюма. «Три мушкетера»*

Скажу сразу: если у вас среди добрых родственников нет олигархов, то оборудовать домашнюю лабораторию по последнему слову техники и не пытайтесь, — она встанет в такую сумму, что домашние еще долго будут вам это вспоминать. Потому делайте всё постепенно — конечно, очень заманчиво купить цифровую измерительную станцию (мультиметр, запоминающий осциллограф, генератор сигналов и т. п. в одном флаконе) стоимостью примерно как подержанный импортный автомобиль в хорошем состоянии, но, уверяю, что для дела это необязательно. Есть, однако, вещи, без которых не обойтись, вот их-то мы и приведем, а затем рассмотрим по очереди.

Итак, вот малый джентльменский набор радиолюбителя:

- ❒ мультиметр;
- ❒ источник питания постоянного тока (два одинаковых однополярных или один двуполярный, иногда требуется и третий источник);
- ❒ осциллограф;
- ❒ генераторы прямоугольных и синусоидальных сигналов.

Указанного достаточно, чтобы повторить все примеры из этой книги, однако в общем случае может понадобиться и иное оборудование (например, если вы собираетесь заняться радиоприемом или телевидением). Но мы остановимся на этом. Причем источники питания и генераторы несложно сделать самому (генераторы — даже предпочтительнее, т. к. они обойдутся вам в день труда и сотню-другую рублей, потраченных на компоненты, а работать будут не хуже, а в некоторых отношениях даже лучше промышленных, и окажутся много удобнее в использовании). В дальнейшем мы всё это сделаем, а пока рассмотрим то, что имеется в продаже.

***Заметки на полях***

Внимательный читатель может заметить, что в списке нет частотомера — прибора для измерения частоты колебаний. В обычной практике он действительно не требуется. Во-первых, его с успехом заменяет осциллограф — даже с помощью простого аналогового осциллографа можно оценить период колебаний с достаточной для практики точностью и притом намного нагляднее, чем это может сделать любой частотомер, а с помощью цифрового тем более. Во-вторых, функцию измерения частоты имеют многие современные мультиметры. И наконец, откалиброванные по точным значениям выходной частоты генераторы сигналов разной формы делают частотомер уж и вовсе не нужным. То есть если частотомер и понадобится, то в задачах, где требуется знать значение частоты с точностью намного большей, чем могут дать упомянутые только что средства (от десятых долей процента для цифровых приборов до единиц процентов для мультиметра или самодельных генераторов из *глав 12* и *16*). А подобный образцовый прибор, для которого в строке «цена» обычно указывается «по запросу», покупать для домашней лаборатории так же нецелесообразно, как приобретать в личное пользование электричку.

# Мультиметр

Его еще часто называют по старинке тестером. Покупать нужно обязательно цифровой и не самый дешевый. На рынке полно миниатюрных китайских мультиметров стоимостью в несколько сотен рублей — их покупать не надо! Как правило, они работают примерно неделю, а потом если не разваливаются, то просто перестают показывать. Но самый главный их недостаток — даже не низкая надежность, а недостаточная точность, которая может быть довольно далека от декларируемых в описании величин.

В интернет-магазинах есть большой выбор приличных универсальных мультиметров. Нас интересует средний ценовой диапазон — высокая цена означает, что в приборе наличествуют не слишком актуальные навороты: связь с компьютером, память или еще что-то в этом роде. Выбирать нужно по количеству функций и диапазонам измерений. Укажем главные функции, без которых не обойтись (в скобках — желательные диапазоны):

- ❒ измерение постоянного напряжения (2 мВ–600 В);
- ❒ измерение постоянного тока (2 мА–10 А);
- ❒ измерение переменного напряжения (1–700 В);
- ❒ измерение переменного тока (20 мА–10 А);
- ❒ измерение сопротивления (100 Ом–10 МОм, функция «прозвонки»).

Все остальные функции, как говорят компьютерщики, опциональны, но пренебрегать ими не следует (располагаю их по степени практической нужности):

- ❒ измерение частоты;
- ❒ измерение емкости;
- ❒ измерение индуктивности;
- ❒ измерение параметров транзисторов;
- ❒ измерение температуры.

Мультиметры работают, как правило, от 9-вольтовой батарейки в типоразмере «Крона». Батарейки хватает надолго, однако у некоторых моделей было замечено, что при снижении напряжения питания ниже допустимого мультиметр не выключается, а начинает врать. Это может стать источником неприятностей и крупных недоразумений, поэтому я советую сразу после покупки разориться на самую дорогую щелочную (alkaline) батарейку фирмы Duracell, Varta, Energizer или, на худой конец, GP, гарантированный срок хранения которой составляет 6–7 лет. В последние годы появились литиевые аналоги «Кроны», которые примерно втрое дороже щелочных, но для этой цели они подойдут еще лучше — у литиевых срок хранения доходит до 10–12 лет. Это будет неплохим вложением денег, учитывая, что батарейка в мультиметре в основном хранится. Этот совет, кстати, относится не только к мультиметрам, а вообще к любой технике, которая должна долго питаться от гальванических элементов, — скажем, к пультам управления телевизорами.

### *Совет*

При покупке мультиметра обратите внимание на наличие функции автовыключения (для экземпляра, изображенного на рис. 2.1, о присутствии такой функции говорит надпись «Auto power off»). Большинство современных мультиметров ее имеют, но, может быть, при некотором опыте обращения с ними вы предпочтете, чтобы ее не было: такой мультиметр имеет привычку выключаться посреди работы как раз в тот момент, когда у вас заняты руки. По крайней мере, перед покупкой стоит ознакомиться с описанием того, как реализована эта функция.

Слабым местом всех мультиметров является функция измерения тока, т. е. режим амперметра. Если вы творчески изучили *главу 1*, то должны легко сообразить, что




**Рис. 2.1.** Типовой мультиметр с дополнительной функцией измерения емкости

амперметр, включаемый всегда последовательно с нагрузкой, должен иметь очень маленькое собственное (внутреннее) сопротивление, иначе на нем образуется большое падение напряжения, что внесет искажения в измеряемую величину тока. Если вы всё же не поняли предыдущую фразу, то вернитесь к рис. 1.4 и перерисуйте его на листочке бумажки так: вместо амперметра нарисуйте резистор $R_A$ (который будет представлять упомянутое внутреннее сопротивление амперметра), а переменный резистор R1 исключите. Вы получите почти точно такую же картинку, как и раньше, только вместо R1 у вас теперь есть $R_A$, и все расчеты будут совершенно аналогичными: чем больше $R_A$, тем меньшее падение напряжения покажет вольтметр на R2 и тем меньше будет общий ток в цепи. Это очень плохо, т. к. оба прибора должны только измерять, но никак не участвовать в процессах, происходящих в цепи. В принципе полностью избежать влияния амперметра не удается, но получается сделать внутреннее сопротивление амперметра достаточно малым, чтобы пренебречь его влиянием.

Вот это-то замечательное свойство амперметров одновременно и является их самым слабым местом — достаточно перепутать и включить амперметр не последовательно, а параллельно источнику питания (подобно вольтметру на рис. 1.1), как через него, в полном соответствии с законом Ома, потечет огромный ток, ограниченный только возможностями источника. Действительно, характерное сопротивление амперметра при измерении больших токов составляет порядка нескольких миллиом, что даже при 5-вольтовом источнике дает токи в 1000 А и более! На самом деле никакой обычный источник питания (включая даже бытовую электросеть) такого тока отдать не сможет, но того, что сможет, будет достаточно, чтобы прибор сгорел.

Однако не отчаивайтесь — обычно в хороших мультиметрах на этот случай внутри стоит плавкий предохранитель, а в самых «продвинутых» — даже самовосстанавливающийся. Поэтому если ваш прибор вдруг перестал показывать ток (а вы можете и не заметить, как случайно подсоединили его в режиме измерения тока к выводам питания), то прежде всего откройте его и проверьте этот самый предохранитель. Кстати, именно для того, чтобы дополнительно защитить мультиметр от описанных неприятностей, клемму для подключения щупа в режиме измерения тока всегда делают отдельной от других.

Теперь немного о режиме вольтметра. От вольтметра, наоборот, требуется максимально высокое сопротивление, иначе часть тока будет проходить через него, т. е. мимо измеряемого участка, что эквивалентно уменьшению суммарного сопротивления этого участка (подробнее о параллельном включении резисторов мы поговорим в *главе 5*, а пока, чтобы понять сказанное, поглядите еще раз на рис. 1.4). Итак, чтобы вольтметр не вносил искажения, его сопротивление делают максимально большим. И это хорошо: по крайней мере, нет такой опасности сжечь прибор, как в случае амперметра, — если вы включите мультиметр в режиме вольтметра в цепь последовательно с источником питания, ток просто не пойдет (точнее, пойдет, но очень маленький). Зато вольтметр можно испортить, если включить его на предел в 1 В, а подсоединить к сети 220 В. Надо сказать, что обычно современные вольтметры выдерживают такое издевательство, но лучше всё же не рисковать и соблюдать следующее правило:

***Внимание!***

Обязательно заранее устанавливайте прибор на тот диапазон, в котором вы собираетесь производить измерения! Если примерное значение величины заранее неизвестно, то следует установить прибор на максимальный диапазон.

Впрочем, если финансовые возможности позволяют, то можно и приобрести мультиметр с автоматическим выбором пределов измерения — в этом случае вам придется заботиться только о том, чтобы не перепутать, что именно вы собрались измерять: ток или напряжение. Такими функциями всегда обладают настольные мультиметры, и они, конечно, для наших целей во всем предпочтительнее универсальных, — если бы только не цена, которая для самых дешевых моделей начинается от 5–10 тыс. рублей.

Кстати, а можно ли обойтись одним вольтметром, если вдруг амперметр сгорел необратимо? Вполне можно. Соорудить амперметр из вольтметра — пара пустяков (как, кстати, и наоборот — просто обычно этого не требуется). Для этого нужно запастись точным резистором с номинальным значением сопротивления, например ровно 1 Ом (это подойдет для измерения токов в единицы-десятки-сотни-тысячи миллиампер, что есть обычное значение для наших схем, для токов в других диапазонах нужен больший или меньший номинал). Мощность этого резистора должна быть как можно выше — не менее 1–2 Вт, а если достанете мощностью в 10 Вт, то это будет просто прекрасно.

***Совет***

Если не сможете приобрести такой резистор, то в крайнем случае можно его изготовить самостоятельно. Лучше всего использовать нихромовую проволоку толщиной 0,2–0,4 мм. Из подобной проволоки раньше делались спирали для отечественных утюгов и электроплиток, а также паяльников. Сейчас нихромовую проволоку можно приобрести в «Чипе-Дипе», а также в интернет-магазинах, торгующих аксессуарами к электронным сигаретам, — из нее делаются спирали испарителей. Возьмите кусок этой проволоки подлиннее (как минимум несколько метров) и измерьте его сопротивление (его-то ваш мультиметр еще не потерял способность измерять?). Величина эта составит порядка нескольких десятков ом. Затем растяните и измерьте рулеткой длину. Поделив одно на другое, вы получите сопротивление проволоки в омах на погонный метр (должна получиться величина порядка единиц Ом/м, в зависимости от диаметра). Осталось отмерить (как можно точнее) нужный кусок, соответствующий одному ому (скорее всего получится порядка 4–12 см), свернуть его спиралькой, намотав на карандаш и затем аккуратно сняв, — и сопротивление (причем достаточно точное) готово. Чтобы оно было более долговечным, следует взять любой крупный резистор достаточно высокого сопротивления (более нескольких сотен ом), намотать на него этот отрезок нихрома так, чтобы витки не касались друг друга, и туго обернуть его кончики вокруг имеющихся выводов. Затем их следует пропаять с помощью кислотного флюса (см. *главу 3*).

Теперь включите этот одноомный резистор последовательно в измеряемую цепь, а параллельно ему подключите вольтметр, как показано на рис. 2.2. Величина тока в цепи будет численно равна показаниям вольтметра (если вольтметр установлен на диапазон в вольтах, то, значит, ток в амперах, если в милливольтах — то в миллиамперах). Думаю, вы легко сообразите, почему это так, и сами сможете придумать, как подсчитать напряжение, если резистор имеет номинал, отличающийся от 1 Ом.

Кстати, с помощью подобного приема с резистором можно расширить диапазон измерения токов и у исправного мультиметра. В *главах 21* и *22* мы будем проекти-

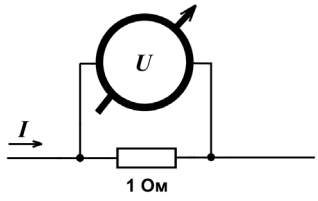



**Рис. 2.2.** Схема измерения величины тока с помощью вольтметра

ровать автономные датчики на AVR-контроллерах, которые потребляют в спящем состоянии очень небольшие токи (порядка нескольких единиц или десятков мкА), и с помощью обычного мультиметра их померить будет невозможно. Однако можно просто включить последовательно с источником питания резистор 10 или 100 Ом, тогда на диапазоне милливольт можно измерять ток в сотнях или десятках мкА. Погрешность такой резистор будет вносить минимальную: при токе 1 мА даже на 100 омах падает всего 0,1 вольта.

***Совет***

Одновременно с мультиметром приобретите подходящие для него зажимы «крокодилы» (с запасом — они легко теряются). С ними ситуация обычно такая: чаще всего стандартные отечественные «крокодилы» не подходят, а «родные» импортные слишком громоздкие и очень плохо держатся на измеряемом проводе. В этом случае рекомендуется либо, если возможно, подогнуть отечественные, чтобы они держались на импортном щупе, либо просто откусить импортные наконечники от проводов и заменить их отечественными штекерами, на которых «крокодил» держится очень крепко. При этом вы лишаетесь фирменного заостренного щупа, но его легко изготовить из «крокодила», причем он будет даже лучше оригинального — плотно зажмите с помощью плоскогубцев (а еще лучше пропаяйте мощным паяльником) в «крокодиле» толстую швейную иглу и натяните на нее изолирующую термоусадочную трубку, оставив свободными только несколько миллиметров кончика иглы. Сам «крокодил» тоже нужно изолировать — можно использовать более толстый термоусадочный кембрик или обмотать липкой эластичной полихлорвиниловой лентой (но не скотчем!). Этот же щуп удобно использовать для осциллографа.

Более подробно об особенностях проведения измерений в различных случаях мы поговорим в соответствующих главах, а сейчас продолжим обсуждать оборудование нашей лаборатории.

# Источник питания

Лабораторный источник питания, как я уже говорил ранее, не представляет особых трудностей сделать самому (см. *главу 9*), но вы пока этого не умеете, а хотя бы один источник понадобится сразу — например, для того, чтоб отладить собственные. Поэтому его следует приобрести. Можно, конечно, приобрести и три источника, но к собственноручной сборке я призываю не столько в целях экономии денег, и даже не из педагогических соображений, но еще и потому, что собранный нами источник будет именно таким, какой нам нужен. Если мультиметры (о которых мы говорили в предыдущем разделе) и осциллографы (о которых пойдет речь далее) не имеет

никакого смысла собирать самому, потому что лучше и дешевле промышленных вы наверняка не сделаете, то источники питания и генераторы — совсем другое дело.

