
Учитель Начальной
электронный
хирург.
Полный
курс
ремонта

Учитель Начальной

Электронный хирург. Полный курс ремонта устройств

https://litres.ru/74735782
SelfPub; 2026

Аннотация

«Электронный хирург. Полный курс ремонта устройств» — практическое руководство, которое проведёт читателя от первых шагов в ремонте до уверенной работы с сложной электроникой и построения собственной мастерской. Через 30 глав ученик осваивает не только пайку, диагностику и работу с приборами, но и системный подход к профессии: ведение базы знаний, планирование развития, работу с клиентами, ценообразование и юридические нюансы. Каждая глава построена как решение конкретной учебной задачи, а «крючки» в конце мотивируют двигаться дальше. Автор раскрывает типичные ошибки новичков и показывает, как превратить навыки в стабильный доход. Особое внимание уделено безопасности: работа с сетевым напряжением, остаточным зарядом конденсаторов и другими рисками подаётся без упрощений. Курс сочетает теорию и практику, делая акцент на реальных кейсах и воспроизводимых методиках. Книга подойдёт тем, кто хочет не просто «починить», а стать профессиональным мастером и выстроить системную работу.

Содержание

Глава 1 4
Глава 2 15
Глава 3 26
Глава 4 37
Глава 5 47
Глава 6 58
Конец ознакомительного фрагмента. 66

Учитель Начальной Электронный хирург. Полный курс ремонта устройств

Глава 1
Глава 1. Почему сломанное — это не мусор

Сцена первая: курьёз на кухонном столе

Вечер вторника. На кухонном столе, рядом с недопитым чаем, лежит зарядная станция для телефона. Чёрный брусок пластика, весом с ладонь. Накануне она погасла — синий индикатор не загорелся, телефон не заряжается. Хозяин станции, человек вполне себе современный и уверенный, что «разбирать ничего нельзя — там же высокое напряжение», уже достал телефон, чтобы заказать на маркетплейсе новую. Такая же стоит четыреста девяносто рублей. Неделя ожидания.

А теперь посмотрите на эту сцену глазами человека, который занимается ремонтом профессионально. Он смотрит на

«мёртвый» брусок и видит не мусор. Он видит головоломку, у которой есть решение, и решение это, вероятнее всего, обойдётся в один предохранитель за пятнадцать рублей и двадцать минут работы.

И вот здесь начинается самое интересное. Потому что разница между «выбросить и купить» и «починить за вечер» — это не разница в умении паять. Это разница в способе думать. Пайке научиться можно за месяц. А вот думать иначе — этому и посвящена вся эта книга.

Уважение к сломанной вещи

Начнём с неудобного вопроса: а зачем вообще чинить? Новый стоит дёшево, ремонт стоит времени. Ответ у каждого свой, но у ремонтного сообщества он звучит так: сломанная вещь — это не потеря, а сообщение. Она говорит: «Во мне что-то произошло, и это что-то можно понять».

Отношение к поломке — это, по сути, выбор между двумя ролями. Первый человек — потребитель. Для него устройство — чёрный ящик: работало — перестало — заменить. Второй человек — диагност. Для него то же устройство — система с историей: что-то в этой истории пошло не так, и его задача — прочитать следы. Первый платит дважды: деньгами и незнанием. Второй платит временем, но со временем его время становится всё дешевле — потому что опыт, однажды накопленный, переносится с устройства на устройство. Треснувший паяный шов в зарядке и треснувший шов в материнской плате — это одна и та же болезнь. Потребитель

встретит её как две разные беды. Диагност встретит её один раз.

Есть и третья причина, менее очевидная. Ремонт — это один из немногих видов деятельности, где возвращается чувство контроля над миром вещей. Мы живём среди сотен устройств, ни одно из которых не умеем открыть. Человек, который понимает, как устроен его чайник, его роутер и его станция зарядки, живёт среди знакомых. Остальные — среди незнакомцев, которые в любой момент могут выйти из строя.

Ну и экономика. Четыреста девяносто рублей — не деньги. Но представьте, что вы за год отремонтировали: три зарядки, два роутера, микроволновку (плата управления), чайник, наушники и материнскую плату племянника. В деньгах это несколько десятков тысяч. В опыте — целые классы дефектов, которые вы теперь встречаете как старых знакомых. В деньгах и опыте одновременно — уверенность, которая не продаётся: вы знаете, что почти любую поломку можно понять.

Но философия философией, а мастеру нужен метод. Как устроена типовая поломка изнутри? Приступим.

Анатомия поломки: три поезда мысли

Вот главный секрет, который экономит профессионалам сотни часов. Любое электронное устройство, каким бы сложным оно ни казалось — микроволновка, сервер, робот-пылесос, — работает по одной и той же логической схеме. Услов-

но её называют питание → логика → периферия. Представьте три поезда, идущие по одной колее строго друг за другом: второй не поедет, пока стоит первый, а третий не поедет, пока стоит второй.

Первый поезд — питание. Это всё, что превращает розетку (или батарею) в рабочее напряжение для схемы: блоки питания, стабилизаторы, цепи заряда, предохранители. Если на плате нет правильных напряжений — дальше обсуждать нечего. Схема без питания не «сломана частично», она мертва целиком, и искать что-то ещё, пока не найдено питание, — трата времени.

Второй поезд — логика. Это мозг: микроконтроллеры, микросхемы памяти, вся интеллектура устройства. Питание пришло, но мозг не просыпается? Тогда виноват кто-то из этого второго вагона. Сюда же относятся тактовые генераторы (микрочипы «сердцебиения» схемы — без тактового сигнала процессор, как оркестр без дирижёра, не играет), цепи сброса, часы реального времени.

Третий поезд — периферия. Всё, с чем устройство общается с миром: экраны, динамики, моторы, датчики, порты. Питание есть, мозг думает, но зарядка не моргает индикатором? Проблема где-то в третьем вагоне.

Зачем эта схема? Зачем она здесь, в первой главе, а не где-нибудь ближе к практике? Потому что это скелет любого диагностического мышления. Профессионал не смотрит на устройство как на кучу деталей. Он сначала спрашивает: «На

каком поезде стоит беда?» И только потом — какие именно детали этого поезда подозрительны.

Пример, чтобы не быть голословными. Устройство — домашний вентилятор с пультом. Симптом: не включается вообще, никакой реакции. Новичок первым делом развинчивает корпус и смотрит на мотор. Ошибка: мотор — это периферия, третий поезд. А до него ещё нужно доехать. Первым делом профессионал проверит розетку (да, да — это случается), затем сетевой шнур и предохранитель, затем, если есть, — плату питания. И только убедившись, что на схему приходит внятное напряжение, перейдёт к логике и мотору.

Правило трёх поездов, применённое вслух, звучит так: «Есть ли питание? Есть ли признаки жизни у мозга? Работает ли периферия?» Три вопроса — и вы уже в системе координат, а не тыкаете наугад.

Классификация дефектов: холодные, горячие, плавающие

Разберём вторую опору диагностического мышления. Профессионалы делят все дефекты на три больших класса, и это деление — не академика ради, а практика ради. Потому что каждый класс требует своего подхода к поиску.

Холодный дефект

Так называют неисправность, которая есть всегда и которую видно сразу: обрыв дорожки, сгоревший предохранитель, треснувший керамический конденсатор, разболтавшийся разъём. «Холодный» — не потому что к вечеру осты-

вает, а потому что дефект не зависит от температуры и состояния устройства: оно либо мертво всегда, либо не выполняет свою функцию всегда. С этим классом проще всего — он не умеет прятаться. Чаще всего хватает внимательного осмотра и пары измерений мультиметром.

Пример из жизни: зарядное устройство перестало работать после падения на пол. Это почти стопроцентный холодный дефект — что-то отвалилось от удара механически. Метод поиска: осмотр (ищем трещины пайки на массивных деталях — силовых разъёмах, трансформаторах), прозвонка предохранителя и цепей питания. Найдено — заменено. Пятнадцать минут.

Горячий дефект

Противоположная история. Дефект, который появляется только после прогрева. Устройство работает нормально пять минут, полчаса, час — а потом начинает глючить или отключается. Типичные виновники: электролитические конденсаторы, теряющие ёмкость с нагревом, полупроводники, у которых с температурой меняются параметры, и микротрещины пайки, которые при нагреве расширяются и теряют контакт.

Пример: телевизор, который «через час работы рассыпается на полосы». Холодный старт — норма. Через час — беда. Классический горячий дефект. Диагностика тут хитрее: нужно воспроизвести условия (прогреть устройство) и локализовать источник. Метод — тепловизор, либо «народный

способ»: аккуратно, с расстояния, направить струю холодного воздуха (аэрозольный охладитель) на подозрительные компоненты. Если дефект «отпустило» — виновник найден.

Плавающий дефект

Самый коварный и самый интересный класс. Дефект, который то есть, то нет, и закономерность, по которой он появляется, неочевидна. Устройство работает нормально, потом внезапно глючит. Иногда помогает перезапуск, иногда не помогает ничего. Иногда глюк «прилипает» к определённому времени суток, иногда — к погоде, иногда — к тому, что рядом кто-то включил микроволновку.

Плавающие дефекты — это и плохой контакт, «оживающий» от лёгкого прикосновения; и деградация конденсатора, которая в определённый момент времени хуже, чем в другой; и помехи от соседней техники; и программные сбои, которые маскируются под аппаратные. С ними нельзя работать спонтанно — только по системе: фиксируем условия появления дефекта, сужаем круг переменных, ищем закономерность. Об этом — отдельная глава (17-я), потому что тема заслуживает.

