

СДЕЛАЙ САМ

ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Диагностика, ремонт, проектирование

Alexander Grigoryev

Alexander Grigoryev
**Импульсные источники
питания. Диагностика,
ремонт, проектирование**
Серия «Сделай сам», книга 3

*<https://litres.ru/73736656>
SelfPub; 2026*

Аннотация

Практическое руководство по ремонту импульсных блоков питания. Разбираем устройство, топологии и неисправности без маркетинговых мифов. Учитесь диагностировать и восстанавливать технику своими руками: от зарядок до компьютерных АТХ. Безопасность и понимание физики процесса — основа надежного ремонта и вашей личной безопасности.

Содержание

Введение	4
Часть 1. Теория схемотехники	10
Конец ознакомительного фрагмента.	22

Alexander Grigoryev

Импульсные источники питания. Диагностика, ремонт, проектирование

Введение

§ 0.1. Почему я взялся за эту тему

Помню свой первый ремонт блока питания лет пятнадцать назад. Тогда я еще варил заборы и не думал, что электроника станет второй профессией. Принесли мне компьютерный блок питания АТХ – мертвый, даже вентилятор не дернулся. Владелец сказал: «Выкинь, купи новый». Но мне было жалко железа, и я решил вскрыть корпус. Внутри оказалось не так страшно, как снаружи: почерневшая дорожка, вздутый конденсатор и сгоревший транзистор. Заменял, включил через лампочку – заработало. Тогда я понял первую истину: электроника не магия, это физика, которую можно понять и исправить.

К две тысячи двадцать шестому году ситуация изменилась. Устройства стали компактнее, КПД выше, но ремонтпригодность упала. Маркетологи продают нам «одноразо-

вую технику», залитую компаундом, без возможности замены элементов. Но закон сохранения энергии никто не отменял. Если что-то сгорело, значит, была причина. И если ты умеешь держать паяльник и читать схему, ты не зависишь от сервисных центров, которые часто проще выбросить устройство, чем чинить.

Эта книга – не учебник по физике для вузов. Это практическое руководство для тех, кто хочет своими руками вернуть к жизни технику или создать свой блок питания, который не сгорит через месяц. Я прошел путь от замены конденсаторов до проектирования собственных преобразователей на карбид-кремниевых ключах. Я видел, как горят лаборатории из-за ошибок в разводке земель, и видел, как дешевые блоки работают годами благодаря грамотному запасу прочности.

Запомни главное: импульсный блок питания – это источник высокой энергии. Ошибка здесь стоит дороже, чем прожженный лист металла при сварке. Здесь ошибка может стоить здоровья или жизни. Поэтому мы начнем не с паяльника, а с техники безопасности. Не торопись. Пойми, что внутри коробки, прежде чем пытаться это исправить.

§ 0.2. Техника безопасности: напряжение не прощает ошибок

В сварке ты защищаешь глаза от ультрафиолета и руки от брызг. В электронике ты защищаешь себя от невидимого убийцы – электрического тока. Сварочный аппарат выдает

десятки вольт, импульсный блок питания работает с сетевым напряжением двести двадцать вольт и высокими частотами.

Первое правило: конденсаторы хранят заряд. Даже после выключения устройства из розетки высоковольтные конденсаторы в первичной цепи могут держать смертельное напряжение часами. Я видел мастеров, которые получали удар током при касании платы уже обесточенного блока. Всегда разряжай высоковольтные конденсаторы перед касанием. Используй резистор на несколько килоом, закрепленный на изолированной ручке. Не замыкай отверткой – будет искра, которая может повредить плату или ослепить тебя.

Второе правило: гальваническая развязка. При ремонте блоков питания без трансформатора (бестрансформаторные схемы) или при использовании осциллографа помни: «земля» осциллографа часто соединена с землей сети. Если ты подключишь щуп осциллографа к точке под напряжением, ты устроишь короткое замыкание через прибор. Используй развязывающий трансформатор для питания осциллографа или дифференциальные щупы. К две тысячи двадцать шестому году появились безопасные handheld-осциллографы с гальванической развязкой каналов – это лучший выбор для ремонтника.