Заметим, что во время отладки простых устройств на основе Arduino, не содержащих много потребляющих компонентов, можно вообще обойтись без отдельного источника — плата питается от компьютера через порт USB. Как временный выход из положения можно рекомендовать источники, встроенные в сетевую вилку с фиксированным напряжением на выходе. Если вы занимаетесь одним лишь Arduino, то для начала работы только один такой источник и понадобится — стабилизированный или даже нестабилизированный на напряжение 7–9 В и ток 1–1,5 А, с круглым разъемом диаметром 5,5 мм на выходе (рис. 2.3, *слева*). Подобный источник следует покупать у тех же продавцов, что торгуют Arduino-модулями: в «Чипе-Дипе», «Амперке» или аналогичных магазинах. Некачественный дешевый источник, купленный у случайного торговца, может обойтись слишком дорого.

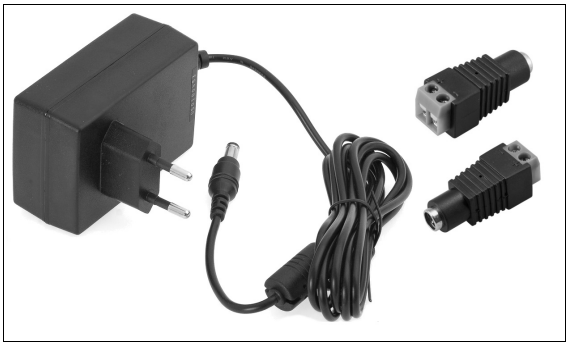


**Рис. 2.3.** Источник, встроенный в вилку (*слева*), и ответные разъемы для него с клеммной колодкой (*справа*)

### *Совет*

Не выбрасывайте адаптеры от отслужившей свой срок мобильной техники! Чаще всего они имеют выходное напряжение около 5 вольт, которое вполне годится для многих радиолюбительских целей. У них можно аккуратно заменить разъем на стандартный 5,5 мм, но можно и использовать только внутренности, встроив в свою аппаратуру. Корпус такого адаптера аккуратно, чтобы не задеть содержимое, распиливается по периметру ножовкой по металлу, затем плата отсоединяется от сетевых контактов. Получаете готовый модуль питания от сети, который обычно имеет весьма высокие характеристики: так, некоторые фирмы прилагают к своим мобильникам импульсный источник 5 В с выходным током до 1,5 А, который практически не греется и не потребляет лишней энергии. Речь тут идет о типах зарядников, которыми комплектовались старые кнопочные телефоны, например популярной когда-то фирмы «Nokia». Зарядники от таких телефонов никуда больше не годятся. Более современные с разъемами mini- и microUSB в принципе можно для каких-то целей использовать (см., например, зарядные устройства для Li-ion аккумуляторов на рис. 9.6), но все такие девайсы сейчас переводят на гораздо более удобные разъемы USB-C, потому зарядники с разъемами старых стандартов также можно пускать на запчасти для своих целей.

Для подключения подобного источника к беспаечной макетной плате можно использовать гнездо разъема 5,5 мм с установленной прямо на нем клеммной колод-

кой для зажима проводов (рис. 2.3, *справа*). Напряжение 3,3 В, требующееся для некоторых модулей, обычно обеспечивают сами платы Arduino или модули расширения для них — «шилды» (shields).

Но уже для подключения различных нагрузок может понадобиться источник с другим выходным напряжением и/или мощностью, а для ряда работ потребуется отдельный стабилизированный источник 5 или 3,3 В. В Arduino имеется свой встроенный стабилизатор 5 В, и именно поэтому вход внешнего питания Vin нужно подключать к более высокому напряжению (см. *главу 19*). Так что одним источником, даже если не выходить за рамки Arduino, вы всё равно не обойдетесь. А для большинства применений за пределами платформы Arduino (которым и посвящена значительная часть этой книги), понадобится отдельный стабилизированный источник, лучше с двумя независимыми регулируемыми выходами как минимум от 3 до 12 В (обычно это просто два источника в одном корпусе, которые можно соединить по клеммам).

В продаже имеются регулируемые стабилизированные источники с набором выходных напряжений от 3 до 12 вольт в исполнении «встроенные в вилку». На крайний случай можно приобрести два таких источника, хотя пользоваться ими крайне неудобно, а качество вызывает вопросы: ползунковый переключатель на таких источниках при частом пользовании быстро выходит из строя. Потому предпочтительно либо соорудить двухполярный источник самостоятельно (см. *главу 9*), либо приобрести готовый в настольном исполнении.

Если будете приобретать готовый, то учтите, что напряжение на выходе должно регулироваться не плавно, а ступенчато, что позволяет устанавливать точное значение напряжения без дополнительного контроля. Настольный источник лучше выбирать с диапазоном от нуля до 20–24 В (заодно он может служить для подключения микродрели). Что же касается выходного тока, то смотрите по средствам, но в любом случае желательно иметь источник как можно мощнее: 1–2 А нам будет, пожалуй, хватать для большинства наших экспериментов, но запас иметь никогда не помешает.

Для бóльших токов можно самостоятельно соорудить простейший нестабилизированный источник на мощном трансформаторе с диодным мостом и конденсатором, как описано в *главе 9*, — стабилизация для таких применений обычно не важна, а мощные источники стоят существенно дороже обычных.

#### *Подробности*

С выходным током у готовых источников надо разобраться отдельно — дело в том, что существует несколько типов источников. Встроенные в вилку источники чаще всего имеют режим ограничения тока, но в этом режиме они быстро перегреваются и могут выйти из строя. У самых простых настольных источников при превышении указанного в характеристиках максимального тока срабатывает внутренняя защита, и нагрузка отключается. Это не очень удобно, и вот почему: многие нагрузки, включая и определенную часть приведенных в этой книге устройств, в момент включения в течение некоторого времени (от миллисекунд до секунд) потребляют ток, значительно превышающий номинальное потребление (обычно он принимается как минимум равным удвоенному номинальному току). Объясняется это тем, что в первый момент либо заряжается фильтрующий конденсатор источника питания, либо, как в случае, ска-

жем, подключения микродрели, большой ток призван раскрутить движок до номинальных оборотов, после чего потребление тока резко снижается. Если используется источник с ограничением тока, то это приводит просто к замедлению пуска нагрузки, а если с отключением нагрузки, то отключение это чаще всего успевает сработать до того, как потребляемый ток снизится до приемлемого уровня. В результате вы попадаете в замкнутый круг — источник номинально может обслуживать вашу нагрузку, а фактически включить ее не получается.

Более «продвинутые» источники ограничивают ток на указанном уровне (т. е. фактически превращаются в источник тока, а напряжение при этом зависит от нагрузки), и иногда еще умеют отключать нагрузку вовсе, если в ней наблюдается короткое замыкание. Такие источники гораздо удобнее. Чаще всего величину тока ограничения можно тоже, как и напряжение, регулировать, потому подобные источники сразу можно отличить по внешнему виду — в них имеются отдельные ручки регулирования напряжения и тока (часто даже по две на каждый параметр: для грубой и точной установки).

Для подключения мощной нагрузки с заданием предельного значения тока удобно также использовать источник для зарядки автомобильных аккумуляторов. Только нужно выбрать обязательно такой, в котором имеется ручка-регулятор и амперметр для ручной установки значения тока — полностью автоматические зарядники здесь не подойдут. Перед покупкой проверьте, чтобы в паспорте было указано «можно использовать как многоцелевой блок питания для электронных приборов». В пределах нагрузки от нуля до установленного значения тока такой источник выдает примерно 15 вольт с хорошей стабильностью. Только следует учесть, что у некоторых старых конструкций зарядников напряжение на выходе нефильтрованное (пульсирующее), поэтому на входе вашей схемы по выводам питания должен быть установлен конденсатор достаточно большой емкости.

# Осциллограф

Осциллограф — прибор, который позволяет увидеть на экране всё, что происходит с напряжением в наших схемах. В некоторых случаях это вещь почти незаменимая. При работе со звуком и другими аналоговыми сигналами без него обойтись невозможно. Цифровая техника снизила потребность в наглядном представлении сигналов, поэтому на элементарном уровне без осциллографа можно обойтись, но с ним ваша жизнь станет значительно комфортнее. Мало того, во многих случаях он может заменить и мультиметр.

Но одновременно это будет и самое дорогое ваше приобретение. Портативный прибор с ЖК-экраном можно приобрести за несколько тысяч рублей, но вы быстро убедитесь, что пользоваться таким устройством не слишком удобно, а цена настольных конструкций начинается от 10 тысяч рублей и уходит далеко в бесконечность. Еще недавно выбор предстоял между традиционным аналоговым и современным цифровым прибором, но сейчас его уже практически нет: аналоговые приборы сошли со сцены.

Цифровые осциллографы имеют намного больше возможностей, и о них мы поговорим далее в этой главе. Но все-таки начнем с рассмотрения принципов обычного

аналогового прибора, потому что устройство традиционного осциллографа всё равно полезно изучить каждому знатоку электроники.

Как работает простейший аналоговый осциллограф? Главная его деталь — электронно-лучевая трубка (cathode ray tube, CRT), аналогичная той, что использовалась в старинных черно-белых телевизорах, только носящая специальное название «осциллографической». Если не углубляться в физику, то принцип ее работы можно пояснить картинкой, показанной на рис. 2.4, *а*. В узком конце трубки расположена так называемая *электронная пушка*, излучающая узкий поток электронов, разогнанных до большой скорости. Попадая на экран, покрытый изнутри люминофором, он образует маленькую светящуюся точку (в отличие от телевизионных трубок, где люминофор светится белым, здесь часто используется люминофор зеленого или, например, синего свечения, причем обычно с небольшим послесвечением — луч как бы оставляет за собой постепенно затухающий след). Пластины X служат для развертки луча по горизонтали — на них подается пульсирующее напряжение пилообразной формы (его график приведен на рис. 2.4, *б*). В результате в отсутствие напряжения на пластинах Y луч прочерчивает горизонтальную линию, начинающуюся у края экрана слева и заканчивающуюся у его правого края.

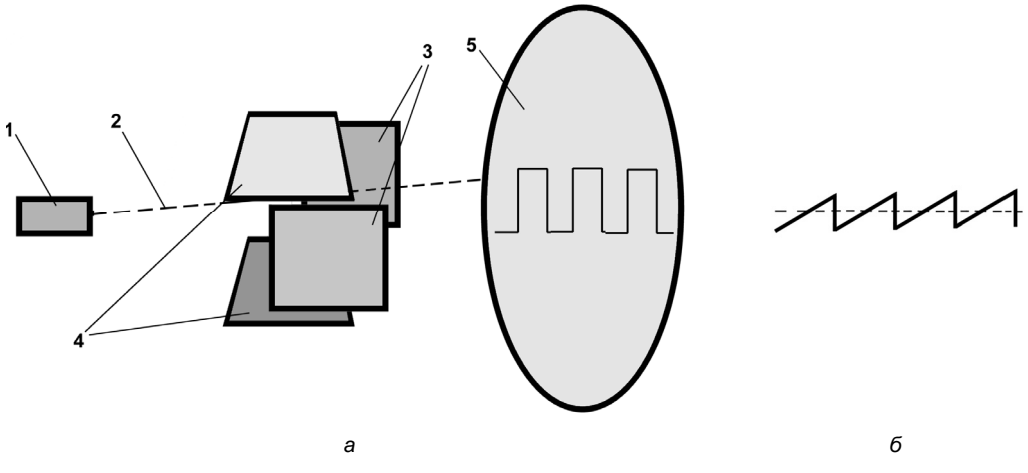



**Рис. 2.4.** *а* — принцип работы осциллографической трубки: 1 — электронная пушка, 2 — электронный луч, 3 — горизонтальные отклоняющие пластины X, 4 — вертикальные отклоняющие пластины Y, 5 — экран с люминофором; *б* — форма напряжения развертки на пластинах X

Если теперь подать напряжение на пластину Y, связанную через регулируемый усилитель со входом осциллографа, то луч будет сдвигаться вверх или вниз в зависимости от знака поданного напряжения, рисуя на экране график, соответствующий изменениям формы входного напряжения во времени. В простейшем случае, если на вход Y подано постоянное напряжение, отличающееся от нуля, то линия просто сдвинется, но останется горизонтальной. Поверх экрана размещается координатная сетка, по которой можно узнать все характеристики видимого сигнала: его размах в вольтах и период изменения во времени (о периодах сигналов говорится в *главе 4*).

Основных управляющих ручек у простого аналогового осциллографа как минимум четыре (см. фото панели малогабаритного осциллографа С1-73 на рис. 2.5). Две ручки, обычно помеченные стрелочками вверх-вниз и вправо-влево (на рис. 2.5 сверху по обе стороны экрана), позволяют устанавливать линию развертки в отсутствие сигнала в нужное начальное положение — например, по центру экрана. Для того чтобы при этом быть уверенным, что сигнала действительно нет, обычно имеется специальная кнопка или переключатель, помеченная символом «земли», которая отключает вход Y от входной клеммы и замыкает его на корпус, соединенный с общим проводом («землей») прибора. На рис. 2.5 это переключатель слева внизу под надписью «Усиление» — в среднем положении он как раз и замыкает вход Y на «землю».

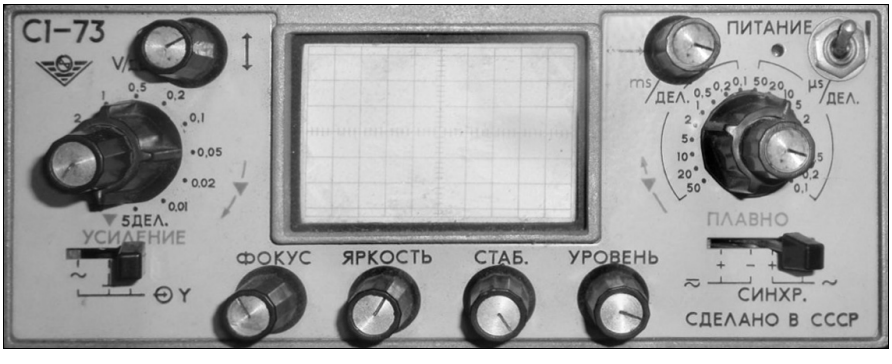



**Рис. 2.5.** Панель малогабаритного аналогового осциллографа С1-73

Две другие ручки, представляющие собой переключатели с большим числом фиксированных положений, позволяют управлять временем развертки (на рис. 2.5 справа от экрана) и усилителем входного сигнала (слева от экрана), для того чтобы увидеть сигнал в удобном масштабе по обеим осям. У этих переключателей против каждого положения написаны значения времени (для развертки) и напряжения (для усилителя Y), которые соответствуют одному делению координатной сетки экрана. Таким образом, осциллографом можно довольно точно измерять период (частоту) сигнала и его размах. Поверх этих переключателей выступают ручки, позволяющие плавно менять заданную величину развертки или усиления вблизи установленного переключателями значения (точному установленному значению соответствует крайнее правое положение этих ручек).

Кроме этих основных управляющих элементов, у аналогового осциллографа обычно имеются еще вспомогательные: для управления яркостью луча и его фокусировкой (т. е. размерами пятна на экране) — они видны на рис. 2.5 внизу. Если бы мы продолжали знакомиться с аналоговым прибором, то обязательно следовало бы остановиться на регулировке синхронизации: на рис. 2.5 это две ручки с подписями «СТАБ.» (стабильность) и «УРОВЕНЬ», а также переключатель справа внизу с подписью «СИНХР.» (синхронизация). К счастью, у цифровых осциллографов, в силу принципиально иного механизма отображения на экране, проблемы с синхронизацией отсутствуют, и изучать это искусство нет необходимости.