Зачем нужно это деление на холодные, горячие и плавающие? Потому что оно определяет стратегию поиска. Холодный дефект ищут осмотром и прозвонкой. Горячий — воспроизводством условий и тепловыми методами. Плавающий — статистикой и методологией наблюдения. Один и тот же симптом — «не работает» — может принадлежать любому

из трёх классов, и прежде чем брать паяльник, диагност задаёт себе вопрос: «Какой это дефект по классификации?» Ответ на этот вопрос экономит часы.

Как читать устройство: принцип «сначала спроси, потом режь»

Ещё один принцип, который стоит усвоить с первой страницы. У начинающих есть инстинктивная тяга немедленно разобрать всё, что не работает. Оказаться внутри, увидеть «начинку», почесать голову. Это естественно. И это почти всегда ошибка.

Профессиональный подход начинается до отвёртки. С этапа «собрать анамнез», как сказал бы врач. Устройство говорит о себе ещё до вскрытия — нужно уметь слушать. Вот минимальный список вопросов, на которые стоит получить ответы прежде, чем снять первую крышку:

Что случилось и когда? Поломка мгновенная или нарастала? После какого события — грозы, падения, залития чаем, обновления ПО?

Что именно не работает? «Не включается» и «включается, но нет звука» — это принципиально разные задачи.

Дефект постоянный или intermittent (плавающий)? Воспроизводится каждый раз или через раз?

Что уже пробовали? Иногда половину работы сделал кто-то до вас — важно знать, что именно.

Какова ценность устройства? Это определяет глубину вмешательства: о пятирублёвом чайнике можно думать ина-

че, чем о профессиональной камере за сто тысяч.

Записывайте ответы — хотя бы в заметках на телефоне. Это первый шаг к дневнику ремонта, привычке, которая кажется избыточной новичку и оказывается бесценной через полгода. В этом дневнике фиксируются симптомы, гипотезы, измерения и результаты. Через полгода вы будете листать его и удивляться тому, сколько задач уже умеете решать с закрытыми глазами. А главное — этот дневник превращает случайные находки в систему знаний, а не в разрозненные воспоминания.

Интригующая загадка: мёртвая зарядная станция

А теперь — обещанная сцена с начала главы. Той самой зарядной станции с кухонного стола. Рассмотрим её внимательно, как это сделал бы профессионал.

Устройство: компактная зарядная станция с сетевой вилкой, внутри — импульсный блок питания (о таких мы будем говорить подробно в главах 12 и 24; пока достаточно знать, что это «переводчик» с языка сетевых 220 вольт на язык телефона — 5 вольт). Симптом: при подключении к розетке нет никакой реакции — индикатор не горит, телефон не заряжается. Хозяин утверждает, что станция упала со стола на пол за день до поломки.

А теперь — задание, которое пронесём через ближайшие главы, как нить через ткань. Где спрятана поломка?

Наивный ответ: «Сгорела микросхема». Пугающий ответ: «Нужен новый блок питания целиком». Профессиональная

гипотеза звучит иначе: «Скорее всего, от удара нарушился механический контакт — треснул паяный шов или подложил предохранитель». И это ещё не весь ответ. В главе 3 мы познакомимся с законом Ома — а в контексте этой загадки он покажет нечто, чего вы сейчас, скорее всего, не ждёте. Оказывается, в этой станции есть одна деталь, которая одновременно и защищает станцию, и виновата в её поломке, и это не предохранитель. Неочевидно? Именно. Поэтому удержите эту загадку в голове — ответ будет в главе 3, и он изменит ваше понимание даже такого простого устройства, как зарядка для телефона.

Что вы теперь знаете

Пройдёмся по тому, что легло в фундамент этой главы — и всей книги:

1. Сломанная вещь — это сообщение, а не мусор. Ремонт выгоден деньгами, опытом и тем редким чувством, что мир вокруг вас — понятный.

2. Три поезда мысли: питание → логика → периферия. Любая диагностика начинается с вопроса: на каком поезде стоит беда?

3. Три класса дефектов: холодные (постоянные, ищутся осмотром), горячие (появляются после прогрева, ищутся тепловыми методами), плавающие (непредсказуемые, ищутся методологией).

4. Сначала анамнез, потом отвёртка. Собирайте сведения об устройстве до вскрытия и ведите дневник ремонтов — это

превращает случайности в систему.

И последняя мысль — потому что она определяет всё, что будет дальше. В этой книге нет «волшебных приёмов», которые работают сразу и всегда. Есть метод, который работает системно: думать, прежде чем паять; измерять, прежде чем заменять; проверять, прежде чем хоронить. Пайка — навык механический, и научиться ему можно. А вот ход мысли — навык интеллектуальный, и он потребует времени. Время это вернётся вам сторицей в виде скорости и уверенности, которые будут расти с каждой главой.

Апрельский холодок нетерпения не помешает, но впереди — тема, о которой принято шутить, и зря: безопасность. В следующей главе мы поговорим о том, как остаться живым и здоровым в мире, где напряжение измеряется сотнями вольт, а конденсатор может хранить заряд после отключения от розетки неделями. Правило номер один этой книги звучит просто и безальтернативно: живой мастер — жив.

Глава 2
Глава 1. Почему сломанное — это не мусор

Сцена первая: курьёз на кухонном столе

Вечер вторника. На кухонном столе, рядом с недопитым чаем, лежит зарядная станция для телефона. Чёрный брусок пластика, весом с ладонь. Накануне она погасла — синий индикатор не загорелся, телефон не заряжается. Хозяин станции, человек вполне себе современный и уверенный, что «разбирать ничего нельзя — там же высокое напряжение», уже достал телефон, чтобы заказать на маркетплейсе новую. Такая же стоит четыреста девяносто рублей. Неделя ожидания.

А теперь посмотрите на эту сцену глазами человека, который занимается ремонтом профессионально. Он смотрит на «мёртвый» брусок и видит не мусор. Он видит головоломку, у которой есть решение, и решение это, вероятнее всего, обойдётся в один предохранитель за пятнадцать рублей и двадцать минут работы.

И вот здесь начинается самое интересное. Потому что разница между «выбросить и купить» и «починить за вечер» — это не разница в умении паять. Это разница в способе думать. Пайке научиться можно за месяц. А вот думать иначе

— этому и посвящена вся эта книга.

Уважение к сломанной вещи

Начнём с неудобного вопроса: а зачем вообще чинить? Новый стоит дёшево, ремонт стоит времени. Ответ у каждого свой, но у ремонтного сообщества он звучит так: сломанная вещь — это не потеря, а сообщение. Она говорит: «Во мне что-то произошло, и это что-то можно понять».

Отношение к поломке — это, по сути, выбор между двумя ролями. Первый человек — потребитель. Для него устройство — чёрный ящик: работало — перестало — заменить. Второй человек — диагност. Для него то же устройство — система с историей: что-то в этой истории пошло не так, и его задача — прочитать следы. Первый платит дважды: деньгами и незнанием. Второй платит временем, но со временем его время становится всё дешевле — потому что опыт, однажды накопленный, переносится с устройства на устройство. Треснувший паяный шов в зарядке и треснувший шов в материнской плате — это одна и та же болезнь. Потребитель встретит её как две разные беды. Диагност встретит её один раз.

Есть и третья причина, менее очевидная. Ремонт — это один из немногих видов деятельности, где возвращается чувство контроля над миром вещей. Мы живём среди сотен устройств, ни одно из которых не умеем открыть. Человек, который понимает, как устроен его чайник, его роутер и его станция зарядки, живёт среди знакомых. Остальные — сре-

ди незнакомцев, которые в любой момент могут выйти из строя.

Ну и экономика. Четыреста девяносто рублей — не деньги. Но представьте, что вы за год отремонтировали: три зарядки, два роутера, микроволновку (плата управления), чайник, наушники и материнскую плату племянника. В деньгах это несколько десятков тысяч. В опыте — целые классы дефектов, которые вы теперь встречаете как старых знакомых. В деньгах и опыте одновременно — уверенность, которая не продаётся: вы знаете, что почти любую поломку можно понять.

Но философия философией, а мастеру нужен метод. Как устроена типовая поломка изнутри? Приступим.

Анатомия поломки: три поезда мысли

Вот главный секрет, который экономит профессионалам сотни часов. Любое электронное устройство, каким бы сложным оно ни казалось — микроволновка, сервер, робот-пылесос, — работает по одной и той же логической схеме. Условно её называют питание → логика → периферия. Представьте три поезда, идущие по одной колее строго друг за другом: второй не поедет, пока стоит первый, а третий не поедет, пока стоит второй.

Первый поезд — питание. Это всё, что превращает розетку (или батарею) в рабочее напряжение для схемы: блоки питания, стабилизаторы, цепи заряда, предохранители. Если на плате нет правильных напряжений — дальше обсуждать

нечего. Схема без питания не «сломана частично», она мертва целиком, и искать что-то ещё, пока не найдено питание, — трата времени.

Второй поезд — логика. Это мозг: микроконтроллеры, микросхемы памяти, вся интеллектура устройства. Питание пришло, но мозг не просыпается? Тогда виноват кто-то из этого второго вагона. Сюда же относятся тактовые генераторы (микрочипы «сердцебиения» схемы — без тактового сигнала процессор, как оркестр без дирижёра, не играет), цепи сброса, часы реального времени.

Третий поезд — периферия. Всё, с чем устройство общается с миром: экраны, динамики, моторы, датчики, порты. Питание есть, мозг думает, но зарядка не моргает индикатором? Проблема где-то в третьем вагоне.