Третье правило: не работай под напряжением без необходимости. Девяносто процентов неисправностей можно найти на обесточенной плате методом прозвонки. Включай блок под напряжение только для финальной проверки, и всегда

используй токоограничитель (лампу накаливания или мощный резистор) в разрыв цепи. Это спасет ключи от взрыва при наличии короткого замыкания.

Четвертое правило: пожаробезопасность. Литиевые аккумуляторы, вздутые конденсаторы, перегретые трансформаторы – все это может загореться. Держи под рукой огнетушитель (углекислотный или порошковый), не работай в захламленном помещении. Пары сгоревшего текстолита и электролита токсичны. Вытяжка обязательна.

Я не призываю тебя бояться электричества. Я призываю уважать его. Страх парализует, уважение дисциплинирует. Если ты следуешь правилам, риск сводится к минимуму. Но если ты думаешь «авось пронесет», то однажды не пронесет. И не факт, что ты сможешь рассказать об этом опыте другим.

§ 0.3. Мифы об импульсных блоках к 2026 году

Рынок электроники перенасыщен информацией, и половина из нее – маркетинговый шум. Давай разберем основные мифы, чтобы ты не тратил деньги и время впустую.

Миф первый: «Импульсный блок всегда лучше линейного». Это верно для КПД и габаритов, но неверно для уровня шумов. В аудиоаппаратуре высокого класса до сих пор используют тяжелые трансформаторы и линейные стабилизаторы. Импульсник может фонить в усилителе, создавая высокочастотные помехи. Если ты делаешь Hi-Fi технику, не гонись за компактностью в ущерб качеству звука.

Миф второй: «Китайские блоки не ремонтпригодны».

Да, есть модели, залитые черным компаундом. Но девяносто процентов бытовой техники (телевизоры, зарядки, мониторы) собираются на стандартных топологиях с доступными компонентами. ШИМ-контроллеры, транзисторы, оптопары – все это унифицировано. Главное – уметь читать схему, а не смотреть на логотип на корпусе.

Миф третий: «Замена конденсаторов решает все проблемы». «Конденсаторная болезнь» была актуальна в две тысячи пятих годах. К две тысячи двадцать шестому году качество электролитов выросло. Если блок не запускается, чаще всего проблема в силовых ключах, ШИМ-контроллере или обрыве в цепях обратной связи. Меняй конденсаторы только если видишь вздутие или замер показал потерю емкости. Не меняй исправное просто потому, что «так советуют на форуме».

Миф четвертый: «Чем больше мощность, тем лучше». Для резерва это верно. Но блок питания с мощностью, превышающей потребность в десять раз, может работать в неэффективном режиме, иметь худшую стабилизацию на малых токах и стоить неоправданно дорого. Подбирай блок с запасом двадцать-тридцать процентов, а не пятьсот.

Миф пятый: «Цифровое управление надежнее аналогового». Цифровые блоки (с микроконтроллерами) гибче в настройке, но сложнее в ремонте. Если сгорает аналоговая обвязка, ты меняешь деталь. Если сгорает прошивка или цифровой контроллер – часто проще купить новый блок. Для ре-

монта и любительского проектирования аналоговые схемы пока прозрачнее и понятнее.

В этой книге мы будем опираться на факты, измерения и личный опыт. Я не буду рассказывать про квантовую физику полупроводников. Я расскажу, как найти сгоревшую деталь, как рассчитать трансформатор на коленке и как сделать так, чтобы твое устройство работало надежно. Инструмент должен работать на тебя, а не ты на инструмент. Это касается и паяльника, и осциллографа, и самого блока питания.

Часть 1. Теория схемотехники

Глава 1. Топологии ИИП

§ 1.1. Понижающие (Buck), повышающие (Boost), инвертирующие

Начнем с простого. Прежде чем лезть в сетевые блоки питания на двести двадцать вольт, разберись с низковольтными преобразователями. Они стоят везде: в материнских платах, в светодиодных лампах, в системах питания процессоров. Понимание их работы – фундамент для понимания сложных схем.