С электрической точки зрения осциллограф представляет собой вольтметр, т. е. имеет высокое входное сопротивление (стандартно — 1 МОм, хотя есть специальные высокочастотные осциллографы, которые имеют входное сопротивление 50 Ом, — естественно, они для наших целей не годятся), поэтому наводка от сети и других помех может быть весьма значительна. Если такое входное сопротивление всё же слишком мало (что бывает при исследовании схем с очень малыми токами), то следует использовать прилагаемый к осциллографу или приобретаемый отдельно щуп с делителем 1:10. При этом входное сопротивление возрастает соответственно до 10 МОм, а величину сигнала на экране нужно умножить на 10. Этим же щупом следует пользоваться, если требуется исследовать сигналы высокого напряжения, например сетевого (220 В), т. к. у аналоговых приборов имеющейся шкалы обычно не хватает, и большая часть сигнала сверху и снизу при использовании простого щупа окажется за пределами экрана. Производители не рекомендуют насиловать входной усилитель такими высокими напряжениями, и хотя лично мне ни разу не удавалось сжечь вход осциллографа, всё же к рекомендациям изготовителей нужно прислушиваться.

При подсоединении щупа к исследуемой схеме нужно помнить, что корпус осциллографа «заземлен», т. е. соединен с общим проводом щупа, потому он не должен касаться корпусов источников питания и других приборов, — довольно часто бывает, что нужно разглядеть сигнал не относительно общего провода схемы, а, скажем, относительно шины питания.

> ***Внимание!***
>
> При исследовании узлов, напрямую связанных с бытовой сетью 220 В, нужно соблюдать особую осторожность: осциллограф обязательно должен стоять на сухом изолирующем основании, ни в коем случае нельзя касаться каких-либо металлических предметов (скажем, корпуса стоящего рядом компьютера), и за его металлические части, включая элементы щупа, ни в коем случае нельзя браться руками! Если вам придется проводить подобные операции, то последовательность их проведения такая:
>
> - отключить питающее схему напряжение (обязательно оба сетевых провода);
> - надежно подсоединить щуп к измеряемой схеме, используя зажимы «крокодилы» и следя за тем, чтобы они не касались проводников и держались как можно прочнее;
> - включить напряжение, держа руки подальше, и наблюдать сигнал;
> - при необходимости изменения параметров развертки, усиления и синхронизации внимательно следить за тем, чтобы в ажиотаже не задеть зажимы «крокодилы» и не коснуться металлических частей корпуса;
> - при необходимости перенести щупы в другое место схемы снова полностью выключить питание и повторить операции.

За исключением синхронизации, в остальном цифровой осциллограф мало отличается по управлению от аналогового. Принцип работы цифрового осциллографа основан на очень быстрой, с частотой в десятки и сотни мегагерц, оцифровке входного сигнала (см. *главу 17*). Отобразить полученный массив цифр в виде графика на дисплее — задача тривиальная и хорошо отработанная в компьютерной технике. Так как сам цифровой осциллограф уже есть маленький компьютер, его ничего не стоит обучить многим вещам: показывать в цифровой форме напряжение и время

в указанной точке, анализировать спектры, производить над осциллограммами математические операции, сохранять график в памяти, передавать данные в «большой» компьютер и т. п. Кроме всего прочего, большинство цифровых осциллографов являются двухканальными, т. е. могут демонстрировать одновременно два сигнала — особенность, для реализации которой ранее приходилось изобретать специальные двухлучевые ЭЛТ сложнейшей конструкции или быстро-быстро переключаться между сигналами (двухканальные осциллографы).

Примерами цифровых устройств могут служить весьма продвинутые и относительно недорогие модели цифровых осциллографов Owon китайской фирмы Lilliput, самая дешевая модель из которых — SDS1022 с предельной частотой сигнала 20 МГц — с избытком годится для большинства любительских и профессиональных целей.

На **Aliexpress.ru** предлагается ряд моделей портативных/карманных цифровых осциллографов с экранами 2–2,4 дюйма по очень щадящим ценам от 40–60 долларов США. О них мы уже упоминали ранее. Декларируемые характеристики, как правило, у них вполне приличные, а насчет удобства пользования — тут, как говорится, каждому свое. Разумеется, по функционалу эти осциллографы отвечают начальному уровню, но, с другой стороны, описанный ранее аналоговый С1-73 мало чем их превосходит, а ряд функций (таких как синхронизация) у цифровых моделей реализован лучше просто по принципу работы. Потому в качестве первого осциллографа для новичка их вполне можно рекомендовать.

В качестве отличного компромисса можно приобрести цифровой осциллограф-приставку к компьютеру, часто также называемую *осциллографом-ручкой* (Pen-type Oscilloscope, рис. 2.6). «Ручка» подключается к порту USB, позволяет наблюдать

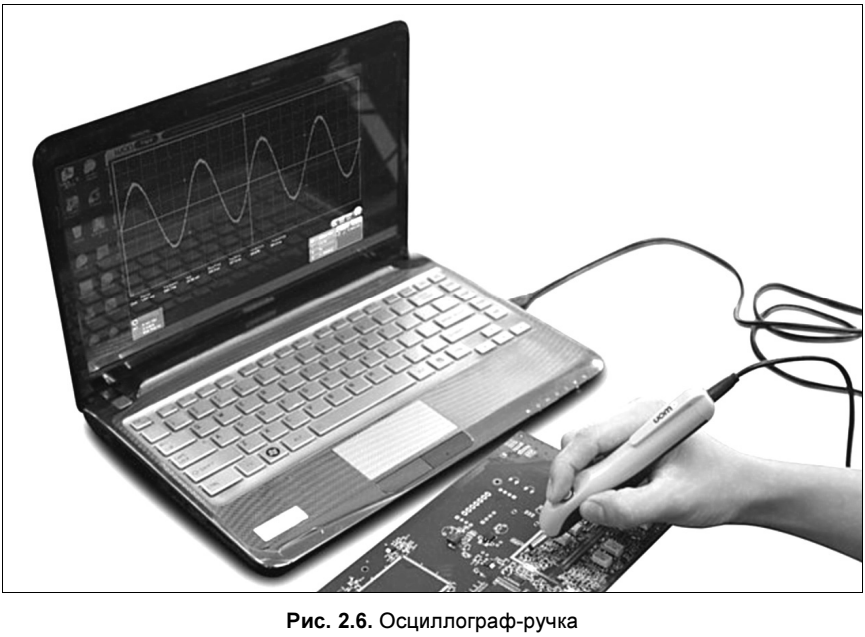
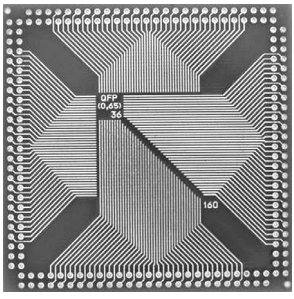


**Рис. 2.6.** Осциллограф-ручка

сигнал на большом экране ПК и управлять настройками с помощью мыши. Обладая всеми характеристиками довольно продвинутых цифровых моделей (выборка, пиковый детектор, усреднение, память на несколько осциллограмм, полоса пропускания в десятки мегагерц), осциллограф-приставка в разы дешевле настольных цифровых моделей и по стоимости не превышает упомянутые портативные/карманные образцы. При этом я очень не советую городить самостоятельно и тем более приобретать самодельные конструкции такого рода — в деньгах, может быть, вы и выиграете, но времени на доводку изделия «до ума» потратите немерянно, если вам вообще это удастся: осциллограф — прибор, простой только по принципу работы, а определяющая часть его функциональности заключается во всяких тонкостях и нюансах, дилетантскому подходу не поддающихся.

Ну а теперь перейдем к технологическому оснащению нашей домашней лаборатории.



# ГЛАВА 3

# Хороший паяльник — половина успеха

## Инструменты и технологические советы

> На следующий день д'Артаньян поднялся в пять утра, сам спустился в кухню, попросил достать ему кое-какие снадобья, точный список которых не дошел до нас, к тому же еще вина, масла, розмарину, и, держа в руке рецепт, данный ему матерью, изготовил бальзам, которым смазал свои многочисленные раны, сам меняя повязки и не допуская к себе никакого врача.
>
> *А. Дюма. «Три мушкетера»*

Есть такой эмпирический закон, известный под названием «закона Мерфи», который встречается во множестве вариантов, но его основную мысль можно сформулировать так: всегда полагайтесь на худший из возможных исходов. В моей практике этот закон не нарушался никогда — например, при отказе некоего устройства обязательно следует предполагать, что поломка произошла как минимум в двух местах. И это невероятное предположение, противоречащее основным положениям теории надежности, обычно оправдывается на практике!

Я веду вот к чему — чем больше мелочей вы предусмотрите заранее, тем надежнее будут работать ваши приборы. Кстати, в радиоэлектронике также в полной мере оправдывается правило, которое заметили еще авиаконструкторы: красивый самолет имеет и лучшие летные качества. Аккуратно и эстетично смонтированный прибор будет работать лучше и надежнее — этому можно отыскать и вполне рациональные объяснения. Например: если у вас соединительные провода между блоками имеют произвольную длину и толщину и кое-как запиханы в корпус прибора, напоминая мочалку для мытья посуды, то велика вероятность того, что вы зацепите тот или иной провод при сборке, и он просто оторвется. А если этот провод слишком толстый и жесткий, то и цеплять не надо — пайка отломится при малейшей попытке отогнуть провод в сторону. Наоборот, слишком тонкий и мягкий провод будет цепляться за всё подряд и обязательно попадет под крепежные винты. Кроме того, слишком длинные и хаотично расположенные проводники могут в некоторых случаях привести к неработоспособности схемы из-за самовозбуждения.

Ни в коем случае не берите за образец сборку настольных компьютеров — там совершенно другая технологическая база, и спроектировано всё настолько надежно, что хаотичное расположение кабелей в корпусе уже помешать работоспособности не может, разве что провода попадут в вентилятор. Хотя в фирменно собранных ПК кабели всё же убирают в аккуратные жгуты. «На коленке» такого уровня достичь сложно, потому берите лучше пример со старой отечественной военной сборки, которая немногим отличалась от «наколеночной», но тем не менее всё же достаточно надежно работала.

Для того чтобы монтаж и сборка были на уровне, оборудовать свою домашнюю лабораторию надо как можно лучше. Это не значит, что нужно покупать самые дорогие фирменные инструменты. Вовсе не так — двухсотрублевые (в современном исчислении) китайские[1] пассатижи-утконосы служат автору верой и правдой уже двадцать пять лет. И отечественный паяльник с деревянной рукояткой может исполнять свои функции ничуть не хуже импортного. Правда, то же самое нельзя сказать про дешевые сверла или напильники, но сейчас нам важно другое — применяемый инструмент должен точно соответствовать той операции, для которой мы его используем. Если мы попытаемся припаять провод к толстому стальному стержню с помощью 18-ваттного паяльника с жалом, заточенным под распайку выводов микросхем, и с использованием канифоли в качестве флюса, то, помучившись с полчасика, мы, возможно, добьемся своего, но гарантии, что пайка не отвалится, если дернуть за провод посильнее, не будет.

## Инструменты и материалы

Далее — (неполный) список того, что желательно бы иметь всегда под рукой. Я исключил из него слесарные инструменты вроде тисков (в том числе ювелирных), обычных отверток (в том числе со сменными жалами разной формы) и напильников (в том числе алмазных надфилей), приведя лишь позиции, специфичные для процесса монтажа и отладки собственно схем (хотя и напильники в этом процессе иногда тоже участвуют, не говоря уже об отвертках). Не пугайтесь столь длинного перечня — даже он не исчерпывает всех необходимых мелочей, но в большинстве своем это недорогие (кроме электроинструмента) и легкодоступные вещи. Чуть позже мы рассмотрим некоторые позиции подробнее.

❒ Инструменты:

- три паяльника разной мощности с подставкой;
- микродрель с набором цанговых зажимов (0,5–3 мм) и набором сверл (0,5–3,0 мм);

[1] В этой книге не раз еще будут упомянуты различные изделия «Made in China» — как с положительной интонацией, так и с отрицательной. Прошу китайских товарищей не обижаться на последнюю — в Китае действительно делают образцы как самых плохих, так и самых качественных товаров в мире. Более того, в последние годы стало появляться всё больше уникальных товаров, которые разработаны и выпускаются *только* в Китае.

- обычная электродрель или шуруповерт с патроном от 1,5 до 13 мм;
- набор торцевых головок от 3 до 13 мм (включая 4, 4,5, 5, 5,5 и 6 мм)
- медицинский пинцет;
- бокорезы;
- малогабаритные пассатижи с узкими губками («острозубцы»);
- лупа диаметром 5–7 см;
- часовые отвертки;
- скальпель или канцелярский резак;
- некоторые *специальные* инструменты (см. далее).

❒ Расходные материалы:

- припой свинцово-оловянный ПОС-30 (40) в прутке (без канифоли);
- припой свинцово-оловянный ПОС-61 в проволоке диаметром 1 мм с канифолью;
- активный флюс;
- пассивные флюсы (в т. ч. канифоль в кусочках и ее спиртовой раствор);
- шкурка (самая мелкая на бумажной основе и покрупнее — на тканевой);
- «Раствор спиртовой технический»;
- чистый бензин (типа «Галоша» или «для зажигалок»);
- ацетон или аналогичный растворитель (646 или 647);
- клеи «Момент-кристалл» и «Момент-гель» (или клей-герметик в тюбике);
- фольгированный стеклотекстолит толщиной 1,5 мм;
- готовые макетные платы под пайку компонентов;
- беспаечная макетная плата;
- термопаста;
- кембриковые (изолирующие) трубки (термоусадочные и обычные) диаметром 1,5–20 мм;
- клейкая полихлорвиниловая изоляционная лента черного и белого цвета;
- скотч;
- водостойкие фломастеры (1 и 2,5 мм).

К *специальным* следует отнести различные инструменты, например:

❒ клещи для зачистки проводов (стрипперы) — очень советую приобрести, только перед покупкой проверьте, чтобы зачищать можно было даже самый тонкий провод (диаметром 0,12–0,14 мм);

❒ отсос для расплавленного припоя (он может пригодиться при демонтаже микросхем);

- обжимные клещи для плоских кабелей, кримперы для различных разъемов и т. п.;
- электромонтажный фен для пайки SMD-компонентов, к нему также потребуется паяльная паста (см. далее *разд.* «*Новые подходы в любительском конструировании*»).

Конечно, не всё из указанного вам потребуется немедленно. Большинство пунктов не требуют пояснений, но некоторые стоит рассмотреть подробнее. Сначала — пара слов о двух наиболее употребительных вещах, которые всегда должны быть под рукой: бокорезах и пинцете.

- **Бокорезы** — т. е. малогабаритные кусачки с губками, расположенными вертикально или под 45°, — должны иметь острые, а не закругленные концы, быть сделанными из хорошей стали (бокорезы из маникюрного набора не подойдут решительно), а лезвия должны точно, без перехлеста, сходиться (рис. 3.1). Для проверки качества посмотрите через сомкнутые лезвия на свет — никакой щели наблюдаться не должно. Хорошо подогнанные и заточенные бокорезы должны резать бумагу. Долго будут служить имеющиеся кое-где в продаже бокорезы из твердого сплава (если у них лезвия хорошо подогнаны друг к другу, то ими можно кусать даже кевларовую нить, которая обычным ножницам и резакам не поддается). Однако, какого бы качества лезвия ни были, не следует кусать такими бокорезами стальную и даже толстую медную проволоку — для этой цели следует иметь обычные слесарные или электромонтажные кусачки. Если в процессе работы на лезвиях всё же образовались зазубрины — следует подправить их плоским алмазным надфилем или отдать в переточку в профессиональную точильную мастерскую.