Зачем эта схема? Зачем она здесь, в первой главе, а не где-нибудь ближе к практике? Потому что это скелет любого диагностического мышления. Профессионал не смотрит на устройство как на кучу деталей. Он сначала спрашивает: «На каком поезде стоит беда?» И только потом — какие именно детали этого поезда подозрительны.

Пример, чтобы не быть голословными. Устройство — домашний вентилятор с пультом. Симптом: не включается вообще, никакой реакции. Новичок первым делом развинчивает корпус и смотрит на мотор. Ошибка: мотор — это периферия, третий поезд. А до него ещё нужно доехать. Первым делом профессионал проверит розетку (да, да — это случает-

ся), затем сетевой шнур и предохранитель, затем, если есть, — плату питания. И только убедившись, что на схему приходит внятное напряжение, перейдёт к логике и мотору.

Правило трёх поездов, применённое вслух, звучит так: «Есть ли питание? Есть ли признаки жизни у мозга? Работает ли периферия?» Три вопроса — и вы уже в системе координат, а не тыкаете наугад.

Классификация дефектов: холодные, горячие, плавающие

Разберём вторую опору диагностического мышления. Профессионалы делят все дефекты на три больших класса, и это деление — не академика ради, а практика ради. Потому что каждый класс требует своего подхода к поиску.

Холодный дефект

Так называют неисправность, которая есть всегда и которую видно сразу: обрыв дорожки, сгоревший предохранитель, треснувший керамический конденсатор, разболтавшийся разъём. «Холодный» — не потому что к вечеру остывает, а потому что дефект не зависит от температуры и состояния устройства: оно либо мертво всегда, либо не выполняет свою функцию всегда. С этим классом проще всего — он не умеет прятаться. Чаще всего хватает внимательного осмотра и пары измерений мультиметром.

Пример из жизни: зарядное устройство перестало работать после падения на пол. Это почти стопроцентный холодный дефект — что-то отвалилось от удара механически.

Метод поиска: осмотр (ищем трещины пайки на массивных деталях — силовых разъёмах, трансформаторах), прозвонка предохранителя и цепей питания. Найдено — заменено. Пятнадцать минут.

Горячий дефект

Противоположная история. Дефект, который появляется только после прогрева. Устройство работает нормально пять минут, полчаса, час — а потом начинает глючить или отключается. Типичные виновники: электролитические конденсаторы, теряющие ёмкость с нагревом, полупроводники, у которых с температурой меняются параметры, и микротрещины пайки, которые при нагреве расширяются и теряют контакт.

Пример: телевизор, который «через час работы рассыпается на полосы». Холодный старт — норма. Через час — беда. Классический горячий дефект. Диагностика тут хитрее: нужно воспроизвести условия (прогреть устройство) и локализовать источник. Метод — тепловизор, либо «народный способ»: аккуратно, с расстояния, направить струю холодного воздуха (аэрозольный охладитель) на подозрительные компоненты. Если дефект «отпустило» — виновник найден.

Плавающий дефект

Самый коварный и самый интересный класс. Дефект, который то есть, то нет, и закономерность, по которой он появляется, неочевидна. Устройство работает нормально, потом внезапно глючит. Иногда помогает перезапуск, иногда

не помогает ничего. Иногда глюк «прилипает» к определённому времени суток, иногда — к погоде, иногда — к тому, что рядом кто-то включил микроволновку.

Плавающие дефекты — это и плохой контакт, «оживающий» от лёгкого прикосновения; и деградация конденсатора, которая в определённый момент времени хуже, чем в другой; и помехи от соседней техники; и программные сбои, которые маскируются под аппаратные. С ними нельзя работать спонтанно — только по системе: фиксируем условия появления дефекта, сужаем круг переменных, ищем закономерность. Об этом — отдельная глава (17-я), потому что тема заслуживает.

Зачем нужно это деление на холодные, горячие и плавающие? Потому что оно определяет стратегию поиска. Холодный дефект ищут осмотром и прозвонкой. Горячий — воспроизводством условий и тепловыми методами. Плавающий — статистикой и методологией наблюдения. Один и тот же симптом — «не работает» — может принадлежать любому из трёх классов, и прежде чем брать паяльник, диагност задаёт себе вопрос: «Какой это дефект по классификации?» Ответ на этот вопрос экономит часы.

Как читать устройство: принцип «сначала спроси, потом режь»

Ещё один принцип, который стоит усвоить с первой страницы. У начинающих есть инстинктивная тяга немедленно разобрать всё, что не работает. Оказаться внутри, увидеть

«начинку», почесать голову. Это естественно. И это почти всегда ошибка.

Профессиональный подход начинается до отвёртки. С этапа «собрать анамнез», как сказал бы врач. Устройство говорит о себе ещё до вскрытия — нужно уметь слушать. Вот минимальный список вопросов, на которые стоит получить ответы прежде, чем снять первую крышку:

Что случилось и когда? Поломка мгновенная или нарастала? После какого события — грозы, падения, залития чаем, обновления ПО?

Что именно не работает? «Не включается» и «включается, но нет звука» — это принципиально разные задачи.

Дефект постоянный или intermittent (плавающий)? Воспроизводится каждый раз или через раз?

Что уже пробовали? Иногда половину работы сделал кто-то до вас — важно знать, что именно.

Какова ценность устройства? Это определяет глубину вмешательства: о пятирублёвом чайнике можно думать иначе, чем о профессиональной камере за сто тысяч.

Записывайте ответы — хотя бы в заметках на телефоне. Это первый шаг к дневнику ремонта, привычке, которая кажется избыточной новичку и оказывается бесценной через полгода. В этом дневнике фиксируются симптомы, гипотезы, измерения и результаты. Через полгода вы будете листать его и удивляться тому, сколько задач уже умеете решать с закрытыми глазами. А главное — этот дневник превращает

случайные находки в систему знаний, а не в разрозненные воспоминания.

Интригующая загадка: мёртвая зарядная станция

А теперь — обещанная сцена с начала главы. Той самой зарядной станции с кухонного стола. Рассмотрим её внимательно, как это сделал бы профессионал.

Устройство: компактная зарядная станция с сетевой вилкой, внутри — импульсный блок питания (о таких мы будем говорить подробно в главах 12 и 24; пока достаточно знать, что это «переводчик» с языка сетевых 220 вольт на язык телефона — 5 вольт). Симптом: при подключении к розетке нет никакой реакции — индикатор не горит, телефон не заряжается. Хозяин утверждает, что станция упала со стола на пол за день до поломки.

А теперь — задание, которое пронесём через ближайшие главы, как нить через ткань. Где спрятана поломка?

Наивный ответ: «Сгорела микросхема». Пугающий ответ: «Нужен новый блок питания целиком». Профессиональная гипотеза звучит иначе: «Скорее всего, от удара нарушился механический контакт — треснул паяный шов или подложил предохранитель». И это ещё не весь ответ. В главе 3 мы познакомимся с законом Ома — а в контексте этой загадки он покажет нечто, чего вы сейчас, скорее всего, не ждёте. Оказывается, в этой станции есть одна деталь, которая одновременно и защищает станцию, и виновата в её поломке, и это не предохранитель. Неочевидно? Именно. Поэтому удержи-

те эту загадку в голове — ответ будет в главе 3, и он изменит ваше понимание даже такого простого устройства, как зарядка для телефона.

Что вы теперь знаете

Пройдёмся по тому, что легло в фундамент этой главы — и всей книги:

1. Сломанная вещь — это сообщение, а не мусор. Ремонт выгоден деньгами, опытом и тем редким чувством, что мир вокруг вас — понятный.

2. Три поезда мысли: питание → логика → периферия. Любая диагностика начинается с вопроса: на каком поезде стоит беда?

3. Три класса дефектов: холодные (постоянные, ищутся осмотром), горячие (появляются после прогрева, ищутся тепловыми методами), плавающие (непредсказуемые, ищутся методологией).

4. Сначала анамнез, потом отвёртка. Собирайте сведения об устройстве до вскрытия и ведите дневник ремонтов — это превращает случайности в систему.

И последняя мысль — потому что она определяет всё, что будет дальше. В этой книге нет «волшебных приёмов», которые работают сразу и всегда. Есть метод, который работает системно: думать, прежде чем паять; измерять, прежде чем заменять; проверять, прежде чем хоронить. Пайка — навык механический, и научиться ему можно. А вот ход мысли — навык интеллектуальный, и он потребует времени. Время это

вернётся вам сторицей в виде скорости и уверенности, которые будут расти с каждой главой.

Апрельский холодок нетерпения не помешает, но впереди — тема, о которой принято шутить, и зря: безопасность. В следующей главе мы поговорим о том, как остаться живым и здоровым в мире, где напряжение измеряется сотнями вольт, а конденсатор может хранить заряд после отключения от розетки неделями. Правило номер один этой книги звучит просто и безальтернативно: живой мастер — жив.

Глава 3
Глава 3. Ток, напряжение и три закона, которые решают 90% проблем

Мастер, о котором мы говорили в прошлой главе, теперь знает главное: он не трогает плату, пока не разрядил конденсаторы, не надел коврик под ноги и не проверил, что розетка обесточена. Он жив. Но, положив руку на «мёртвую» зарядную станцию со стола из первой главы, он сталкивается с новой проблемой. Перед ним плата, на ней два десятка деталей, и ни одна не кричит о своей поломке. Обрывка дыма нет, чёрного пятна нет, запаха гари нет. Что теперь?