Понижающий преобразователь (Buck Converter). Его задача – сделать напряжение на выходе ниже, чем на входе. Например, превратить двенадцать вольт от аккумулятора в пять вольт для USB. Принцип работы прост: ключ (транзистор) быстро открывается и закрывается. Когда открыт – ток течет в нагрузку и запасается в дросселе. Когда закрыт – дроссель отдает накопленную энергию через диод в нагрузку. Среднее напряжение зависит от соотношения времени открытого и закрытого состояния (скважности). К две тысячи двадцать шестому году синхронные выпрямители (где вместо диода стоит второй транзистор) стали стандартом. Они снижают потери на нагрев, повышая КПД до девяноста пяти процентов и выше. Если ты видишь два транзистора рядом с дросселем на низком напряжении – это синхронный

Buck. При ремонте проверяй оба ключа: часто они пробиваются парой.

Повышающий преобразователь (Boost Converter). Делает напряжение выше входного. Пример: одна батарея АА (1.5 вольта) питает светодиод на три вольта. Здесь дроссель стоит на входе. Когда ключ открыт, ток растет в дросселе. Когда ключ закрывается, ЭДС самоиндукции дросселя суммируется с входным напряжением, и через диод импульс высокого напряжения уходит в нагрузку. Особенность Boost: нагрузка всегда отключена от входа ключом. Если ключ пробит коротко – входное напряжение напрямую попадает на выход. Если на входе двенадцать вольт, а на выходе должно быть двадцать четыре, то при пробое ключа на выходе будет двенадцать, но если схема рассчитана на другое – возможен выход из строя нагрузки. При диагностике первым делом прозванивай ключ.

Инвертирующий преобразователь (Buck-Boost, Inverting). Делает выходное напряжение отрицательным относительно входа. Используется в аудиоаппаратуре для двухполярного питания операционных усилителей, в дисплеях для создания отрицательного смещения. Топология похожа на Boost, но нагрузка включается иначе. Важный нюанс для всех трех топологий: частота переключения. К две тысячи двадцать шестому году стандарт сместился со ста килогерц в сторону одного-двух мегагерц. Это позволяет использовать миниатюрные дроссели и конденсаторы. Но чем выше частота, тем

критичнее разводка платы. Паразитные индуктивности дорожек начинают влиять на работу. При ремонте таких плат не грей компоненты долго – многослойная плата может расслоиться от перегрева.

§ 1.2. Обратноходовые (Flyback) – принцип работы, расчет

Самая массовая топология для блоков питания мощностью до ста-ста пятидесяти ватт. Зарядки для телефонов, блоки питания телевизоров, принтеров, ноутбуков – все это Flyback. Почему? Дешевизна, простота, гальваническая развязка.

Принцип работы отличается от обычного трансформатора. В Flyback трансформатор работает как накопитель энергии (дроссель с несколькими обмотками).

Такт накопления: Ключ открыт. Ток течет через первичную обмотку, энергия запасается в магнитном поле сердечника. Во вторичной обмотке диод закрыт (напряжение обратной полярности), нагрузки нет.

Такт отдачи: Ключ закрывается. Магнитное поле схлопывается, полярность напряжения на обмотках меняется. Диод во вторичной цепи открывается, энергия передается в нагрузку и выходной конденсатор.

Ключевая особенность: энергия передается только когда ключ закрыт. Это создает высокие пиковые токи и напряжение на ключе. На первичной обмотке возникает выброс напряжения (спайк), который может пробить транзистор. По-

этому обязательно используется снабберная цепь (RC-цепочка или варистор+диод+конденсатор) для гашения этого выброса. При ремонте Flyback сгоревший ключ – это девяносто процентов случаев. Но просто заменить транзистор нельзя. Нужно найти причину: пробой вторичных диодов, утечка в оптопаре, высыхание конденсатора в цепи питания ШИМ-контроллера. Часто сгорает и токоизмерительный резистор в цепи истока ключа.