**Рис. 3.1.** Пример недорогих бокорезов удобной формы

- **Пинцет** лучше всего приобрести в магазине медицинского оборудования. Те пинцеты, которые предлагаются в радиомагазинах и тем более в магазинах «Всё для дома», часто не выдерживают никакой критики. Хотя они и могут пригодиться для некоторых технологических целей (например, переворачивать платы при травлении), но только не для радиомонтажа. Губки стандартного медицинского пинцета (рис. 3.2, *вверху*) следует с помощью точила несколько заострить

к концам с тыльной стороны — так удобнее браться за тонкие и короткие детали. Для мелких деталей поверхностного монтажа может пригодиться отдельный малогабаритный пинцет с загнутыми острыми миниатюрными губками (рис. 3.2, *внизу*).



**Рис. 3.2**. Пинцеты: обычный медицинский (*вверху*) и радиомонтажный изогнутый (*внизу*)

## Паяльники

Три упомянутые в списке разновидности паяльников предназначаются для следующих работ (в скобках указана примерная мощность):

- пайки выводов микросхем и других компонентов с выводами до 1 мм, а также тонких проводов (15–20 Вт);
- пайки компонентов с толстыми выводами (разъемы, лепестки, штекеры и пр.) и толстых проводов сечением 1 мм$^2$ и более (40–65 Вт);
- пайки крупногабаритных деталей, например пластин стеклотекстолита между собой (150–200 Вт).

В качестве бюджетного варианта вполне годятся отечественные паяльники на 220 В с деревянной ручкой — огромным их преимуществом является то, что деревянная ручка не греется так, как пластмассовая, а огромным недостатком — то, что жало приходится периодически править напильником и заново облуживать (см. далее).

А вот самый маломощный паяльник, который будет употребляться чаще всего и для самых ответственных работ, стоит приобретать фирменный и, возможно, с запасными жалами разной формы (рис. 3.3). Жало у них гораздо долговечнее обычного медного, его не придется часто затачивать и облуживать. Приемлемые по цене паяльники такого рода обычно имеют только один крупный недостаток — они снабжены слишком толстым, тяжелым и жестким проводом, даже более жестким, чем у самых дешевых отечественных с обычным медным жалом. В таких случаях провод следует сразу заменить, причем вы вряд ли сможете приобрести достаточно мягкий готовый шнур с вилкой. Можно приобрести несколько метров провода типа ШВПТ повышенной гибкости — такого, какой часто используется в сетевых блоках питания со встроенной вилкой (один из проводов в нем обычно помечен цветной полосой), и подсоединить к нему обычную вилку. На выходе из ручки паяль-



**Рис. 3.3.** Недорогой фирменный паяльник мощностью 20 Вт

ника провод дополнительно закрепляется герметиком, клином из кусочка пенопласта или пробки или просто обматывается изоляцией, чтобы не болтался.

Конечно, фирменный паяльник для пайки микросхем с мгновенным разогревом и специальным источником питания, гарантирующим изоляцию от сети и позволяющим регулировать температуру нагрева, хорош, но неоправданно дорог. Неплохой промежуточный вариант — фирменные паяльники с долговечными жалами (ценой до 1 тыс. руб — фирмы Solomon, например), к которым можно приобрести запасные жала разной конфигурации.

Покупая такой самый употребительный маломощный паяльник, следует проверить, правильно ли выбрана мощность и соответствует ли она комплектному жалу (чем длиннее и тоньше последнее, тем ниже температура его кончика). Вот простой эмпирический метод определения того, насколько мы правильно выбрали мощность, — следует коснуться разогретым жалом кусочка канифоли. Если канифоль плавится и некоторое время (порядка трех-пяти секунд) потом дымится — всё в порядке. На перегретом паяльнике канифоль вскипает и испаряется практически мгновенно. Наиболее кардинальным решением будет включение паяльника через ЛАТР (лабораторный автотрансформатор) или специальную паяльную станцию, что позволяет тонко регулировать температуру жала.

Паяльники большей мощности на 40–65 и 150–200 ватт используются гораздо реже, потому здесь вполне можно обойтись самыми дешевыми с обычным медным жалом. Такое жало следует облудить — для этого паяльник с отформованным и зачищенным с помощью напильника жалом следует включить в сеть и после некоторого прогрева окунуть в канифоль. Следя за тем, как канифоль растекается, важно не пропустить момент, когда паяльник еще не нагрелся окончательно, но температура уже достигла точки плавления припоя. С этого момента нужно водить жалом по припою, стараясь, чтобы припой растекся по как можно большей площади как можно более равномерно (особое внимание следует уделить самому кончику

жала). Хороший вариант — окунуть паяльник в смесь опилок, напиленных крупным напильником из бруска припоя, и порошковой канифоли, а затем быстро несколько раз провести им по кусочку мелкой шкурки. Операцию облуживания следует провести до начала работ для всех трех паяльников, включая и фирменный.

Учтите, что припой постепенно растворяет медь или латунь, из которой обычно делаются дешевые жала, поэтому не надейтесь, что отформованного и залуженного паяльника с медным жалом вам хватит на всю жизнь. Периодически кончик жала надо будет затачивать, а когда оно станет совсем коротким — паяльник придется менять. К сожалению, к тому времени жало настолько заклинивает в нагревательном элементе, что сменить его обычно не получается. Именно по этой причине самый ходовой паяльник стоит покупать фирменный и с долговечными жалами.

> ***Совет***
>
> Если вам внезапно потребовалось произвести очень тонкую пайку (например, компонентов поверхностного монтажа на фирменной плате с высокой плотностью упаковки), а подходящего миниатюрного паяльника нет в наличии, то поможет следующий прием. Возьмите отрезок медной проволоки диаметром 1–1,5 мм от провода для бытовой электропроводки, зачистите и облудите его кончик, предварительно аккуратно срезанный под косым углом, и плотно намотайте эту проволоку на жало паяльника. Облуженный кончик проволоки, который будет теперь играть роль жала, следует отогнуть вперед, но не на слишком большую длину, иначе он не прогреется как следует. После нагревания жала проволока расширится и «захочет» проворачиваться на жале, как бы плотно вы ее ни намотали. Чтобы этого избежать, следует после нагревания еще раз обжать витки большими плоскогубцами, а еще лучше закрепить их небольшим хомутиком из жести с винтовым зажимом.

Два слова о подставках: вполне удобные подставки есть в продаже, или их можно сделать самим, если конечно, подставка не продавалась вместе с паяльником. В любом случае подставку следует дополнительно снабдить металлической щеткой для очистки жала, почему-то отсутствующей даже в самых фирменных конструкциях. Идеально для этих целей подходит отрезок так называемой корщетки — короткой стальной щетины на толстой тканевой основе, использующейся в текстильном производстве. Если не найдете — купите обычную хозяйственную металлическую щетку самого маленького размера с деревянной ручкой и отпилите от нее ручку. Можно также использовать грубую канитель, из которой делают щетки для мытья посуды.

О методах пайки компонентов поверхностного монтажа на готовых платах мы поговорим далее в *разд.* «*Новые подходы в любительском конструировании*».

## Флюсы для пайки

Это отдельная тема, которой не жаль посвятить некоторое время. Хотя рынок сейчас наполнен всяческими паяльными примочками (в магазинах «Чип и Дип» они занимают целую полку), опыт показывает, что в большинстве случаев для получения надежных результатов можно обойтись всего двумя рецептами: обычным пассивным спирто-канифольным раствором и активным флюсом для пайки плохо залуженных поверхностей. Исключение представляют методы пайки SMD-компо-

нентов, для которых придется приобретать специальную дорогую паяльную пасту, но об этом подробнее далее.

Сначала о *спирто-канифольном растворе*, или, как его еще называют, *канифольном лаке*. Его можно приобрести или сделать самому. Единственное условие, которое следует соблюдать, — использование технического или медицинского 95–96%-ного спирта. Денатурат, который иногда продают в хозяйственных магазинах, не подойдет из-за большого содержания воды. Приобрести технический спирт (под названием «спиртовой раствор технический») или медицинский «антисептический» можно в специальных интернет-магазинах, имеющих соответствующий сертификат.

Для изготовления канифольного флюса надо измельчить канифоль в порошок и наполнить им примерно на две трети пузырек, выбранный для этой цели (удобно употреблять пузырьки от лекарств емкостью 100–150 мл с пластмассовой завинчивающейся пробкой). Затем вы заливаете туда спирт в таком количестве, чтобы он полностью покрыл порошок с небольшим избытком, завинчиваете пробку и немедленно несколько раз энергично встряхиваете пузырек. Собственно раствор будет готов через несколько дней — в зависимости от степени измельчения канифоли. В течение этого времени пузырек нужно периодически встряхивать. Если в канифоли имеются посторонние включения — они осядут на дно. В пластмассовую пробку пузырька неплохо заделать небольшую кисточку, обрезав ее ручку почти до уровня пробки, чтобы не торчала, иначе ваш пузырек легко перевернется, а растекание жидкой канифоли по столу — одно из самых тяжелых стихийных бедствий, которое можно себе представить. Для нанесения флюса также удобно применять деревянные зубочистки.

Простой канифольный лак, приготовленный по этому рецепту, имеет одно, но важное преимущество — он совершенно не проводит электричество, ни в жидком, ни в застывшем состоянии, потому идеален для отладки схем. Если вас не устраивает жидкая канифоль, ее можно заменить более дорогим безотмывочным флюсом. До сих пор в продаже имеется старинный универсальный флюс, известный под названием ЛТИ-120. Надо сказать, что под этим названием ходит весьма много разных продуктов, простейший из которых представляет собой тот же самый спирто-канифольный раствор с активирующими добавками, превращающими жидкость в пасту и способствующими очистке поверхностей от окислов. Если кому-то кажется, что ЛТИ-120 устарел, его можно заменять на более современные пастообразные канифольные флюсы (пример: YT-820 китайской фирмы YOSHIDA).

Если не нравится то, что канифоль может оставлять некрасивые темные следы после пайки, то можно воспользоваться подобными безотмывочными составами без канифоли. Лучшие из них выпускает фирма Multicore (флюс X33-12i, он же MF210, например, не требует отмывки даже при последующем покрытии платы влагозащитным лаком), но в рознице их может быть приобрести затруднительно. Можно посоветовать, например, Kester 959T (он содержит канифоль, но в минимальных количествах) или китайский ER-700 Pro.

В качестве *активного флюса* для пайки незалуженных деталей, проволоки или поверхностей из стали, грязной меди, латуни или, скажем, нихрома удобно применять

совершенно отдельную композицию. Из имеющихся в продаже можно рекомендовать «Паяльную кислоту» на основе хлористого цинка или ХАФ на основе хлористого аммония — оба они смываются водой.

> ***Совет***
>
> Автор вот уже в течение трех с лишним десятков лет использует самостоятельно приготовляемый активный флюс, который дает восхитительные результаты даже для нержавеющих сталей (для пайки которых обычно рекомендуют использовать ортофосфорную кислоту). Приготавливается он следующим образом: нужно засыпать в пузырек примерно на одну треть высоты порошок хлористого аммония и залить доверху смесью, состоящей из 70% глицерина и 30% воды, взболтать это дело и оставить на одну-две недели. Если хлористый аммоний по истечении этого срока полностью растворится — досыпьте еще, если нет — осадок не помешает. Насыщенным раствором удобно заполнить одноразовый шприц или полиэтиленовую пипетку с завинчивающейся крышечкой (от лекарства, которое закапывается в нос при насморке). После применения остатки такого флюса желательно смыть теплой водой под краном или стереть мокрой тряпочкой, а затем тщательно высушить место пайки. Флюс совершенно нейтрален, не ядовит, безопасен для рук, не разъедает деревянное и пластиковое покрытие стола, но чрезвычайно текуч и страшно медленно испаряется, потому остатки его со стола и с других предметов следует тщательно удалять влажной тряпкой. Не следует его употреблять совместно с канифолью — они будут друг другу мешать, и смывать остатки станет куда труднее.

Описанные здесь составы исчерпывают почти все нужды радиолюбительской практики. Один совет — не жалейте флюса, даже для временных паек! Это потом выльется в потерю куда большего времени, чем будет затрачено на покрытие места пайки флюсом с помощью кисточки или зубочистки.

## Макетные платы

Даже к готовым модулям-полуфабрикатам, выпускаемым специально для изготовления радиолюбительских конструкций (о них мы будем говорить в *разд. «Монтаж»* этой главы), нередко приходится подключать компоненты без специальных приспособлений для быстрого монтажа. А при сборке из отдельных компонентов такая задача возникает всегда. И встает вопрос о том, как быстро смакетировать и проверить схему.

Тут нам может помочь современная индустрия — на рис. 3.4 изображена макетная плата, которая позволяет осуществлять соединения компонентов без пайки. Такие платы известны достаточно давно, однако лишь в 2000-е годы их стало приобрести довольно просто и относительно недорого. Только не следует выбирать самые дешевые варианты в неизвестных интернет-магазинах — они отличаются от фирменных примерно тем же, чем дешевые электророзетки отечественного и китайского нонейм от розеток фирмы «Легранд» — т. е. быстрым исчезновением контакта из-за потери упругости лепестками в гнезде. Видимые на фото перемычки и соединительные провода также продаются в готовом к использованию виде в том же месте, где и платы. Впрочем, фирменные провода со штекерами приобретать необязательно: для соединения компонентов вполне подойдут отрезки обычного одножильного медного провода с жилой диаметром 0,5–0,7 мм. Другое дело, если вы найдете от-

дельные модули с уже установленными штыревыми разъемами (типа PLS) — к ним имеются специальные провода с гнездами под такой разъем, что удобнее, чем распаивать или раскреплять колодки PBS на кабеле (об игольчатых разъемах см. врезку «*Подробности*» в *разд.* «*Монтаж*»).

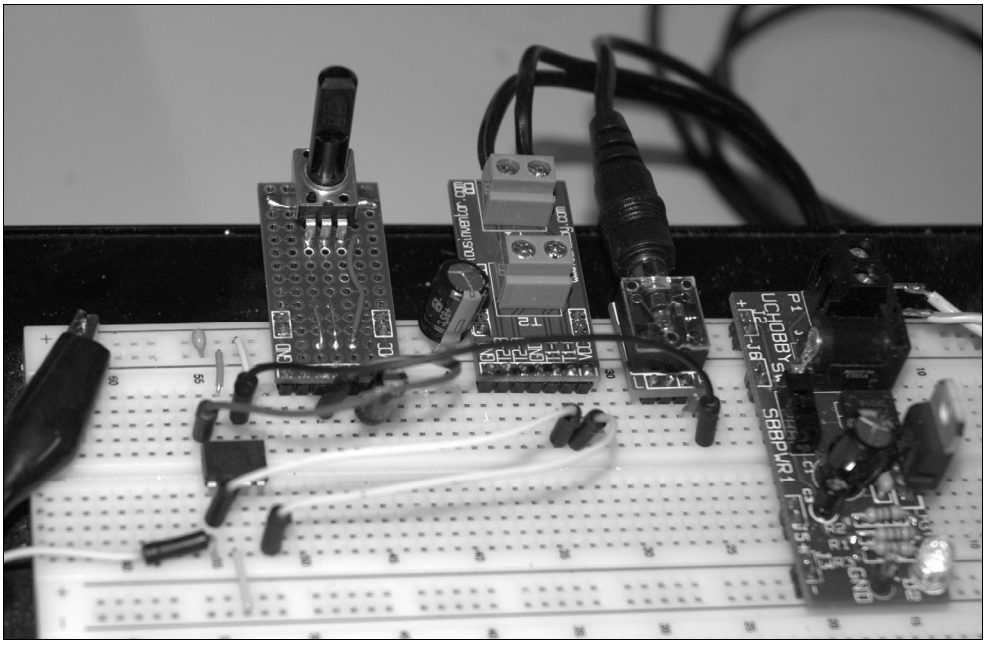



**Рис. 3.4.** Пример беспаечной (контактной) макетной платы с собранной схемой (фото с сайта **uchobby.com**)

В *разд. «Монтаж»* мы также поговорим о более универсальных макетных платах под пайку — они позволяют выполнять как макетирование, так и сборку готового изделия в единичных экземплярах.