А теперь начинается работа головы. И работа эта опирается на три закона — точнее, на одну тройку взаимосвязанных понятий, которую школьники учат в восьмом классе и которую девяносто процентов взрослых успели забыть. Это несправедливо, потому что закон Ома — не абстракция для контрольной. Это самый используемый инструмент ремонтника, чаще паяльника и чаще мультиметра. С него начинается любой ремонт, им заканчивается любой спор.

Вода в трубах: самый честный словарь электричества

Прежде чем писать формулы, договоримся о языке. Элек-

тричество отлично описывается через воду, и эта аналогия — не детская упрощёнка, а рабочий инструмент, которым пользуются и опытные инженеры, объясняя друг другу схемы.

Представьте водопроводную систему.

Напряжение — это разница давления. Насос слева гонит воду под большим давлением, справа давление низкое, и вода течёт от высокого к низкому. Напряжение измеряется в вольтах и обозначается буквой \(U\). Розетка давит 220 вольт, батарейка — полтора, литиевый аккумулятор телефона — около четырёх.

Ток — это количество воды, протекающее через трубу за секунду. Измеряется в амперах, обозначается \(I\). Важно: ток не существует сам по себе — он всегда течёт по замкнутому кругу. Из розетки вода не «выливается»: она проходит через устройство и возвращается обратно. Поэтому в электрической цепи, как в системе отопления, всегда два провода: туда и обратно.

Сопротивление — это узость трубы. Измеряется в омах, обозначается \(R\). Тонкая труба — большое сопротивление — мало воды. Толстая — маленькое сопротивление — много. Резистор, деталь, которую вы видели на любой плате в виде полосатой бочонка-«кирпичика», — это специально сделанное узкое место в трубе. Он существует, чтобы дозировать поток.

Эти три величины не живут порознь. Они связаны жёстко,

как сообщающиеся сосуды, и связь эта — закон Ома.

Закон Ома: одна формула, trisuper-вопроса

Звучит закон так: ток в цепи равен напряжению, делённому на сопротивление.

\[I = \frac{U}{R}\]

Три буквы — и бесконечная польза. Разберём на живом примере, как это работает в руках ремонтника.

Пример первый. У нас есть светодиодный фонарик с батарейкой 3 вольта. Внутри стоит резистор 100 ом, который ограничивает ток через светодиод (сами светодиоды мы разберём в главе 8 — пока примем на веру, что им нельзя давать больше пары десятков миллиампер). Какой ток потечёт? Делим напряжение на сопротивление: \(I = 3 \div 100 = 0{,}03\) ампера, то есть 30 миллиампер. Всё, задача решена за одно деление. Если бы резистор был 30 ом — ток был бы 100 миллиампер, и светодиод погиб бы за минуты. Видите, как узость одной «трубы» решает судьбу прибора?

Пример второй, обратный. Мы измерили, что через нагревательную спираль течёт 2 ампера при напряжении 220 вольт. Каково её сопротивление? Переставляем формулу: \(R = U \div I = 220 \div 2 = 110\) ом. Заметьте: мы измерили одну величину прибором, вторую знаем, а третью вычислили. Это ключевой навык диагностики: не всё нужно мерить, многое можно посчитать. Мультиметр не измеряет ток так же просто, как напряжение (для этого цепь нужно разрывать), поэтому профессионалы часто меряют напряжение и

сопротивление, а ток — вычисляют.

Пример третий, диагностический. Лампа в гирлянде не светится. Мы измеряем на ней напряжение и видим... 220 вольт. Всё напряжение цепи осело на этой лампе — значит, ток через неё не течёт, а значит, её сопротивление бесконечно велико: она перегорела. Формула Ома сработала в обратную сторону — как детектив. Если на участке цепи есть всё напряжение, а тока нет, — этот участок и есть обрыв. Это одно из самых частых умозаключений в ремонте, и оно выросло из одной строчки.

Закон Ома — это первый закон. А где же второй и третий? Они про то, как соединяются детали между собой, и про то, куда уходит энергия.

Последовательно и параллельно: два способа жить вместе

Детали в схеме соединяются двумя принципиально разными способами, и путать их — значит гарантированно ошибаться в расчётах и диагнозах.

Последовательное соединение: очередь

Представьте очередь в кассу. Каждый человек задерживает общую очередь на своё время. В последовательной цепи детали стоят друг за другом, и через каждую течёт один и тот же ток — как вода в одной трубе с двумя сужениями подряд. Сопротивления при этом складываются:

\[R{\text{общ}} = R1 + R2\]

А вот напряжение делится между деталями — пропор-

ционально их сопротивлениям. На большое сопротивление приходится большая доля напряжения. Это правило «сильный берёт больше» работает и в обратную сторону: если у вас две детали в очереди и одна из них стала иметь очень большое сопротивление (скажем, полуподгоревший контакт), то почти всё напряжение цепи упадёт на ней. Этот факт — основа половины диагностических приёмов в книге.

Житейский пример: старые новогодние гирлянды. Лампочки в них стояли последовательно — и когда одна перегорала, гасла вся гирлянда. Почему? Потому что очередь прервалась: цепь разомкнулась, ток остановился. Логика безупречна и стоит того, чтобы запомнить её как принцип: в последовательной цепи слабое звено отключает всех.

Параллельное соединение: соседние квартиры

Теперь представьте дом, где каждая квартира подключена к общему стояку независимо. Выключили свет у соседа — у вас светло. Так работают параллельные цепи: детали подключены к одним и тем же двум точкам, на каждой одно и то же напряжение, а токи через них — свои, складываются в общий.

Общее сопротивление при параллельном соединении всегда меньше самого маленького из сопротивлений. Формула для двух деталей:

\[R{\text{общ}} = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}\]

Интуиция тут простая: вы прорезали в трубе дополнительное отверстие — воды потечёт больше, а не меньше. Вот

почему новичок часто недоумевает: «Я добавил ещё одну нагрузку — почему ток вырос?» Потому что параллельное отверстие в трубе добавляет пропускную способность.

Житейский пример: все розетки в вашей квартире. Холодильник, телевизор и чайник подключены параллельно — каждый получает свои 220 вольт независимо. Чайник включили — холодильник не мигнул. Если бы они были соединены последовательно, включение чайника уронило бы напряжение на холодильнике, и тот бы захлебнулся.

Почему это важно для ремонта? Потому что параллельное соединение — главный источник путаницы при измерениях. Мультиметр, приставленный к детали в схеме, часто измеряет не её сопротивление, а сопротивление параллельной ветки — и показывает совершенно чужую величину. Об этом будет подробно в главе 5; пока запомните сам факт: в схеме деталь почти никогда не меряется «чисто».

Мощность и тепло: куда уходит электричество

Третий закон связывает электричество с физическим миром — со теплом, светом и горелыми дорожками. Мощность равна произведению напряжения на ток:

\[P = U \times I\]

Измеряется в ваттах. Мощность — это скорость, с которой электричество превращается в другую энергию: свет, тепло, движение, звук. Чайник мощностью 2000 ватт превращает электричество в тепло с такой жадностью, что закипает за три минуты. Лампочка на 60 ватт делает то же самое, но

в основном в тепло и немного в свет — потому и устарела.

Для ремонтника особенно важна вторая форма этой формулы. Подставив закон Ома, получаем:

\[P = I^2 \times R\]

Читается так: тепло, выделяемое на сопротивлении, растёт пропорционально квадрату тока. Увеличили ток вдвое — тепло выросло вчетверо. Втрое — в девять раз. Это и есть фундаментальная причина всех выгораний в электронике. Деталь не «сгорает от злого умысла» — она сгорает оттого, что через неё пошёл слишком большой ток, и на её сопротивлении выделилась мощность, которую она физически не в состоянии рассеять. Резистор на 0,25 ватта, через который пошло 3 ватта, вздуется, почернеет и лопнет — закономерно, как перегруженная мостовая.

Отсюда же растёт интуиция, которую нельзя купить ни за какие деньги: греется то, через что течёт большой ток. Тепловизор, которым мы будем пользоваться в главе 15, — это буквально камера, снимающая квадрат тока. Там, где горячо, там через деталь течёт слишком много ампер, либо она превратилась в трубу с лишним сопротивлением.

Почему «просто поменяй деталь» не работает

А теперь — сцена, знакомая каждому сервисному мастеру. Приносит человек сгоревший блок питания. «Вот, конденсатор вздулся, поменяйте». Меняют. Через неделю — снова. И снова вздутый конденсатор.

Новичок в этом видит мистику. Профессионал — законо-

мерность. Конденсатор — не виновник, а жертва. Его убил ток, и ток этот продолжал бы убивать и новый, и третий. Виновник — где-то раньше по цепи: деградировавший стабилизатор, потерявший управление импульсный контроллер, высохший пусковой резистор. Пока первопричина жива, она будет методично казнить всех, кто встанет у неё на пути.

Это второй смысл закона Ома — не числовой, а философский. Формула говорит: ток, напряжение и сопротивление взаимосвязаны. Изменение в одном месте цепи мгновенно меняет режимы во всех остальных. Схема — не набор независимых деталей, а живой организм, где каждое звено работает в тех условиях, которые создают остальные. Поэтому настоящая диагностика всегда начинается не с вопроса «что заменить?», а с вопроса «почему эта деталь оказалась в перегруженном режиме?». Ответ на него и есть ремонт. Замена — это лишь уборка после.

Разгадка: мёртвая зарядная станция

Пришло время расплатиться по счёту первой главы. Помните загадку? Станция упала со стола, погасла, и в ней есть деталь, которая одновременно и защищает станцию, и виновата в её гибели. Не предохранитель.