## Печатные платы

Все схемы в настоящее время располагают на печатных платах. Название «печатные» произошло от того, что промышленные платы изготавливаются методом фотопечати. В промышленности рисунок проводников на плате заранее подготавливают в одном из специализированных программных пакетов (таких как Eagle, PCAD, OrCAD и др., см. далее), представляющих собой векторные графические редакторы с множеством дополнительных специализированных функций, часто включающих в том числе и автоматизированную раскладку (хотя несложные одно- или двусторонние платы раскладываются обычно вручную). Затем этот рисунок переносится на прозрачную пленку (примерно так же, как делаются пленки для полиграфической печати), образуя фотошаблон. Ранее фотошаблоны изготавливались фотоспособом — рисовались световым лучом на плоских высоконтрастных пленках, теперь их печатают на специальных принтерах.

Если плата двусторонняя, т. е. дорожки-проводники у нее расположены с обеих сторон платы (самый распространенный случай), то фотошаблонов приходится делать, естественно, два. В настоящее время готовую плату еще дополнительно покрывают термостойким ламинирующим составом (паяльной маской), который защищает дорожки, оставляя свободными контактные площадки и отверстия для пайки, — в этом случае приходится делать дополнительные шаблоны. Ранее паяльная маска была почему-то только зеленого цвета, в последнее время в моде самые немыслимые расцветки.

Сразу заметим, что раскладка платы и изготовление шаблонов — самая дорогая стадия в этом процессе. Поэтому, если вы решите отдавать свои разработки в подобное производство (об этом см. далее), убедитесь сначала, что в схеме нет ошибок.

Сами платы изготавливают из фольгированного стеклотекстолита, представляющего собой стеклоткань, пропитанную эпоксидным составом и покрытую с одной или двух сторон тонкой медной фольгой. Стеклотекстолит бывает разной толщины — для наших целей удобнее всего употреблять двусторонний стеклотекстолит толщиной 1,5 мм. В производстве дешевых массовых устройств вместо стеклотекстолита до сих пор используют гетинакс — пропитанную синтетической смолой бумагу. Качество таких плат намного ниже, зато отверстия в гетинаксе можно просто пробивать, тогда как для стеклотекстолита пригодны только специальные твердосплавные сверла.

Основная идея изготовления плат заключается в том, что места будущих дорожек покрываются нерастворимой пленкой, а остальная часть вытравливается в растворе какого-нибудь химического соединения, растворяющего медь. Есть много вариантов этого процесса, ориентированных на его экономичность, но основа одна и та же. Травильных растворов известно много (азотная кислота, перекись водорода, персульфат аммония и т. п.), из них в домашних условиях наименьшее количество проблем доставляет насыщенный раствор хлорного железа, которое продается в обычных и интернет-магазинах. Хлорное железо безопасно для рук, но готовить его можно только в стеклянной или пластиковой посуде, а окружающие предметы следует беречь от попадания брызг — высохшие капли раствора хлорного железа могут оставлять неудаляемые пятна на глазури или пластике многих не слишком качественных сантехнических изделий.

Подогревать раствор для ускорения процесса, как рекомендуется во многих рецептах, я не советую — растворение меди и без того идет достаточно быстро, зато риск подтравливания дорожек резко возрастает. А вот хорошее перемешивание обязательно — плату в растворе нужно всё время покачивать и периодически переворачивать пинцетом, а в идеале следует иметь для этой цели лабораторную магнитную мешалку. Как только на свободных участках исчезнут последние следы меди, плату надо немедленно извлечь из раствора и промыть теплой водой под краном. При передержке в растворе подтравливание дорожек неизбежно. Правильно организованный процесс травления протекает за 10–20 минут, в зависимости от концентрации, свежести раствора и его температуры.

Самое сложное — сформировать на плате рисунок дорожек, достаточно стойкий к травильному раствору. Изготовить плату с не слишком тесно расположенными

дорожками в домашних условиях можно, например, нарисовав их на обезжиренном стеклотекстолите водостойким (так называемым перманентным (от *англ.* permanent — постоянный)) маркером. Очень удобны специальные маркеры с тонким пером (подобные показанному на рис. 3.5). Маркер лучше брать новый — в процессе хранения даже из плотно закрытого маркера спиртовые чернила постепенно испаряются. Вести маркер вдоль линейки следует без торопливости — прочерченная линия не должна иметь разрывы и утончения, и через нее не должно просвечивать медное покрытие стеклотекстолита. Для удаления высохших чернил с платы применяются спирт и некоторые другие органические растворители (646-й или ацетон). Вносить исправления в рисунок можно, тщательно смывая отдельные его участки медицинской ватной палочкой, слегка смоченной растворителем.

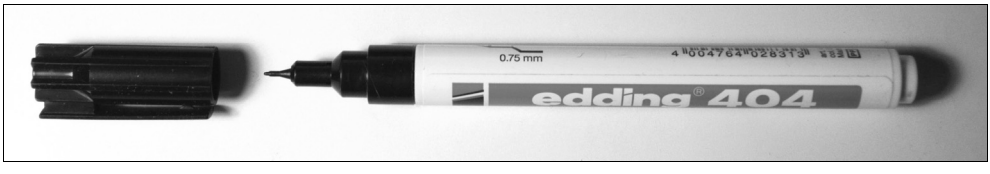



**Рис. 3.5.** Водостойкий маркер для нанесения рисунка на стеклотекстолит

Распространен среди радиолюбителей также способ переноса изображения с рисунка, напечатанного лазерным принтером на плотной бумаге, с помощью утюга (способ часто называют прижившимся сокращением ЛУТ — лазерно-утюжная технология). Автор этих строк перепробовал множество разных способов производства плат в домашних условиях (некоторые из них описаны в предыдущих изданиях этой книги) и свидетельствует: единственный реально работающий способ, позволяющий обойтись без пары квадратных километров безвозвратно испорченного стеклотекстолита, изложен вот в этой старой статье[2]. Процесс там описан во всех подробностях и с привлечением конкретного опыта автора статьи. Ознакомившись с этим текстом (и другими — публикаций с описаниями различных методов изготовления плат огромное количество), вы, возможно, предпочтете свою плату все-таки где-нибудь заказать. Обратите также внимание, что никакая домашняя технология не позволяет надежно создавать металлизированные отверстия, отчего качество и удобство пайки резко снижаются. Заказывая плату, не экономьте — старайтесь делать сквозные метализированнные отверстия, даже если плата односторонняя (о заказе плат см. далее в *разд.* «*Проектирование схем и разводка плат*»).

# Монтаж

Иногда собранную на беспаечной макетной плате (рис. 3.4) конструкцию размещают и в готовом изделии, для этого даже придумали специальные стандартизированные конструктивы (см. о них во врезке «*О готовых модулях-полуфабрикатах*»

[2] См. **http://www.ixbt.com/mainboard/pcb-at-home.shtml**.

далее). Однако в принципе подобный метод пригоден лишь на этапе макетирования — в качественно выполненном изделии оставлять висящие гирлянды проводов, держащихся лишь на трении, не годится. Более универсальными являются макетные платы, где крепление компонентов и проводов осуществляется пайкой, — они годятся и для окончательной сборки достаточно сложных схем, если по каким-то причинам разработка специальной печатной платы оказывается невозможной.

#### *О готовых модулях-полуфабрикатах*

Готовые модули-полуфабрикаты, как мы уже упоминали во введении «*К читателю*», в настоящее время весьма распространены — они позволяют без лишних усилий (в идеале — вообще без пайки, на одних разъемах) подключить к вашей схеме самые сложные в монтаже компоненты. Современные миниатюрные микросхемы с уменьшенным шагом выводов под поверхностный монтаж или с шариковыми выводами (типа BGA) к простой радиолюбительской конструкции без специальных переходников подключить вообще не удастся. Модули-полуфабрикаты существенно облегчают эту задачу и, кроме того, часто содержат необходимые дополнительные компоненты обвязки, о которых в противном случае пришлось бы заботиться вам самому. Типичный случай представляют компактные модули часов реального времени, кроме собственно микросхемы часов с кварцем, содержащие гнездо для батарейки-«монетки», а также подтягивающие резисторы для подключения по интерфейсу $I^2C$. Другой пример — малогабаритные импульсные преобразователи и стабилизаторы питания, которые всё чаще употребляют в виде готовых встраиваемых модулей с гарантированными параметрами, По сути, платы контроллеров Arduino, о которых пойдет речь в последних главах этой книги, также представляют собой универсальный модуль-полуфабрикат. Многие типичные радиолюбительские конструкции — скажем, часы с дисплеем, термометром и барометром (см. *главу 20*), — можно собрать вообще без применения дискретных компонентов, только из подобных модулей. Под такой вариант даже разработано несколько систем (экосистем) стандартизированных конструктивов модулей с совместимыми разъемами, наиболее известные из зарубежных — Qwiic (SparkFun), STEMMA (Adafruit), Grove (Seeed Studio), из отечественных — Trema (iarduino.ru) и Troyka (Amperka.ru).

Я в своих конструкциях обычно комбинирую и тот и другой подход: например, применять дорогие готовые модули электромагнитных или электронных реле обычно нет никакого смысла, их проще распаять на плате самостоятельно, результат будет и компактнее, и дешевле. Точно так же в законченной конструкции, которую не предполагается перепрограммировать, проще установить на панельку отдельную микросхему контроллера, повозившись с установкой кварца, чем использовать плату Arduino, содержащую к тому же кучу лишних компонентов, которые потребляют энергию, делая невозможным изготовление автономного прибора с батарейным питанием. А вот, например, импульсный стабилизатор питания вы ни при каких условиях «на коленке» не сделаете компактнее, экономичнее и дешевле, чем фирменный модуль, потому здесь целесообразно использовать готовый вариант.

Обычно, говоря о макетной плате, имеют в виду простую печатную плату с местами для установки компонентов (отверстиями и контактными площадками), как не соединенными проводниками вовсе, так и соединенными по некоей специальной универсальной схеме. В продаже имеется большое разнообразие подобных плат. Предпочтительно, чтобы под рукой всегда была как минимум простейшая универсальная плата с отдельными металлизированными отверстиями, расположенными по сетке с шагом 2,5 мм (рис. 3.6, *слева*). По мере надобности из нее ножницами по металлу вырезаются нужные фрагменты.

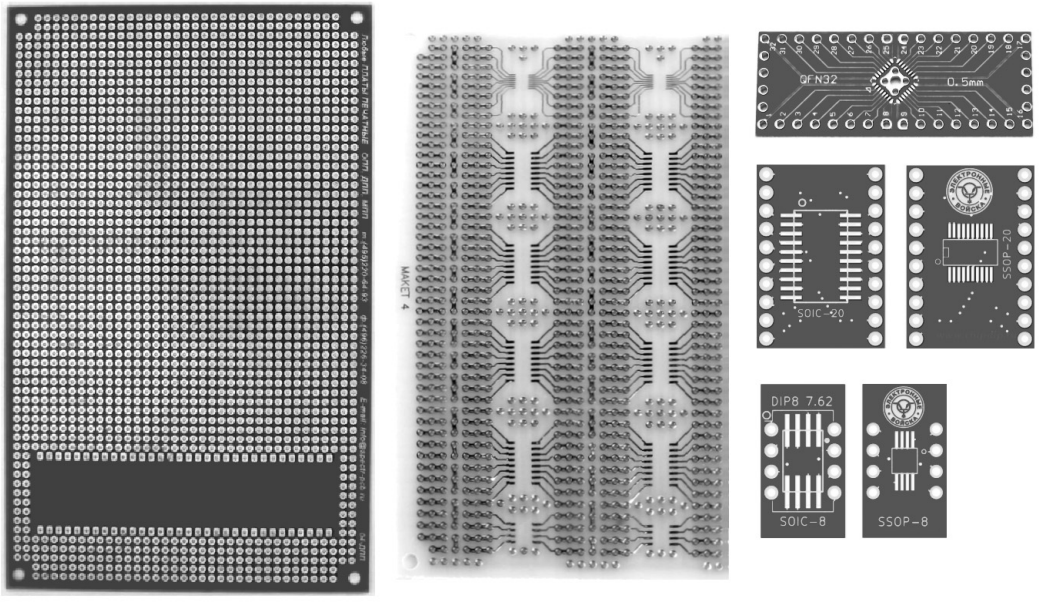



**Рис. 3.6.** Различные макетные платы под пайку

В случае, если нет возможности избежать применения компонентов в корпусах с планарными выводами, может пригодиться плата типа, показанного на рис. 3.6, *посередине*, — из нее по мере надобности можно вырезать фрагменты под нужный тип микросхемы, в том числе с уменьшенным шагом выводов. Если вырезать не хочется, то можно приобрести переходные платки от SMD-компонентов с различным шагом на отверстия под игольчатый разъем с шагом 2,5 мм (см. рис. 3.6, *справа*). Учтите, что совершенно универсальной платы, пригодной для расположения любых компонентов, не существует, так что чаще всего имеющиеся приходится дорабатывать, — например, чтобы установить на универсальную плату (см. рис. 3.6, *слева*) клеммник для внешних соединений с зажимом «под винт» (подобный показанному в *главе 16* на рис. 16.17), приходится рассверливать отверстия до диаметра 1 мм, жертвуя металлизацией.

Если предварительное макетирование производилось на беспаечной макетной плате (подобной показанной на рис. 3.4), то может быть удобно переносить такой макет на плату с пайкой, специально разработанную для такого переноса (рис. 3.7). Как видите, рисунок дорожек на ней повторяет конфигурацию беспаечной платы. Потому перенос возможен «один в один» — без дополнительных раздумий над размещением элементов.

Перед пайкой компонентов макетную плату следует покрыть с обеих сторон канифольным лаком и высушить его под лампой, пока плата не перестанет липнуть к рукам. Канифольный лак хорош тем, что после окончательной сборки, пайки и проверки схемы его можно не отмывать — покрытие оказывается совершенно незаметным глазу. Однако после пайки образуются толстые наплывы потемневшего канифольного лака, и если их все-таки необходимо удалить для придания «товар-

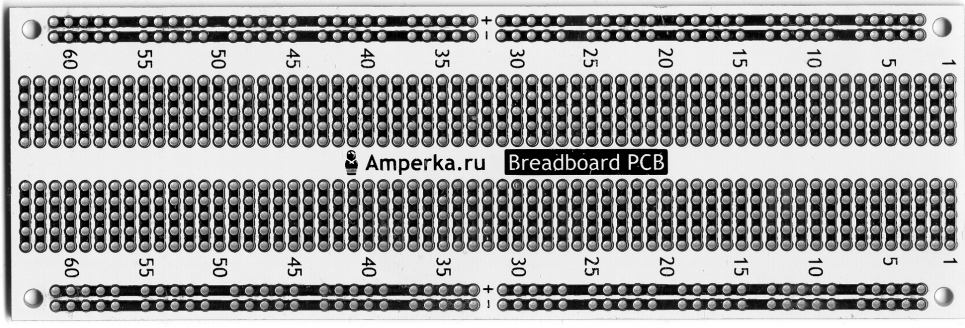



**Рис. 3.7.** Макетная плата под пайку для переноса схемы с беспаечной платы

ного вида», плату отмывают спиртом или спирто-бензиновой смесью. Проще всего налить немного такого растворителя в плоскую ванночку и погрузить туда плату минут на пятнадцать. Затем жесткой кисточкой удалить остатки канифоли там, где они не растворились, и окончательно промыть плату чистым растворителем. Учтите, что могут встречаться компоненты, которые не выносят воздействия растворителя, тем более загрязненного канифолью, — к ним относятся, например, датчики с активным поверхностным слоем (влажности, присутствия газов в воздухе и т. п.). В таких случаях плату не «купают» в растворителе, а аккуратно снимают остатки канифольного флюса смоченной в растворителе кисточкой.

Заметим, что при использовании специальных безотмывочных флюсов (см. ранее *разд.* «*Флюсы для пайки*») или паяльной пасты при пайке SMD-компонентов (см. *разд.* «*Новые подходы в любительском конструировании*») проблемы удаления остатков флюса вообще не возникает.

Для соединения выводов компонентов на макетных платах под пайку в идеале следует их расположить так, чтобы нужные выводы были как можно ближе друг к другу. При этом перемычки между контактными площадками можно просто залить припоем (рис. 3.8, *слева*). Если разместить их настолько близко не удается, то соединения выполняются либо отрезками неизолированного одножильного провода диаметром 0,5–0,7 мм, покрытого припоем («луженкой»), как показано на

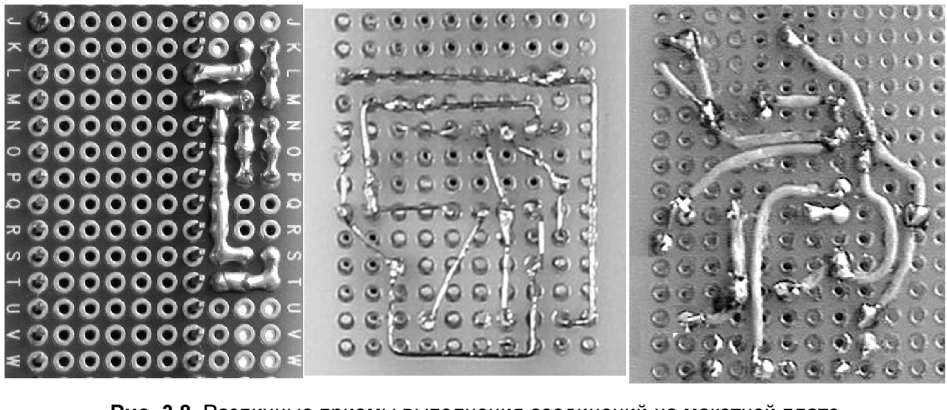


**Рис. 3.8.** Различные приемы выполнения соединений на макетной плате

рис. 3.8, *посередине*, либо с помощью отрезков обычного провода типа МГТФ в термостойкой (фторопластовой) изоляции, хотя монтаж с его помощью получается не столь красивым и надежным (рис. 3.8, *справа*).

В последнем случае не следует стараться провести проводники «красиво» (по прямым перпендикулярным линиям) — наоборот, качество и надежность схемы будут выше, если все соединения разведены по кратчайшему пути. Надо только стараться, чтобы провода не мешали доступу к контактам и не змеились по плате. Короткие соединения — например, перемычки — удобно делать неизолированными обрезками выводов от резисторов и диодов. Заметим, что не следует припаивать выводы деталей, особенно провода для внешних соединений платы, просто к контактной площадке или дорожке — их по мере возможности нужно просовывать в предусмотренное отверстие. Внешние соединения вообще не рекомендуется выполнять простой пайкой к контактным площадкам — это допустимо лишь как исключение. Для внешних выводов на плате устанавливаются упомянутые ранее клеммники, а для межплатных соединений предпочтительно употреблять штырьковые разъемы типа PLS или PLD и соответствующие плоские кабели.

### *Подробности*

Так как игольчатые разъемы типа с шагом 2,54 мм встречаются в практике изготовления микроэлектронных устройств достаточно часто, то стоит разобраться в их маркировке. Приведенные обозначения PLS и PLD относятся к разъемам типа «штырь» (male), соответствующие ответные «гнезда» (female) будут обозначаться как PBS и PBD (или BLS/BLD, если они для установки на кабель). Последняя буква означает: S — однорядный (single), D — двухрядный (dial) разъемы. Цифра после обозначения разъема (PBD-10) обозначает количество контактов. Далее может следовать еще одна буква, которая обозначает ориентацию: S для прямых выводов (разъем перпендикулярен плате), R или r для изогнутых под углом 90° (разъем параллелен плате). Буква S может и не указываться, отсутствие буквы означает прямой разъем.

При отсчете выводов двухрядных разъемов нумерация контактов разъемов типа PLD отличается от нумерации выводов микросхем и делается не в обход, а следующим образом: если глядеть на штыри сверху (т. е. со стороны подсоединения ответной части), то вывод номер 1, как и положено, находится слева внизу, вывод 2 — над ним, вывод 3 — следующий за первым в нижнем ряду и т. д., т. е. нижний ряд — это все нечетные, а верхний — все четные контакты (рис. 3.9). Это сделано потому, что такие разъемы могут иметь не строго фиксированное количество контактов, но при любом их количестве имеющиеся контакты будут нумероваться одинаково. Если не поняли, то поглядите на разводку любого PLD-разъема на материнской плате компьютера, которая обычно приведена прямо на ней (а также, как правило, имеется в руководстве).

Двухрядные игольчатые разъемы, упакованные в кожух с ключом, носят названия IDC (опять же посмотрите для примера на компьютерную материнскую плату). Для них на-

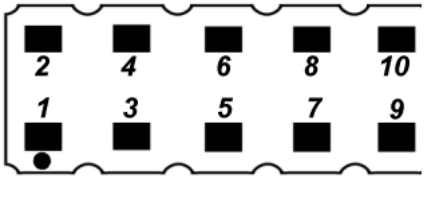



**Рис. 3.9.** Нумерация выводов разъемов PLD/IDC (вид на штыри сверху)

звания штыревой и гнездовой части не различаются, а после количества контактов разъема указывается буква, которая символизирует конфигурацию: M (male) для штыревой части и F (female) для гнездовой. Гнездовая часть IDC, как правило, устанавливается на кабель, штыревая — на плату. Таким образом, приведенное на схеме, показанной на рис. 22.5, обозначение IDC-10MS означает штыревой (male) разъем в кожухе с ключом и с 10 прямыми выводами. Соответствующая этому разъему кабельная часть обозначается как IDC-10F.

Для лучшего запоминания повторим наименования ходовых типов штыревых разъемов в виде перечня:

- PBS — однорядное гнездо;
- PBD (IDC-F) — двухрядное гнездо;
- PLS — однорядный штырь;
- PLD (IDC-M) — двухрядный штырь.

Если вы делаете капитальную конструкцию, которая должна прослужить много лет, то нелишне прикрепить выходящий жгут к плате или к стенкам корпуса прибора хомутами так, чтобы места подключения проводников к плате не подвергались механическим воздействиям, особенно если это паяные соединения. И обязательно подобное делать для проводов сетевого питания, причем сетевые и другие высоковольтные провода следует «тащить» отдельным жгутом.

Правильные способы пайки проводников между собой показаны на рис. 3.10. Рисунок взят из старой книги для радиолюбителей, и его актуальность даже возросла в современных условиях, когда правильные рекомендации по пайке встречаются довольно редко.

Кое-кто мне может не поверить, но обычная скрутка, если она грамотно выполнена, может быть ничуть не менее надежна, чем пайка (по крайней мере в сухом воздухе). Выполнение этой операции в разных вариантах показано на рис. 3.11, взятом из того же древнего пособия. И при пайке, и при скрутке следует обязательно постараться предотвратить механическое напряжение, приложенное к месту их выполнения, — по крайней мере, нужно надежно обматывать место соединения изолентой, а еще лучше — защищать термоусадочной кембриковой трубкой (см. далее).

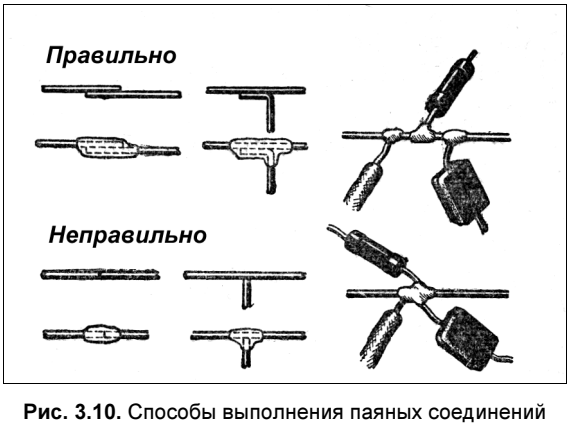



**Рис. 3.10.** Способы выполнения паяных соединений

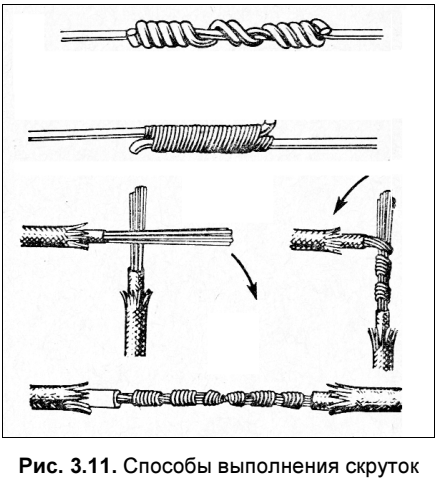


**Рис. 3.11.** Способы выполнения скруток

Если применение плоских кабелей для внешних соединений невозможно (как, например, в случае проводников между платой и регулирующими компонентами, установленными на передней панели прибора), то соединительные провода, в отличие от внутриплатных соединений, убирать в аккуратные жгуты как раз следует. Так получается значительно надежнее, потому что нагрузка распределяется между несколькими пайками (следует свивать в жгут провода, даже если их всего два!). Не рекомендуется для этого использовать изоленту или кембрик (потом очень трудно разобраться, куда чего идет), значительно лучше применить специальные затягивающиеся хомуты, закрепление нитками, или даже обойтись вообще без креплений — в процессе монтажа завивать очередной провод вокруг имеющихся на один-два оборота (одинаковое количество оборотов для всех проводов в жгуте).

> ***Совет***
>
> Для того чтобы пара скрученных проводов с одним свободным концом со временем самостоятельно не раскручивалась, поступают следующим образом. Если сплетаемая пара короткая (в пределах 20–50 см), то ее следует свивать, пропуская между пальцами так, чтобы каждый провод закручивался в отдельности. Если же пара длинная (несколько метров), то нужно отмерить и отрезать пару проводов (обязательно одинакового диаметра и типа) с припуском по длине примерно процентов на 30%. Затем привязать концы обоих проводов совместно к какой-нибудь жесткой опоре и вытянуть их на всю длину, захватив в каждую руку по проводу и натянув их. Далее надо перехлестывать провода, перехватывая их из одной руки в другую и обязательно натягивая с разводом рук в стороны после каждого витка. Всё вместе это несколько напоминает упражнение из комплекса утренней зарядки. Такой способ позволяет соорудить почти идеальную витую пару (с положенным одним витком на сантиметр длины), которая гарантирована от раскручивания. Более длинные провода так изящно скрутить не удается. Стандартный способ с использованием электродрели, к сожалению, от постепенного раскручивания не предохраняет — вся фишка в том, что при одновременном закручивании в одну сторону провода всегда сохраняют напряжение и постепенно стараются раскрутиться (вы, несомненно, не раз могли наблюдать это на примере длинного провода для электроинструмента или сетевого удлинителя).

Мы уже не раз упоминали, что по умолчанию предполагаем использование навесных компонентов с гибкими выводами и микросхем в DIP-корпусах, а не деталей для поверхностного монтажа (SMD). В англоязычных источниках это называется through-hole technology, THT (или просто TH) — технология монтажа в сквозные отверстия. Для радиолюбительских конструкций на макетных платах SMD-компонентов стоит избегать, так как львиную долю времени занимает отладка (при этом часто отладочный макет становится в конце концов конечным изделием), а что-то менее приспособленное для отладки придумать трудно. Хотя в некоторых случаях без них не обойтись — всё больше компонентов или вообще выпускаются только в таких корпусах, или в DIP-корпусах найти их в продаже невозможно. В этом случае можно использовать переходные макетные платы, показанные на рис. 3.6, *посередине* и *справа*.

Если схема отлажена, а плата промышленного изготовления, то наиболее быстрый и надежный способ монтажа, к которому прибегают профессиональные монтажники, заключается в следующем. Первым делом в плату «натыкиваются» компоненты, причем выводы не следует откусывать — пусть они торчат. Далее плату, заполненную деталями, нужно расположить компонентами вниз на поролоновой под-

кладке (чтобы они не выпадали и прижались к плате), после чего можно приступать к собственно пайке. В процессе пайки следите, чтобы компоненты не перегревались, — если всё сделано правильно, то для хорошей пайки достаточно трех секунд.

Для пайки удобно использовать тонкий припой с канифолью внутри — вы утыкаете одной рукой такую проволочку в место пайки, а другой прикасаетесь к этому месту кончиком жала паяльника — секунда, и пайка готова. Отнимать от места пайки следует сначала проволочку припоя, и только спустя секунду-другую жало паяльника, иначе припой не растечется в отверстии. Несмотря на канифоль в припое, всё же не забывайте заранее «покрасить» плату канифольным лаком и потом дополнительно смазать флюсом каждое место пайки — хуже не будет, зато пайка окажется надежнее.

И еще два совета насчет пайки. Совсем не исключено, что вам попадутся отечественные детали, изготовленные давно. В первую очередь это относится к сопротивлениям типа МЛТ, которых сохранилось довольно много (со временем они не только не портятся, но даже улучшают свои характеристики), а также к некоторым типам конденсаторов и других компонентов. Я не знаю в точности, что за материалы тогда использовались, но ножки этих деталей при хранении чернеют (т. е. покрываются тонкой темной пленкой соединений типа сульфидов), и пайка их представляет определенные трудности. Выводы таких компонентов перед пайкой нужно обработать: сперва зачистить тонкой шкуркой-нулевкой (или просто несколько раз пропустить между губками медицинского пинцета с насечкой), а затем облудить со всех сторон, стараясь не наносить лишнего припоя (иначе вывод может не влезть в предназначенное для него отверстие).

Второй совет относится к распайке компонентов на платах промышленного изготовления. Дело в том, что в процессе производства контактные площадки и дорожки часто покрываются припоями (типа сплава «Розе»), имеющими очень низкую температуру плавления. Потому, припаивая к ним вывод некоего компонента, не следует удерживать этот вывод на весу трясущейся рукой с пинцетом — припой застынет тогда, когда тонкий слой сплава на поверхности дорожки еще будет жидким, и очень надежное по внешнему виду паяное соединение на поверку окажется просто блямбой припоя, слегка прижатой к контакту на плате за счет упругости вывода. Тот же эффект будет из-за разницы в температурах плавления обычного свинцово-оловянного припоя и существенно более тугоплавких современных бессвинцовых составов. Это одна из причин необходимости обязательно производить металлизацию отверстий.