Вот ответ. Внутри зарядной станции, между розеткой и импульсной схемой, стоит небольшая чёрная деталь с надписью вроде «NTC 10» или «NTC 5». Это термистор — резистор с необычным свойством: его сопротивление зависит от температуры. Холодный — он имеет большое сопротив-

ление, горячий — маленькое.

Зачем он там? Вспомним импульсный блок питания: в момент включения, пока конденсаторы внутри пусты, они жадно хватают ток. Хватают так, что бросок тока в первый момент может быть в десять раз выше рабочего — и способен убить диодный мост, выбить предохранитель, состарить конденсаторы. Термистор стоит в цепи как привратник: пока он холодный, он душит бросок своим высоким сопротивлением — и делает это бесплатно, без единой микросхемы. А потом, нагревшись от протекающего тока, его сопротивление падает почти до нуля — и он перестаёт мешать работе. Красивейшая деталь: сама себя настраивает.

А теперь — зачем нужен был закон Ома. Представьте: станция упала. Пайка термистора треснула — холодная пайка — и его сопротивление в цепи выросло с долей ома до десятков ом, а то и до разрыва. Что происходит? По закону Ома при малейшем токе на этом внезапном сопротивлении падает всё напряжение, а выделяемая мощность растёт квадратично. Деталь раскаляется. Через минуты включения она либо сгорает окончательно, размыкая цепь, либо успевает убить следующий компонент — и вот станция мертва.

Термистор защищал станцию от броска тока — и погиб первым, защитив. Или не успел — и открыл дорогу беде дальше. Это одна деталь, две роли, и ни один новичок не заподозрит её, потому что выглядит она как обычный резистор. Опытный диагност первым делом проверяет её про-

звонкой — потому что знает: в 220-вольтовых цепях её присутствие обязательно, а падения и вибрация — её главный враг.

Заметили, как работает метод? Не «угадай, что сломалось», а «пойми, как цепь должна работать — и найди, где она перестала работать так». Это и есть мышление ремонтника.

Задача-ловушка: лампа и резистор

Оставим вам на дорожку маленькую загадку — она заменит домашнее задание и подготовит почву для главы 5.

Ситуация. В мастерской висит переноска с двумя одинаковыми лампочками, соединёнными последовательно, — так экономили на проводе. Лампы стоят в патронах одна за другой. Первую меняли месяц назад. Вторая перегорает регулярно — третья за сезон. Хозяин уверен: дело в патроне, «там контакт плохой». Патрон меняли — горит по-прежнему та же лампа.

Вопрос: почему перегорает вторая, а не первая? Ведь соединение последовательное, ток через обе лампы одинаков, условия равные — а судьба у них разная. И, что тревожнее, при измерении мультиметром обе лампы показывают почти одинаковое сопротивление. Прибор честен, детали на вид одинаковы — а живут по-разному.

Подсказка спрятана в слове «параллельно» — точнее, в том, что мультиметр измеряет у лампочки одно сопротивление, а в работе у неё другое. Какое и почему — выясним в

главе 5, где мультиметр впервые покажет себя не только оракулом, но и обманщиком. А пока запишите загадку в дневник — и несите её дальше, по курсу.

Глава 4
Глава 4. Ящик хирурга: инструменты, которые окупятся за первый месяц

Загадка с двумя лампочками легла в дневник, закон Ома нашёл своё место рядом с правилом трёх поездов и классификацией дефектов. Пора доставать кошелёк — и говорить об инструментах. Сразу оговоримся: эта глава — не обзор «десяти лучших паяльников сезона». Это глава о том, как не купить лишнего и не купить дешёвку, которая отобьёт охоту к ремеслу. И о том, что в правильном ящике мастера есть один пункт, которого не найдёшь ни в одном магазине инструментов.

Сначала — философия ящика

Начнём с неудобной правды: инструменты — это не расходы, а инвестиции с самым быстрым возвратом во всём ремонтном деле. Плохой паяльник не просто «чуть хуже» — он создаёт проблемы, которых не существовало до ремонта: поднимает дорожки, перегревает компоненты, оставляет холодную пайку — ту самую, которую потом ищешь неделями. Плохой мультиметр не просто «менее точный» — он может показать безопасные 12 вольт там, где на самом деле 340, и

эта ошибка может стоить здоровья. Поэтому правило покупки инструментов звучит парадоксально: лучше меньше, но лучше.

Второй принцип: не покупайте инструменты про запас. Ящик, набитый «на всякий случай», — это кладбище денег. Опытные мастера приобретают инструмент под задачу: сначала появляется работа — потом инструмент для неё. Исключение одно: минимальный набор для старта, о котором ниже.

И третий принцип, который часто упускают: инструмент должен расти вместе с мастером. Начинающему не нужна станция за сорок тысяч — руки ещё не чувствуют разницы. Нужен честный паяльник с регулировкой температуры и время, чтобы руки научились чувствовать. Когда чувствительность появится (а она появится недели через три практики), разница между «хорошим» и «премиум» станет очевидной сама — и не раньше.

Минимальный набор: шесть предметов, без которых нельзя

Паяльник со стабилизацией температуры — сердце ящика

Забудьте о паяльниках за триста рублей, которые греются от розетки напрямую, без всякой регулировки. Они жгут дорожки, перегревают компоненты и холодным жалом делают холодную пайку — ту самую, из-за которой потом ловят призраков неделями. Рабочий минимум — паяльник со ста-

билизацией температуры и быстрым прогревом.

Что важно знать при выборе:

Регулировка температуры. Рабочие режимы таковы: около 300–320 °C для пайки компонентов на плате, 350 °C и выше — для демонтажа, 280 °C — для лужения и деликатных работ.

Быстрый прогрев — от холодного состояния до рабочего за 10–20 секунд. Это не роскошь: паяльник, который греется три минуты, раздражает, а раздражённый мастер начинает спешить — а спешка в пайке дорого стоит.

Сменные жала распространённого стандарта — чтобы они покупались без переплаты. Начинающему достаточно двух: острый конус для точной работы и плоский срез («отвертка») для лужения и пайки выводов.

Заземлённое жало. Тонкость, смысл которой раскроется позже, в главе 19: статическое электричество убивает нежные микросхемы, и заземлённое жало отводит его в землю, а не в чип.

Честный бюджетный вариант — паяльные станции со сменными нагревательными картриджами, где жало и нагреватель представляют собой единый картридж. Такие станции дают быстрый прогрев и стабильность температуры, стоят в районе 2500–4500 рублей, и для первых месяцев этого более чем достаточно. Часть суммы вернётся с первого же сложного ремонта — например, замены зарядного разъёма в телефоне, за которую в сервисе просят от полутора тысяч.

Фен — второй инструмент, без которого далеко не уедешь

Современная электроника — это компоненты поверхностного монтажа (SMD — от английского surface mounted device, «монтируемые на поверхность»; так называют миниатюрные детали, которые припаиваются прямо к поверхности платы без длинных выводов). Монтируются и демонтируются они теплом воздуха, а не жалом. Замена микросхем, снятие металлических экранов, демонтаж разъёмов — это работа фена. Для старта достаточно простого фена с регулировкой температуры и потока воздуха, в пределах 700–4500 рублей.

Главное правило фена: температура — не то же самое, что мощность потока. Для снятия микросхемы нужны 330–370 °C и слабый поток: сильный поток сдувает мелкие компоненты с платы и разбрызгивает расплавленный припой по соседним деталям. И два предостережения. Первое: не направляйте фен на разъёмы, шлейфы и резину — пластик ведёт, шлейфы коробит. Второе: защищайте соседние зоны каптоновой лентой и алюминиевым скотчем — иначе отогреете то, что не собирались трогать, и получите второй дефект вместо первого.

Каптоновая лента (kapton tape) — полиимидная лента янтарного цвета, которая выдерживает до 260 °C и не оставляет клея при снятии. Это расходник номер один во всей ремонтерской практике: она же заклеивает соседние зоны от

тепла, она же защищает контакты от налипания припоя. Купите три рулона сразу — заканчивается она всегда в самый неподходящий момент.

Мультиметр — глаза диагноста

О нём — отдельная глава, пятая, поэтому здесь только критерии выбора.

Для старта достаточно прибора, который умеет: измерять напряжение постоянное и переменное, ток до 10 ампер отдельным гнездом, сопротивление, прозвонку цепи и диод-тест. А главное требование — категория безопасности и предохранители в токовых гнёздах. Маркировка CAT II 600 В или CAT III 600 В на корпусе означает, что прибор рассчитан на реальные скачки напряжения в бытовой сети, а не только на «табличные» 220 вольт. Сменные предохранители в токовых гнёздах — единственное, что отделяет мастера от неприятного сюрприза, когда щупы случайно коснутся сетевого напряжения в режиме измерения тока: прибор с предохранителем молча пожертвует собой, прибор без него превратит щупы в проводник между двумя сотнями вольт и вашими руками.

И ещё одна деталь: щупы из комплекта почти всегда плохие — тонкие, с болтающимися наконечниками и ненадёжным контактом. Первая модернизация любого мультиметра — замена щупов. Стоит недорого, а качество измерений меняет радикально: щуп — это последний сантиметр между прибором и правдой.

Лупа с подсветкой — третье око

Работа с современной платой без увеличения — это как чтение мелкого шрифта без очков: возможно, но мучительно и с ошибками. Нужна лупа на гибкой стойке с увеличением ×5–×10 и кольцевой светодиодной подсветкой — стоит от шестисот рублей. Следующий шаг — USB-микроскоп за тысячу-полторы: он не только помогает при пайке, но и позволяет показать клиенту трещину, о существовании которой тот и не подозревал. А это, как выяснится в главе 29, уже вопрос репутации и денег.

Лабораторный блок питания с ограничением тока

Инструмент, который новички пропускают — и потом теряют недели. Лабораторный блок питания умеет две вещи: держать заданное напряжение и ограничивать ток. Суть — в ограничении. Вы ставите предел, скажем, 0,5 ампера и подключаете незнакомую плату. Если в ней короткое замыкание, блок не выдаст все свои амперы — он упрётся в ограничение: напряжение просядет, а стрелка амперметра застынет на отметке. Так вы безопасно подаёте питание на «пациента», не добивая его повторно, и одновременно получаете диагностический сигнал: плата с коротким замыканием проявит себя сразу же.

С законом Ома из главы 3 это связано напрямую: если в цепи образовалось низкое сопротивление, ток \(I = U/R\) стремится вырасти неограниченно — и только ограничитель лабораторного блока спасает и плату, и ваши нервы. Для

старта хватит одноканального блока на 30 вольт и 5 ампер, стоит от трёх тысяч рублей. Позже, в главе 12, выяснится, что это ещё и единственный способ проверить блок питания устройства, не вскрывая его.

Расходники: то, что заканчивается всегда

Припой — с канифольным флюсовым сердечником, диаметром 0,5–0,8 мм. Не используйте старые бабушкины запасы: современные сплавы и флюсы внутри проволоки экономят часы работы.

Флюс — гель или жидкость в отдельной баночке. Нужен при каждой пайке и особенно при демонтаже.

Оплётка для удаления припоя — медная оплётка, пропитанная флюсом: прикладывается к лишнему припою и «выпивает» его горячим жалом.

Изопропиловый спирт — для отмывки флюса. Плата, оставленная с флюсом, через полгода становится липкой и слегка проводящей. Плюс безворсовые салфетки и мягкая кисть.

Каптоновая лента — уже знакомая: три рулона.

Кусачки, пинцеты, пластиковые лопатки для вскрытия — «спуджер» (spudger, пластиковая лопатка, которой разбирают корпуса, не оставляя царапин), набор прецизионных отвёрток.

Бюджетные альтернативы: с чего начать, если бюджет — один бюджет

Минимальный стартовый набор реально собрать за 8–10

тысяч рублей:

паяльная станция с картриджами — около 3000;

фен — от 2000;

мультиметр с категорией CAT II — от 1200;

лупа с подсветкой — от 600;

лабораторный блок питания — от 3000 (или на первое время любой компьютерный блок питания формата ATX с небольшой доработкой — о нём подробно в главе 12);

расходники: припой, флюс, спирт, лента, нормальные щупы — около 1500.

Итого — меньше, чем один оригинальный дисплей для флагманского телефона. А окупаемость — с первого же месяца, если брать заказы хотя бы по выходным: один-два ремонта зарядных разъёмов возвращают половину ящика.

Как отличить рабочий инструмент от игрушки

Три признака игрушки:

1. Ни слова о категории безопасности (CAT) ни на корпусе, ни в паспорте. Значит, производитель не проектировал прибор для реальной сети — только для красивой картинки на упаковке.

2. Нет сменных предохранителей — или предохранитель наглухо «зашит» в корпус без доступа.

3. Обещания «профессиональный прибор за 599 рублей» — с почти стопроцентной вероятностью это маркетинг, а не спецификация.

И три признака рабочего инструмента: указана реальная

погрешность (а не абстрактная «высокая точность»), есть внятная инструкция с реальными режимами и предохранители доступны для замены. Правда об инструменте живёт не на коробке, а в паспорте — читайте паспорт, прежде чем платить.

Странный пункт: то, чего нет ни в одном магазине инструментов

А теперь — обещанный секрет этой главы. Перечитайте список выше: паяльник, фен, мультиметр, лупа, блок питания, расходники. Всё логично. И только один пункт выглядит так, будто его вписал человек, слегка перегревшийся на солнце. В ящике каждого опытного мастера лежит — сушёная апельсиновая корка.

Кусачки — понятно. Пинцеты — понятно. Корка апельсина — вот это уже интересно. Никакого отношения к чаепитию она не имеет. И, что самое поразительное, никакого отношения к электронике в привычном смысле — тоже. Для чего её используют при диагностике, почему эфирные масла этой корки дают эффект, которого не даёт ни один прибор, и как с её помощью находят то, что не видит ни лупа, ни мультиметр, — расскажем в главе 15. Скажем одно: этот приём входит в арсенал профессионалов, которые чинят то, что другие давно признали «неремонтопригодным». И стоит он ноль рублей.

Пока же ящик собран, лента отмотана, щупы заменены. Впереди — самый загадочный инструмент из всего набора:

мультиметр. Прибор, который стоит от силы полторы тысячи рублей, а решает больше половины диагностических задач. Прибор, которому вы будете верить больше, чем собственным глазам. И прибор, который, как выяснится уже в следующей главе, умеет врать — и врать убедительно. Как отличить его правду от лжи, почему он показывает «обрыв» на заведомо исправной плате и при чём тут слово «параллельно» — в главе 5.

Глава 5
Глава 5. Мультиметр: оракул, который умеет врать

Ящик собран. Паяльник греется за двадцать секунд, лента отрезана, лупа стоит на стойке. Остался последний инструмент из набора — и не последний по значению, а первый по частоте обращений. Мультиметр — это прибор, к которому мастер прикасается чаще, чем к паяльнику. За рабочий день у него в руках мультиметр бывает десятки раз, паяльник — единицы. И потому странно, что именно с мультиметром связано больше всего ошибок в диагностике. Не потому, что прибор плохой. Потому, что он умеет отвечать на вопросы, которые ему не задавали.

Но начнём по порядку — с того, что этот оракул умеет говорить.

Четыре голоса оракула

У мультиметра четыре основных режима, и каждый — это отдельный вид допроса схемы. Перепутать режим — всё равно что спросить у свидетеля о погоде, когда нужно узнать имя. Схема ответит, но ответ будет бессмысленным.

Напряжение: самый безопасный и самый частый допрос

Режим вольтметра — главный рабочий режим ремонтни-

ка. Он хорош тем, что измеряет напряжение в работающей цепи — без разрыва, без пайки, просто приложил щупы к двум точкам и прочитал ответ.

Правило приложения щупов звучит просто: щупы ставятся параллельно участку цепи. Хотите узнать напряжение на разъёме питания — коснитесь щупами контактов разъёма. Хотите узнать напряжение на резисторе — приложите щупы к его выводам. Вольтметр подключается всегда в обход, как приоткрытая форточка: он пропускает через себя крошечный ток и по нему судит о давлении.

Из закона Ома это следует напрямую: вольтметр спроектирован так, чтобы его собственное сопротивление было очень большим — мегаомы. Большое сопротивление — маленький ток — цепь не замечает «наблюдателя». Это правило станет камнем преткновения позже, и к нему мы вернёмся.

Практика для начинающего: первым делом при работе с любой платой меряются напряжения питания. Есть ли 5 вольт там, где должно быть 5? Есть ли 3,3 там, где должно быть 3,3? Это «первичный осмотр пациента» — и он же решает, на каком из трёх поездов (глава 1) остановилась беда.

Ток: допрос, требующий жертвенности

Режим амперметра работает по противоположному принципу. Амперметр должен впустить весь ток через себя — он включается в цепь последовательно, как контрольный пост на дороге: весь поток обязан пройти через пост.

Отсюда два следствия, которые новички узнают больно.

Первое: чтобы измерить ток, цепь придётся разорвать и в разрыв встроить прибор. Выпаять деталь, поднять один вывод, вставить щупы в образовавшуюся брешь. Это неудобно, поэтому профессионалы чаще делают иначе: меряют напряжение на известном резисторе и вычисляют ток по закону Ома, \(I = U/R\). Например, на токоизмерительном резисторе 0,1 ома упало 0,05 вольта — значит, ток 0,5 ампера. Быстро, без разрыва.

Второе: если включить амперметр параллельно источнику — то есть ткнуть щупами в розетку или в аккумулятор в режиме измерения тока — произойдёт короткое замыкание. Сопротивление амперметра почти нулевое, ток \(I = U/R\) стремится к бесконечности, и всё спасение — тот самый предохранитель в токовых гнёздах, о котором шла речь в главе 4. Он сгорает за миллисекунды и сто́ит копейки. Если же его нет — горит уже прибор, а иногда и рука. Отсюда незыблемое правило: перед включением режима проверь, в какое гнездо воткнут красный щуп. Большинство мультиметров имеют отдельные гнёзда: «мА» для миллиампер и «10А» для больших токов. Забытый в гнезде «мА» щуп — классическая причина как сгоревших предохранителей, так и сгоревших приборов.

Сопротивление: допрос мёртвой цепи

Режим омметра принципиально отличается от первых двух: он работает только на обесточенной схеме. Мульти-

метр сам подаёт на щупы небольшое известное напряжение, измеряет протекающий ток и вычисляет сопротивление по закону Ома. Именно поэтому:

измерять сопротивление в схеме под напряжением — значит мерить собственный, посторонний ток наряду с тестовым, и показания будут полной бессмыслицей;

если в схеме остались заряженные конденсаторы (глава 2!), они будут «мерить» вместо прибора и убивать показания — а иногда и сам прибор.