После пайки выводы откусывают на нужную длину. Для промышленных плат с металлизированными отверстиями достаточно, чтобы места пайки выступали на 1 мм над поверхностью платы. Для плат собственного изготовления нужно не забывать, что сквозные отверстия не имеют металлизации и их нужно пропаивать на обеих сторонах платы.

Теперь несколько слов о *демонтаже* тех компонентов, которые следует удалить или заменить. Демонтаж, который не повреждает компонента с большим количест-

вом выводов, в настоящее время сильно облегчился с распространением монтажных фенов, а также разнообразных отсосов жидкого припоя. Здесь как раз ТН-компоненты (т. е. с монтажом в отверстия) проигрывают SMD-компонентам, которые отпаять без повреждения гораздо легче. Мы не будем здесь на этом подробно останавливаться, т. к. освоить это дело со слов не проще, чем научиться водить автомобиль по рассказам бывалых шоферов. Расскажем только, как правильно подготовить плату со сквозными отверстиями при замене компонента (не обращая внимания на судьбу удаляемого) — такое требуется не только для собственно замены, но и, например, при очистке макетных плат для дальнейшего использования.

Сначала выкусите использованный компонент бокорезами. Детали с двумя выводами — резисторы или диоды — можно попытаться выпаять. Для этого нужно плату закрепить в тисках, а деталь подцепить отверткой или пинцетом и коснуться паяльником места пайки — вывод под нагрузкой вылезет из отверстия сам. Иногда такая операция проходит удачно, и деталь даже годится для дальнейшего использования!

После удаления обязательно нужно прочистить отверстия, которые оказываются заполненными припоем и обрезками выводов. Для этого смочите нужные места флюсом и закрепите плату в тисочках в вертикальном положении. Затем возьмите в одну руку тонкую заостренную деревянную палочку (удобно для этой цели использовать зубочистки или заостренные спички), прижмите ее острым концом к залитому припоем контактному отверстию, стараясь направить в центр, а затем коснитесь паяльником припоя вокруг отверстия. Если отверстие металлизированное, то можно паяльник направлять с обратной стороны платы, если нет — следует касаться им рядом с палочкой. Заостренный конец влезет в отверстие, после чего паяльник следует убрать и выждать до полного застывания припоя. Остатки припоя, иногда вместе с обрезками выводов, нужно отломить пинцетом, — можно также после этого повторить операцию, направляя палочку с другой стороны. Деревянная палочка быстро изнашивается, потому ее следует часто менять или затачивать.

## Немного о проводах

Мы ограничимся только кратким, без подробностей, рассмотрением монтажных и обмоточных проводов лишь самых употребительных типов, потому что типов проводов очень много. Более подробные сведения о них вы можете найти на многочисленных справочных ресурсах в Сети.

Для монтажа макетов и для межплатных соединений, если их немного, удобнее всего применять МГТФ — многожильный провод в тефлоновой (фторопластовой) оболочке. Он отличается тем, что изоляция у него не плавится, даже если ее непосредственно греть паяльником. Обычный провод МГТФ розоватого или белого цвета, но есть и высокопрочный МГТФ в изоляции черного цвета, который еще удобен тем, что у него проводники заранее залужены. Разноцветный МГТФ тоже существует, но т. к. тефлон окрашивается плохо, цвет ему придают с помощью второй наружной оболочки из лакоткани, что делает его жестким и значительно уве-

личивает его толщину. Выпускается и экранированный МГТФ — с его помощью удобно протягивать, скажем, внутрикорпусные соединения от входных разъемов к платам в аудио- и измерительной аппаратуре. Однако экран у него ничем не изолирован, и, как правило, приходится его убирать в кембриковую трубку.

Второй, самый употребительный тип известен под собирательным названием МГШВ (так называют на самом деле много разных, но похожих типов проводов, но мы не будем на этом останавливаться, — продавцы и ваши коллеги всегда поймут, о чем речь). Он имеет полихлорвиниловую изоляцию, внутри которой может быть дополнительная «шелковая» намотка (собственно МГШВ), хотя нередко она отсутствует (МГВ). Если намотка имеется, то такой провод годится для прокладки проводников с высоким (220 В) напряжением. Провода без шелка для такой цели употреблять не рекомендуется — если только изоляция специально не утолщена (как в проводе ШВПТ повышенной гибкости, который мы рекомендовали для замены сетевого провода паяльников). МГШВ лучше приобретать с уже залуженными жилами, т. к. изоляция легко плавится, и провод лишний раз нагревать не стоит. Хорош также вариант с силиконовой изоляцией, которая почти не усаживается при нагревании, но такие провода заметно дороже обычного МГВ.

Провода в полиэтиленовой изоляции (вроде телефонной «лапши») для монтажа путем пайки употреблять не следует — они жесткие, а полиэтилен очень легко деформируется при нагревании, оголяя жилу на недопустимую длину.

#### *Заметки на полях*

Импортные монтажные провода часто имеют маркировку, нанесенную прямо на изоляцию. Обычно такая маркировка соответствует американскому стандарту AWG (American Wire Gauge), и по ней можно узнать приблизительный диаметр провода по довольно сложной формуле: $d = 0{,}127 \cdot 92^{((36-AWG)/39)}$. Из формулы следует, что чем меньше цифра в стандарте AWG, тем толще провод. Для удобства пересчета проще воспользоваться специальными таблицами, которые можно найти в Интернете, заодно в них сразу приведено точное сечение провода (для одножильных и многожильных — точнее, многопроволочных — проводов значения при одной и той же маркировке заметно различаются). По сечению можно приблизительно определить допустимую токовую нагрузку на провод: так, для скрытой проводки (что примерно соответствует условиям в корпусах приборов) допустимой считается нагрузка 8 А на 1 мм$^2$ сечения (многожильный провод AWG-18 диаметром около 1,2 мм). Провод AWG 18 также считается стандартным для компьютерных блоков питания с нагрузкой около 7,5 А на каждый провод, и по этому признаку тоже можно оценить необходимый в вашем случае диаметр. Обратите внимание, что для проводов в плотной намотке эта норма не действует, там провода должны быть толще (см. *главу 9*). В электронных приборах запас по толщине проводников вообще должен быть значительно выше, чем для силовой проводки, — во избежание локального падения напряжения на тонких участках, которое может вызывать непредсказуемые эффекты в импульсных и высокочастотных схемах.

Провода для намотки трансформаторов называют *обмоточными*. Подобно МГШВ, они ходят в народе под собирательным названием ПЭЛ или ПЭВ (точнее, ПЭВ-2, что означает двухслойное покрытие лаком). Эти провода имеют покрытие из специального гибкого, термостойкого и устойчивого к растворителям лака. Оно достаточно тонкое, так что при измерении диаметра этих проводов микрометром или штангенциркулем в первом приближении толщину покрытия можно не учитывать.

Единственное, чего это покрытие «не любит», — слишком маленьких радиусов изгиба, поэтому при использовании обмоточных проводов следует тщательно избегать «колышек» и запутывания в узлы.

Так как покрытие термостойкое, то при пайке конец обмоточного провода зачистить для облуживания достаточно сложно. Это следует делать либо механически (скажем, при помощи тонкой шкурки — это надежнее, чем ножом или скальпелем), либо при помощи народного средства, которое заключается в том, что конец провода кладется на таблетку обыкновенного аспирина и прижимается к ней хорошо разогретым жалом паяльника (после чего конец следует очистить от обгоревших остатков лака). Есть и специальные высоковольтные обмоточные провода (ПЭЛШО), которые покрыты дополнительно слоем шелка (почему-то чаще всего синего цвета).

В современных устройствах при необходимости провести много проводников между платами часто применяются плоские кабели с уже установленными разъемами типа IDC, PLD (подробнее о последних см. в *разд. «Монтаж»* этой главы) или аналогичных. Чаще всего такие *шлейфы* продаются уже готовыми вместе с модулями, но иногда их приходится делать самостоятельно. Разъемы на плоские кабели, конечно, можно монтировать и пайкой (при этом обязательно укрепляя место соединения термоусадочной трубкой, как описано далее), но быстрее, проще и надежнее устанавливать их на кабель с помощью уже упоминавшегося инструмента, называемого кримпером. При этом потребуются специальные модификации IDC-разъемов «под обжим».

Два слова о *кембриковых трубках*, которые употребляют для изоляции, — например, при пайке разъемов или при необходимости сращивания проводов между собой (имейте в виду, что профессионалы редко употребляют липкую ленту, а всегда пользуются кембриком). Они бывают двух типов: обычные и термоусадочные. У термоусадочных трубок при нагревании до 110–120 градусов диаметр уменьшается примерно вдвое-вчетверо, и они становятся жестче, прочно обволакивая место пайки и не давая проводу гнуться и ломаться. Для осаживания таких трубок используют специальные монтажные фены, но в крайнем случае можно обойтись и зажигалкой (лучше типа «турбо» — они дают некоптящее пламя), только следует постараться не нагревать трубку слишком сильно. Трубки большой длины можно осаживать выдерживанием в кипятке в течение нескольких минут.

# Корпуса

Проблема корпусов для радиоаппаратуры не стоит особенно остро — все крупные фирмы, торгующие компонентами, торгуют и различными корпусами, а есть еще и много фирм помельче. Беда тут примерно та же, что с покупкой, скажем, обуви — вроде ее много на любой вкус и кошелек, да одни ботинки не смотрятся, в других кантик не такой, третьи цветом не вышли, четвертые в подъеме жмут… Короче, подобрать под конкретный прибор готовый корпус — задача очень непростая. Потратив 20–30 баксов на блестящее заморское изделие, очень не хочется браться за напильник, чтобы доводить его до ума, но приходится: здесь должно быть окно для

индикатора, эту стенку вообще надо удалить, ибо тут будет стоять радиатор для мощного транзистора, тут требуются фигурные отверстия под разъемы… Тогда, спрашивается, зачем тратили баксы-то? А если еще ошибешься, что нередко случается даже с опытными слесарями?

Не будем останавливаться на печати корпусов с помощью 3D-принтера, что очевидный, но дороговатый для домашнего любителя способ. Хотя в профессиональном техническом дизайне это уже общепринятый метод изготовления прототипов корпусов, 3D-печать требует довольно серьезных начальных вложений, не окупающихся, если нужно изготовить пару корпусов раз в полгода. Печатные корпуса можно заказывать, но в этом случае стоимость корпуса может превысить все остальные затраты на изделие, включая изготовление печатной платы. Поэтому рассмотрим два способа изготовления своими руками оригинальных корпусов «по месту», затраты на которые будут значительно меньше (если не считать своего труда, конечно). Оба способа, если руки на месте, позволяют получить корпуса не хуже фабричных.

Независимо от способа работа начинается с того, что вы сначала рисуете эскизы всех стенок и перегородок, располагаете детали и платы, чтобы они не наезжали друг на друга, и выверяете размеры (компьютер дает простор для такого рода творчества). В первом способе по готовым эскизам вы переносите размеры на фольгированный стеклотекстолит и вырезаете заготовки. Можно даже все отверстия заранее сделать — удобнее работать с пластинкой, чем с готовой коробкой. Затем, закрепляя заготовки под прямым углом друг к другу, пропаиваете места стыков обычным припоем. Вот тут очень пригодится самый мощный паяльник и упомянутый водорастворимый флюс.

Секрета в таком процессе всего два: во-первых, надо не забывать давать припуски на толщину материала по нужным сторонам заготовок, во-вторых, иметь в виду, что припой сокращается в объеме при застывании. Потому пластинки под прямым углом относительно друг друга надо прочно закреплять, иначе угол окажется совсем не прямым, а распаять будет уже очень трудно. Готовый корпус обтягивается самоклеящейся пленкой — например, под дерево. Недостаток у этого способа только один: фольгированный стеклотекстолит сам по себе стоит недешево, и если у вас нет знакомого, способного добывать отходы производства печатных плат, то все-таки получается накладно.

Второй способ может быть существенно дешевле, если заранее озаботиться сбором материала для заготовок, — подойдет любой ровный пластик, кроме полиэтилена/полипропилена и поливинилхлорида. Идеально подходят внутренности старых холодильников — они сделаны из полистирола, который не склонен трескаться, легко обрабатывается и очень прочно склеивается дихлорэтановым клеем. Впрочем, можно обойтись и оргстеклом, которое несколько труднее обрабатывать из-за большей твердости и склонности к растрескиванию. Зато одна треснувшая витрина для объявлений может обеспечить вас материалом надолго.

Заготовки лучше всего вырезать не ножовкой, а с помощью специального резака для пластика. Из образовавшейся после резки, выравнивания торцов и сверления

отверстий стружки изготавливается дихлоэтановый клей: в пузырек с плотно закрывающейся крышкой напихиваете пластиковых стружек дополна (можно даже утрамбовать их там) и заливаете дихлоэтаном. Клей наносится на торцы заготовок (учите, он сохнет очень быстро!) которые затем как можно плотнее сжимаются, выравниваются и оставляются под нагрузкой минимум на пару часов. Сразу все стыки проклеить не получается, потому процесс растягивается на весь день. Готовый корпус перед окончательной обработкой лучше выдержать до следующего утра.

Полученный корпус можно, как и в предыдущем случае, обтянуть пленкой под дерево, но лучше его окрасить матовой черной краской из баллончика. Если делать всё аккуратно и продуманно, получается ничуть не хуже фирменных изделий!

В дальнейшие детали такого рода творчества я вдаваться не буду, т. к. мы собрались всё же заниматься схемотехникой, а не дизайном корпусов для радиоаппаратуры. Дам еще только два совета. Первый — если у вас в корпусе предусмотрено окно для индикаторов, то его надо делать из дымчатого, а не прозрачного пластика, а всё, что за этим окном расположено, кроме, естественно, самих индикаторов (но включая плату с деталями и блестящими контактами!), следует выкрасить в черный цвет из аэрозольного баллончика. Это придаст несравненно больше «фирменности» вашей конструкции. Конструкции, в которых через стекло виднеются пайки на печатной плате, выглядят ужасно. Можно к тому же заклеить всю незадействованную поверхность окна изнутри черной липкой лентой. Если следовать этому совету, то можно не выпиливать окна точно по размеру индикатора, что довольно сложно сделать красиво, а выполнить из дымчатого стекла, скажем, всю переднюю панель.

Второй совет касается нанесения надписей на корпус. Скажу сразу: наилучший способ — заказать панель с лазерной гравировкой. Но это дорого и хлопотно, поэтому хочется сделать ее самому. Ручной способ отвергаем с порога — ничего не может выглядеть кошмарнее, чем надписи, сделанные вручную, и никакие трафареты и гравировальные машинки здесь не помогут. Это вообще была одна из самых тяжелых проблем до последнего времени, и не только для радиолюбителей, — даже мелкосерийные приборы на советских заводах выпускались с гравированными вручную надписями, и это было ужасно.