И вторая ловушка, главная в этой главе: сопротивление измеряется всегда двумя щупами между двумя точками. А значит, прибор «видит» не деталь, а всё, что лежит между этими точками — включая все параллельные пути. Запомним и отложим: к этому врагу мы вернёмся в конце главы.

Прозвонка: режим «да или нет»

Знакомый каждому писк. В режиме прозвонки мультиметр показывает лишь одно: сопротивление между щупами ниже или выше условного порога (обычно десятков ом). Ниже — пищит, «есть контакт». Выше — молчит, «обрыв».

Это грубый, но быстрый инструмент. Прозвонкой ищут: целостность проводов и дорожек, замкнувшие ключи, сгоревшие предохранители, «отвалившиеся» пайки. Прозвонкой проверяют, что щупы сами исправны: замкните их друг о друга — прибор обязан пискнуть. Если молчит — виноват не пациент, виноват измерительный тракт: щуп, гнездо, провод.

Диод-тест: недооценённый режим

Пятый, менее известный режим: мультиметр подаёт на щупы небольшое напряжение и показывает, при каком напряжении цепь «открылась». Для диодов это падение при прямом включении — около 0,6–0,7 вольта у кремниевых, около 2–3 вольт у светодиодов (и светодиод при этом слабо светится — бесплатная проверка живости). Диод-тестом проверяют диоды, транзисторные переходы и целость многих полупроводниковых цепей. О нём подробно — в главе 8; здесь запомним: это единственный режим, который «видит» полупроводник, потому что остальные три воспринимают диод просто как одностороннюю трубу.

Ошибка первая: измерять сопротивление в схеме

Разберём самую частую ошибку новичка на конкретном примере.

На плате стоит резистор с маркировкой 100 ом. Новичок, не выпаивая, прикладывает щупы к его выводам и видит на экране... 47 ом. Обман! Резистор бракованный, меняю. Меняет — и видит те же 47 ом. Паника: «Что за хитрый резистор?»

А хитрости нет. На плате резистор 100 ом не существует отдельно — он стоит в схеме, и параллельно ему подключены другие ветки. Мультиметр измерил суммарное сопротивление: резистор 100 ом и параллельная ветка, скажем, 90 ом. По формуле параллельного соединения из главы 3:

\[R_{\text{общ}} = \frac{100 \times 90}{100 + 90} \approx

47{,}4 \text{ ом}\]

Прибор честен. Он измерил именно то, что между щупами, — просто новичок думал, что между щупами только резистор. Из этого следует золотое правило диагностики: в схеме измеренное сопротивление почти всегда меньше номинала детали. Если мультиметр показал на плате значение больше номинала или равное ему — вот это уже сигнал: возможно, деталь мертва (разомкнулась) или рядом нет параллельных путей. А если меньше — это норма, а не дефект.

Отсюда же рабочая техника: сравнивай не с надписью на детали, а с такой же деталью на той же плате или с симметричным каналом. Левый и правый каналы усилителя, две одинаковые цепи питания — измерь обе и сравни. Расхождение укажет на больного быстрее, чем любой справочник.

Ошибка вторая: неправильный диапазон

У старых стрелочных и у простых цифровых приборов диапазоны выбираются вручную. Поставил диапазон «200 вольт» и меришь 400 — прибор покажет «1» или «перегрузку». Поставил «2000 ом» и меришь 2 ома — покажет «002», и ноль легко принять за мусор.

У современных авто-диапазонных приборов этой проблемы почти нет, но осталась другая: человек не смотрит на единицы измерения на экране. Экран говорит «4,70», а рядом маленькая буква: то ли «мВ», то ли «В». Разница — в тысячу раз. Ток 4,70 миллиампера и ток 4,70 ампера — это два разных мира, один из них убивает компоненты. Правило

простое: не прочитал единицы — не получил ответ. Сначала единицы, потом число.

И ещё нюанс с сопротивлением: у большинства мультиметров на малых диапазонах полезное сопротивление щупов и контактов добавляет к показаниям доли ома. Померили «0,3 ома» на проводе, который должен быть нулевым? Это не дефект — это сопротивление самих щупов. Для точных измерений малых сопротивлений делают так: замыкают щупы, запоминают показание, вычитают его из результата. Мелочь, а отличает аккуратного диагноста от небрежного.

Ошибка третья: слепая вера прибору

Мультиметр показывает среднее. Он не говорит, как ведёт себя напряжение во времени. Схема может выдавать 5 вольт, которые каждую миллисекунду проседают до нуля и обратно — мультиметр покажет средние 3 вольта, и диагност будет долго недоумевать. Пульсации, короткие всплески, дрожание — всё это за пределами зрения мультиметра. Его глазам нужен осциллограф, о котором — глава 14. Пока запомним: мультиметр показывает «сколько», но не показывает «когда» и «как».

Разгадка: почему перегорает вторая лампа

Пришла пора расплатиться по счёту главы 3. Напомним загадку: две одинаковые лампочки стоят последовательно в переноске. Вторая перегорает регулярно — три раза за сезон. Мультиметр показывает у обеих одинаковое сопротивление. Прибор честен. Детали на вид одинаковы. Почему же

судьба разная?

Вот ответ, и он целиком построен на том, что мы только что узнали об омметре.

Нить накаливания лампы — это обычное сопротивление, но его величина зависит от температуры. Холодная нить — тонкая в смысле проводимости? Нет, наоборот: холодный металл проводит лучше. Когда лампа включается, нить холодная, её сопротивление в десять-пятнадцать раз ниже рабочего. По закону Ома \(I = U/R\) — при низком сопротивлении через нить рванул бы огромный ток, но тут вступает в дело последовательное соединение: две лампы делят 220 вольт пополам, и стартовый бросок смягчается. Всё же в первые мгновения нити работают в тяжёлом режиме — ток в десять раз выше номинального. Мощность \(P = I^2R\) — вспоминаем главу 3 — растёт квадратично. Именно в момент включения нить накала испытывает максимальный стресс. Лампы почти никогда не перегорают посреди вечера — они перегорают в момент щелчка выключателя.

Теперь — почему вторая? Потому что «одинаковые» лампы не одинаковы нитью. Малейшая разница в толщине нити, в составе металла — доли процента — даёт разницу в сопротивлении в холодном состоянии. И в последовательной цепи из двух ламп запускающийся бросок распределяется не поровну: та лампа, что холоднее и «тоньше» в проводимости, в первый момент забирает на себя непропорциональную долю удара. Переживёт сотни включений — и однажды сгорит. А

её соседка продолжает жить дальше: теперь в цепи одна лампа и, скажем, резистор или просто перемычка — ток устанавливается мягче, удары слабее.

А мультиметр? Он мерил холодную нить. И холодные нити двух внешне одинаковых ламп действительно почти не различаются — доли процента, на грани погрешности прибора. Разница, которая убивает вторую лампу, прячется в тех самых процентах холодного сопротивления, которые мультиметр честно показывает, а человек не читает, потому что не знает, что читать. Оракул не врал. Он ответил на вопрос точно — но вопрос был задан не тот.

Это и есть главный урок главы: мультиметр отвечает на вопрос «какое сопротивление между этими двумя точками холодной цепи». Он не отвечает на вопрос «что происходит в работающей схеме». Тот, кто путает эти два вопроса, меняет исправные детали.

Новый крючок: «обрыв» на исправной плате

И теперь — обещанное в начале. Случай из практики, на котором спотыкаются почти все новички.

Диагност ремонтирует материнскую плату. Проверяет цепь: прозвонкой — писк есть, контакт есть. Затем переходит в режим омметра и меряет участок между двумя точками дорожки, которая по всем данным должна быть целой. Прибор показывает... разрыв. Бесконечность. Но плата работает, ток по этой цепи течёт, устройство функционирует. Прибор исправен — проверен на заведомо известных деталях. Щу-

пы исправны — прозвонка пискнула. А цепь «разорвана».

Как это возможно?

Подсказка, как и было обещано, спрятана в слове «параллельно». Не в параллельном соединении деталей — тут подсказка тоньше. Вспомните, как работает омметр: он подаёт малюсенькое напряжение и мерит ток. А теперь вспомните: между двумя точками на плате, по которым течёт большой ток, схема ставит не только медную дорожку. Иногда в разрыв дорожки ставят деталь, у которой есть свойство, о котором мы ещё не говорили: она проводит ток в рабочем режиме и не проводит ток слабого тестового сигнала омметра. Мультиметр смотрит на неё и честно докладывает: обрыв. А схема смотрит на неё и работает, как ни в чём не бывало.

Как называется эта деталь? Это слово знает каждый, кто хоть раз вскрывал блок питания, — и не знает почти никто из новичков. Три буквы, меньше рубля за штуку, и главная причина «мёртвых» устройств, которые «не чинятся».

Что это за деталь, почему она обманывает омметр и как проверять её правильно — в главе 7, где мы начнём знакомство с «тихими гигантами» любой схемы: резисторами, конденсаторами и катушками. Там же — обещанный в плане книги метод «трёх шагов взгляда», который за секунду выделяет подозрительный конденсатор из двухсот одинаковых.

А пока запишите в дневник: мультиметр не врёт — врут вопросы, которые ему задают. Один прибор, четыре голоса, и мастерство в том, чтобы спрашивать в правильном режиме,

в правильной точке и с правильным ожиданием ответа.