К счастью, в последние годы в связи со всеобщей доступностью принтеров проблема качественной печати любым размером шрифта, любым цветом и на любом фоне решена полностью. На струйных принтерах это делается на специальной пленке, которая с одной стороны липкая и покрыта защитным слоем, как самоклеящаяся пленка, а с другой — имеет специальную пористую фактуру, хорошо удерживающую принтерные чернила. Она довольно дорогая, но десяти листочков вам хватит на всю оставшуюся жизнь, если вы, конечно, не собираетесь налаживать серийное производство. Если же такой пленки и принтера под рукой нет, то можно напечатать надписи на обычной бумаге, причем тут предпочтительно использовать лазерный принтер из-за более высокой водостойкости. Затем полученные лейблы вырезаются по размеру и приклеиваются тонким двусторонним скотчем или кусочком обычного прозрачного, аккуратно вырезанным по размеру, несколько большему, чем прижимаемый ярлык. Неплохо выглядят надписи, напечатанные выворот-

кой — т. е. белым цветом на черном фоне, только не забудьте закрасить белые торцы бумаги по месту отреза черным фломастером, иначе они будут очень бросаться в глаза.

# Новые подходы в любительском конструировании

Вообще-то это технологии совсем не новые, они родились и развивались одновременно с появлением микроэлектроники в середине прошлого века. Но для любителей долгое время они были недоступны или крайне дороги, потому я их и назвал новыми.

Еще лет десять-пятнадцать назад, когда я готовил первые издания этой книги, способы изготовления любительских конструкций, которые обычно делаются в одном экземпляре, в основном сводились к применению готовых печатных макетных плат с металлизированными отверстиями, о которых мы говорили ранее. В настоящее время все эти способы никуда не исчезли и даже значительно усовершенствовались. Однако появился и ряд новых способов — радиолюбительское хобби на Западе становится всё популярнее, и за дело взялась индустрия, которая придумала ряд новшеств, существенно облегчающих этапы макетирования и изготовления законченного прибора.

В первую очередь следует отметить появление множества различных более или менее законченных модулей-полуфабрикатов, о которых мы уже упоминали в *разд. «Монтаж»*. Модули на основе какой-либо платформы, позволяющие изготавливать законченные изделия, по-английски называют kits — «комплекты». Ранее подобные «киты» предлагались почти исключительно профессионалам для облегчения разработки новых изделий, ныне же они сильно подешевели и стали доступными для широкого круга любителей. Существенное значение это имеет главным образом для сложных многофункциональных компонентов — таких как микроконтроллеры. Зато из-за расширенных возможностей подобных платформ с готовыми типовыми узлами стало реальностью воплощение «малой кровью» многих задумок, малодоступное ранее для «классического» радиолюбителя, в чем вы можете убедиться сами, дочитав эту книгу до конца. О платформе Arduino мы поговорим в конце книги, а сейчас остановимся на новых технологиях изготовления приборов.

## Проектирование схем и разводка плат

Существует большое количество различных программных пакетов и целых платформ, ориентированных на облегчение и ускорение разработки схем и печатных плат. Профессиональные варианты отличаются, как правило, развитыми средствами автоматизации, развернутыми библиотеками с большим числом типовых компонентов — они предоставляют весь цикл разработки от принципиальной схемы и моделирования ее работы до Gerber-файлов на выходе, которые можно прямо отправлять выбранному изготовителю плат. Обязательный компонент таких пакетов — автоматический трассировщик плат на основе составленной принципиаль-

ной схемы, хотя, по многочисленным свидетельствам, еще не придумали такого автоматического трассировщика, результаты работы которого не приходилось бы корректировать вручную. Некоторые из таких программ упомянуты ранее (см. *разд.* «*Печатные платы*»), приводить здесь их подробный перечень смысла нет — его легко найти обычным поиском через «Гугл» или «Яндекс».

Есть, конечно, и программы попроще, ориентированные на нужды любителей. В предыдущих изданиях книги рассматривался Fritzing — пакет, задуманный в качестве любительской альтернативы профессиональным программам проектирования электронной аппаратуры. Fritzing опирается на подход Arduino — в частности, основным исходным документом в нем считается не принципиальная, а наглядная монтажная схема, собранная на беспаечной макетной плате. Компоненты на такой схеме изображаются максимально близко к тому, как они выглядят в натуре, поэтому Fritzing очень часто используется для изготовления иллюстраций в статьях и книгах, посвященных Arduino и родственным платформам. К сожалению, инициаторы его создания недооценили сложность задачи, и в какой-то момент проект остановился в своем развитии, — для настоящего проектирования он так и остался непригодным.

Однако существует масса других программ подобного рода, как платных, так и бесплатных. С двумя наиболее популярными мы кратко познакомимся в этом разделе. Описываемые программы не составляют единого пакета: программа под названием sPlan предназначена для разработки принципиальных схем, а программа Sprint-Layout — для трассировки печатных плат. Поскольку автоматический трассировщик в Sprint-Layout всё равно отсутствует, то и совместимость оказывается необязательной.

## Редактор sPlan для разработки схем

Программу sPlan часто ругают за отсутствие совместимости с другими подобными программами: у нее свой собственный формат выходных файлов, экспорт возможен лишь в ряд растровых форматов, а также в общий векторный формат SVG. Однако этот недостаток с лихвой перекрывается исключительной простотой освоения — если вы имеете хоть какой-нибудь минимальный опыт рисования схем, пусть даже карандашом на бумаге, то в программу sPlan вы «въедете» сразу, без какого-либо порога. Период обучения, длительность которого зависит в основном от вашего общего опыта обращения с графическими компьютерными программами и может составлять буквально часы, будет посвящен тому, чтобы разобраться с пунктами меню и некоторыми специфическими особенностями поведения объектов в этой программе.

#### *Заметки на полях*

Автор этих строк традиционно не любит векторных редакторов. Воспитанный на бумажных фотографиях, черчении карандашом и рейсфедером, а также рисовании кистью, я когда-то легко и быстро разобрался в растровых редакторах (а-ля Photoshop). И даже иллюстрации ко всем изданиям этой книги, к возмущению верстальщиков, традиционно выполняются в растровом формате. Векторные редакторы отталкивали меня своей неестественностью — там ведь нельзя так просто взять и провести линию,

обязательно нужно совершить еще массу действий, чтобы эта линия потом осталась на своем месте при каких-то манипуляциях с изображением (например, при изменении масштаба или переводе в растровый формат). sPlan был первым в моей практике векторным редактором, освоение основных операций в котором у меня заняло примерно два часа. Во многих подобных редакторах, кроме всего прочего, отторжение вызывает также малоэстетичный и плохо читаемый вид конечного продукта — посмотрите для примера принципиальные схемы Arduino, которые можно найти на посвященных ему сайтах. В sPlan приведение схемы в приличный вид существенно облегчается простотой создания своих элементов с любым желаемым оформлением.

В sPlan (здесь и далее описывается версия sPlan 7.0) можно создавать далеко не только принципиальные схемы. Он, конечно, далек от возможностей классических дизайнерских пакетов, таких как AutoCAD, но вполне годится для рисования чертежей или эскизов. Их можно заключить в ГОСТовскую рамку и проставить размеры, включая и углы (правда, функция простановки размеров, пожалуй, излишне автоматизирована). Кстати, для принципиальных схем также есть выбор между созданием их строго по стандартам (есть специальная библиотека элементов по ГОСТ) и произвольными обозначениями компонентов согласно вашему вкусу и привычкам. После окончания работы над принципиальной схемой sPlan позволяет автоматически сгенерировать перечень элементов. Его очень часто используют студенты и учащиеся колледжей для курсовых и дипломных работ.

К недостаткам программы sPlan следует в первую очередь отнести довольно ограниченную базу компонентов, зато в ней исключительно легко и просто создавать свои компоненты или модернизировать имеющиеся, пополняя таким образом библиотеки. На рис. 3.13 с помощью такого подхода из ATmega8 создан ATmega328, в первоначальном варианте библиотек отсутствовавший. Кроме того, в программу можно вставлять растровые изображения (на рис. 3.13 вставлено изображение платы передатчика 433 МГц). sPlan поддерживает автоматическую нумерацию элементов (с возможностью перенумерации по строкам или столбцам), изменение шрифтов и размещения подписей, причем многие операции можно делать оптом для всех выделенных элементов сразу.

Рассмотрим основные функции sPlan, представленные на панели меню слева, сверху вниз (см. рис. 3.12):

- **Указка**. Наиболее часто используемая функция. С ее помощью можно передвигать и масштабировать элементы, перемещать их составляющие (например, подписи, номиналы и названия), «ломать» линии соединений, перетаскивать компоненты из библиотеки на поле схемы и выполнять еще многие другие операции. По щелчку правой кнопкой мыши на элементе выпадает обширное контекстное меню, через которое можно менять свойства элемента (например, цвет и толщину линий, характер шрифта подписей и т. п.), отражать элемент зеркально по вертикали или горизонтали (любые надписи при этом отображаются нормально), поворачивать его на произвольный угол, дублировать (с автоинкрементом нумерации), копировать в буфер обмена и делать еще много чего, включая редактирование изображения элемента в специальном редакторе. Заметим, что многие из этих операций, особенно связанные с передвижением, могут выполняться при включенном выравнивании по узлам сетки (значок сетки в нижней

панели) или при выключенном, когда их можно установить в произвольное положение.

И еще один момент, касающийся функции **Указка**: ею можно обвести несколько элементов (или отметить их при нажатой клавише <Shift>) и проделать операции над всей выбранной группой. Если обвести всю схему (она, как правило, занимает лишь часть листа, по умолчанию имеющего формат A4), то через пункт **Экспорт** в верхнем меню можно вывести в растровое изображение именно отмеченную часть, а не весь лист. При экспорте следите за разрешением конечного изображения — оно не должно быть слишком малым (не менее 240–250 dpi), иначе мелкие детали будут отображаться с искажениями, особенно в формате JPG.

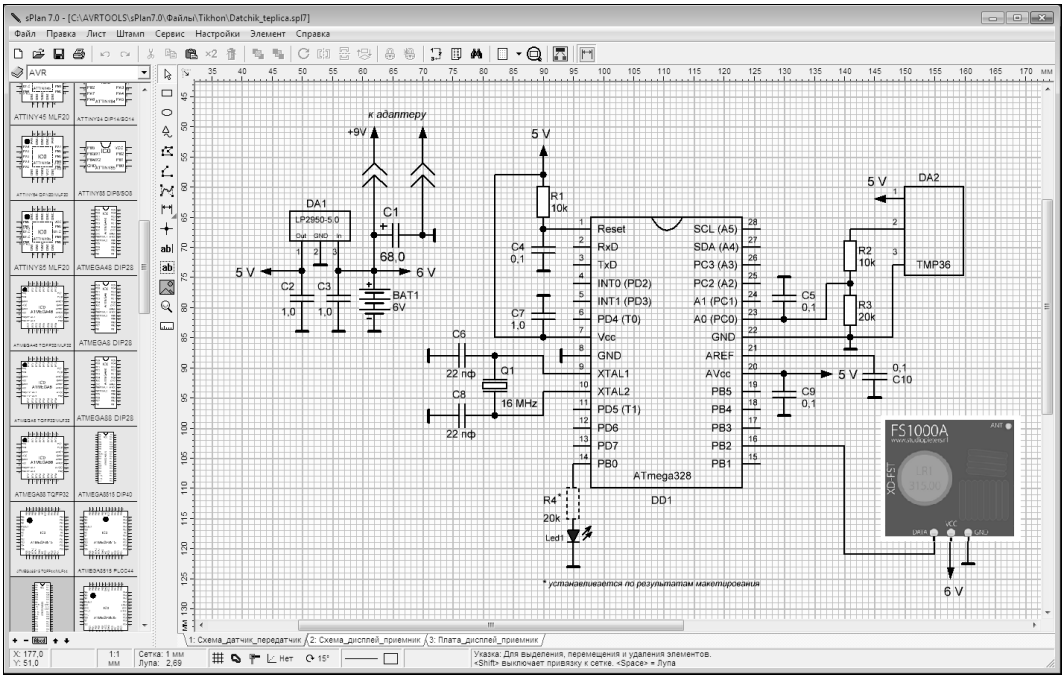



**Рис. 3.12.** Пример принципиальной схемы в программе sPlan 7.0: схема радиодатчика температуры с возможностью питания от батарейного блока или от сетевого адаптера

- Следующие шесть функций: **Прямоугольник**, **Окружность**, **Особая форма**, **Фигура**, **Линия** и **Кривая Безье** — служат для создания обычных графических примитивов. Обратите внимание на функцию **Особая форма**, через которую можно нарисовать даже синусоиду.

  Наиболее употребительная функция здесь, понятно, **Линия** — с ее помощью проводятся соединения выводов компонентов. С непривычки линию провести непросто (вот они, особенности векторных редакторов!): надо соединить нужные точки с помощью левой кнопки мыши, при этом концы линии «прилипнут» к ближайшему выводу (при включенном выравнивании по сетке). Если отпустить левую кнопку на пустом месте, то образуется узел, от которого потом ли-

нию можно вести в другом направлении. Для окончания линии нужно проделать нетривиальное действие: отпустить левую кнопку, кратковременно нажать ее еще раз (как бы зафиксировав окончание), а затем кратковременно нажать правую кнопку. Если нажать правую кнопку сразу после отпускания левой, то проведенная линия исчезнет (отмена операции) — таким образом можно измерять расстояния на чертежах, хотя для этого есть и специальный инструмент (последний в панели меню слева). Измеренные расстояния и углы демонстрируются в нижнем меню. Не ленитесь изучать контекстные меню различных компонентов, в том числе и линий, — с их помощью можно проделать еще много разных операций.

- Далее идет функция **Размеры** — для простановки размеров, в принципиальных схемах не употребляющаяся, а после нее — очень нужная функция простановки **Точек соединений**.
- За ней следуют две также полезные функции для нанесения надписей (в одной строке и в целом текстовом блоке).
- И последняя, которая нас интересует, — функция **Рисунок** для вставки растровой картинки (впрочем, ее можно вставить и просто через буфер обмена). Размеры вставленного растрового изображения можно масштабировать обычным способом — ухватив за один из квадратиков по границам выделенного рисунка.

Этим кратким изложением основных функций sPlan мы поневоле ограничимся, потому что функциональность этой программы настолько велика, что описание всех доступных пунктов основных и контекстных меню с их краткими характеристиками может занять отдельную немаленькую главу.

Заметим напоследок, что существуют два варианта sPlan: обычная и Portable-версия, которую можно с собой таскать на флешке. Почему-то они отличаются содержанием главного меню, и о причинах этого явления нигде не упоминается. Вообще-то любую версию можно таскать с собой и размножать простым копированием папки с программой, что несомненный плюс в пользу простоты использования sPlan.

## Программа для раскладки плат Sprint-Layout

Это также простая в освоении программа (рис. 3.13), самая серьезная трудность в изучении которой — освоить правильную терминологию и понять, чем отличается паяльная маска от слоя маркировки. Официальной русскоязычной версии Sprint-Layout так и не появилось, однако неофициальный перевод, сделанный энтузиастами, совсем неплох. Правда, из-за него возникла путаница в номерах версий: самодеятельные переводчики совершенно безосновательно назвали русскоязычную версию Sprint-Layout 6.0 Rus, хотя это просто Sprint-Layout 5.0 с некоторыми изменениями интерфейса. Существует и официальная Sprint-Layout 6.0 на английском. На домашней странице программы[3] вы можете выбрать для скачивания нужный вам вариант комплектации программы, с русскоязычным или англоязычным интерфейсом, а также ознакомиться с довольно внятно написанным руководством.

[3] См. **https://cxem.net/software/sprint_layout.php**.