Глава 6
Глава 6. Паяльник: первый союз с огнём

Он закрыл дневник на фразе: «Мультиметр не врёт — врут вопросы, которые ему задают». Перевёл взгляд на ящик. Там, среди аккуратных рулонов каптоновой ленты, щупов и блока питания, лежал он — паяльник. Не просто инструмент, а первый настоящий союзник, с которым придётся разговаривать на языке температуры, времени и прикосновения. И, как у любого серьёзного союза, у этого есть свои правила. Нарушишь — и вместо ремонта получишь «призрака», который будет прятаться неделями.

До этого момента мастер почти всё делал глазами и мозгом: смотрел, измерял, думал. Теперь впервые придётся вмешаться физически. Пайка — это не «просто нагреть и капнуть». Это момент, когда теория из глав 1–5 встречается с практикой, и если руки не понимают физики, теория быстро проигрывает.

Физика, которая спасает шов

Чтобы понять, почему одни швы живут годами, а другие отваливаются через день, нужно вспомнить закон Джоуля-Ленца и то, что тепло — это тоже ток, только невидимый. Когда жало касается вывода, тепло течёт от жала к детали и

от детали к плате. Плата — массивная, с медными слоями и полигонами земли — работает как радиатор. Если подать тепло недостаточно или слишком поздно, деталь не прогреется, припой не растечётся, шов останется зернистым. Это и есть «холодная пайка» — главный призрак ремонтника.

Холодный шов выглядит как капля, которая легла сверху, но не слилась с дорожкой и выводом. Он блестит, но в нём нет металлической связи на уровне кристаллической решётки. Такой шов проводит ток, пока плата лежит на столе. Но стоит её потрясти, нагреть, охладить — и контакт пропадает. А потом появляется снова. Именно такие дефекты сводят с ума и заставляют менять исправные детали.

Правильный шов — это когда припой смачивает обе поверхности, растекается тонким слоем и образует вогнутую галтель (так называют аккуратную «каплю» правильной формы). Это не эстетика ради красоты — это признак того, что температура и время были подобраны верно, и атомы припоя действительно «сцепились» с металлом дорожки и вывода.

Отсюда первое правило: греть нужно не припой, а деталь и площадку. Припой — это только материал. Он плавится от тепла, которое уже есть в детали. Если пытаться «намазать» расплавленный припой на холодную площадку, получится именно холодный шов.

Флюс: невидимый помощник

Флюс — это не «опция», а обязательный участник процесса. Его задача — убрать оксиды и дать припою смачивать ме-

талл. Без флюса даже идеально прогретая площадка не даст хорошего шва: тонкий слой окисла будет мешать сцеплению.

Для новичка лучший выбор — припой с канифольным флюсовым сердечником (0,5–0,8 мм) плюс отдельный жидкий или гелевый флюс. Тонкий припой удобнее: меньше лишнего металла, легче контролировать количество. Гелевый флюс наносят точечно — каплю на площадку и на вывод. Жидкий — кисточкой, но аккуратно: избыток флюса на плате — это будущие проблемы с проводимостью и коррозией.

После пайки остатки флюса нужно убирать. Для канифольных и нейтральных флюсов достаточно изопропилового спирта и безворсовой салфетки. Для активных флюсов (кислотных) — обязательно тщательное смывание и сушка, иначе коррозия съест дорожки за месяцы.

Температурные режимы: не «горячее — лучше», а «ровно столько»

В главе 4 уже говорилось про регулировку температуры. Теперь — зачем она нужна.

280–300 °C — деликатная пайка: SMD-компоненты, тонкие дорожки, чувствительные к перегреву детали.

300–320 °C — стандартная пайка выводных компонентов, разъёмов, кнопок.

350 °C и выше — демонтаж, выпаивание, работа с массивными полигонами.

Почему нельзя всегда ставить 350? Потому что перегрев

убивает компоненты. Микросхемы, конденсаторы, разъёмы — у них есть температурные пределы. Пластмассовые части разъёмов начинают деформироваться уже при 250–280 °C, а микросхемы могут выйти из строя задолго до того, как вы увидите оплавление корпуса.

Ещё важнее — время. Даже при правильной температуре нельзя греть вывод дольше 2–3 секунд. Если за это время припой не расплавился — значит, тепло не доходит: плохой контакт жала, окисленная площадка, массивный полигон. В таких случаях лучше добавить немного свежего флюса, прогреть соседнюю точку, чтобы тепло дошло по дорожке, или использовать фен. Но не держать жало на выводе полминуты: это почти гарантированно убьёт дорожку или компонент.

Первое задание: кнопка в пульте

Теперь — практика. Первое самостоятельное задание курса: заменить кнопку в простом пульте. Задача кажется тривиальной, но именно на ней новички учатся самым важным вещам.

Ученику выдают пульт, мультиметр, паяльник, флюс, припой, оплётку для удаления припоя, пинцет и набор прецизионных отвёрток. Цель — выпаять старую кнопку, впаять новую, проверить, что все кнопки работают, и собрать пульт обратно.

И вот тут начинается реальность.

Первая попытка. Жало плохо касается вывода. Припой не плавится. Ученик давит сильнее, поднимает температуру до

380. Вывод прогревается, припой плавится, но вместе с ним отслаивается дорожка. Кнопка снята, но плата уже «ранена». Это классическая ошибка: давление не помогает теплу — оно только ломает хрупкие дорожки. Тепло должно приходить само, через хороший контакт.

Вторая попытка. На этот раз ученик использует флюс и греет не сам вывод, а площадку рядом, чтобы тепло шло по дорожке. Припой плавится мягко, кнопка снимается без рывков. Отлично. Но при установке новой кнопки он забывает нанести флюс на площадку. Припой ложится каплей, не растекается. Шов выглядит нормально, но это холодный шов. Через три нажатия кнопка отваливается.

Третья попытка. Флюс есть, температура правильная, прогрев площадки. Припой растекается, образуется аккуратная галтель. Кнопка держится. Проверка мультиметром — контакт есть. Три нажатия, десять, сто — работает.

Именно так приходит понимание: пайка — это не сила, а терпение и внимание к деталям. И именно поэтому крючок этой главы звучит так: кнопка отвалится трижды, прежде чем заработает. Это не преувеличение — это статистика. Но каждый провал — это урок, который нельзя получить из книги.

Демонтаж двухвыводных компонентов: как не убить плату

Двухвыводные компоненты (резисторы, конденсаторы в корпусах с выводами) — идеальный тренажёр. У них два вы-

вода, и задача — прогреть оба одновременно или поочерёдно, но быстро.

Техника:

1. Нанесите флюс на оба вывода.

2. Прогрейте первый вывод, слегка потяните компонент в противоположную сторону.

3. Сразу же прогрейте второй вывод и снимите компонент.

4. Если компонент не снимается — не тяните силой. Лучше добавьте флюс и прогрейте площадку рядом, чтобы тепло пришло по дорожке.

Если выводы не отпаиваются из-за массивных полигонов, используют оплётку. Оплётку кладут на вывод, сверху прижимают жалом. Оплётка «вытягивает» лишний припой, снижая теплоёмкость соединения. После этого компонент снимается гораздо легче.

Уход за жалом: маленький ритуал, который экономит деньги

Жало — это лицо паяльника. И оно требует ухода.

Чистка. Во время пайки жало покрывается нагаром и окислами. Его нужно регулярно очищать. Лучший способ — влажная целлюлозная губка (не мокрая, а именно влажная). Протёр — и сразу обратно в работу. Сухая губка или тряпка не помогут: нужна влага, чтобы растворить нагар.

Лужение. После каждой чистки жало нужно заново покрыть тонким слоем припоя. Это называется лужением. Лужёное жало лучше передаёт тепло, потому что припой — от-

личный проводник. Сухое, матовое жало греет хуже и быстрее выгорает.

Не царапать. Никогда не чистите жало наждачкой, ножом или надфилем. Абразив снимает защитное покрытие, и жало выгорает в разы быстрее.

Эти три действия — чистка, лужение, контроль температуры — превращают паяльник из капризного инструмента в предсказуемого помощника.

Плохие привычки новичков: что убивает плату

Есть несколько ошибок, которые встречаются почти у всех на старте:

Давление на жало. Давление не передаёт тепло — оно ломает дорожки. Контакт должен быть лёгким, без усилия.

Перегрев. «Чем горячее, тем быстрее» — это путь к отслоенным дорожкам и мёртвым компонентам.

Пайка без флюса. Экономия на капле флюса оборачивается десятками минут поиска «призраков».

Игнорирование полигонов. Массивные площадки и дорожки работают как радиаторы. Если не учитывать это, шов не получится.

Оставление лишнего припоя. Избыток припоя может замкнуть соседние дорожки, особенно на SMD-платах.

Почему порядок пайки кажется хаотичным

В конце главы — обещанный вопрос: почему мастер паяет компоненты в порядке, который кажется хаотичным?

Ответ прост: он думает не о порядке деталей, а о тепловом

балансе платы.

Сначала паяют компоненты, у которых нет массивных полигонов. Они прогреваются быстро, и риск перегрева минимален.

Потом — детали с массивными площадками, но только после того, как прогрев соседних дорожек уже подготовил путь для тепла.

Если на плате есть чувствительные к нагреву компоненты (микросхемы, разъёмы с пластиковыми частями), их стараются паять в последнюю очередь, чтобы не подвергать длительному нагреву от соседних работ.

При демонтаже часто начинают с «тяжёлых» мест — прогревают массивные полигоны, чтобы потом легче снять остальные детали.

Это не хаос. Это стратегия управления теплом. Плата — это термический ландшафт: холмы (массивные полигоны), долины (тонкие дорожки), реки (медные трассы). Хороший мастер «читает» этот ландшафт и прокладывает маршрут так, чтобы тепло работало на него, а не против него.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.