Расчет трансформатора Flyback требует учета зазора в сердечнике. Без зазора сердечник войдет в насыщение, индуктивность упадет, ток ключа вырастет лавинообразно и транзистор взорвется. В две тысячи двадцать шестом году большинство сердечников уже имеют заводской зазор (ферриты с распределенным зазором или склейки с прокладкой). Но если ты мотаешь сам – помни: зазор критичен.

§ 1.3. Прямоходовые (Forward) и двухтактные

Для мощностей выше ста пятидесяти ватт Flyback становится неэффективным. Здесь вступают в игру Forward и двухтактные схемы.

Прямоходовый преобразователь (Forward). Энергия передается в нагрузку напрямую, когда ключ открыт (как в обычном трансформаторе). Требуется дроссель на выходе для сглаживания. Преимущество перед Flyback: меньшие токи в ключах, меньше пульсации. Недостаток: нужна цепь сброса магнитного потока из трансформатора (размагничивания), иначе сердечник насытится. Часто используется третья об-

мотка или активный сброс (Active Clamp). К две тысячи двадцать шестому году Active Clamp стал стандартом в качественных блоках, так как позволяет использовать мягкое переключение (ZVS) и снизить помехи.

Двухтактные схемы (Push-Pull, Полумост, Полный мост). Используются в мощных блоках (компьютерные АТХ от пяти сот ватт, сварочные инверторы, серверные блоки).

Push-Pull: Два ключа, отвод от середины первичной обмотки. Простая схема, но высокие требования к симметрии обмоток. Если ключи откроются одновременно – короткое замыкание и взрыв.

Полумост (Half-Bridge): Два ключа, два конденсатора делителя напряжения. Напряжение на ключах ниже, чем в Push-Pull. Надежнее.

Полный мост (Full-Bridge): Четыре ключа. Максимальная мощность, лучшее использование трансформатора. Сложнее управление (нужен драйвер с плавающим питанием для верхних ключей).

Главная проблема двухтактных схем – подмагничивание постоянным током. Если длительности импульсов не идеально равны, в трансформаторе накапливается постоянный магнитный поток, сердечник насыщается, ток растет, ключи горят. Современные ШИМ-контроллеры имеют защиту от этого (current mode control), но при ремонте проверяй симметрию драйверов.

§ 1.4. Резонансные (LLC) – современные решения

К две тысячи двадцать шестому году топология LLC (индуктивность-индуктивность-емкость) стала доминирующей в блоках питания высокой мощности и высокой эффективности (золотой сертификат 80 Plus, платиновый).

В чем суть? Ключи переключаются не в жестком режиме, а в резонансе с колебательным контуром. Это позволяет реализовать режим ZVS (Zero Voltage Switching) – ключ открывается, когда напряжение на нем уже нулевое. Нет потерь на переключение, нет всплесков напряжения, минимум помех. КПД достигает девяноста шести-девяноста восьми процентов. Плюсы: тишина (вентилятор может не крутиться на малых нагрузках), высокий КПД, малый нагрев. Минусы: сложность ремонта. Здесь много компонентов, управление цифровое или сложное аналоговое. Без осциллографа и понимания резонансных процессов лезть туда опасно. Частота работы не фиксирована, она меняется в зависимости от нагрузки. При диагностике LLC первым делом проверяй силовые ключи (часто это MOSFET в корпусе TO-247 или GaN) и резонансные конденсаторы. Они работают на высоких частотах и токах, часто теряют емкость или пробиваются.

Глава 2. Компоненты в работе

§ 2.1. Как работают трансформаторы на высоких частотах

В первой главе мы разобрали, как ток бежит по схемам. Но сердце любого импульсного блока – это трансформатор. Если в сварочном трансформаторе главное – медь и железо,

то здесь главное – частота и феррит. Я видел много сожженных плат, где причина была не в ключах, а в неправильно рассчитанном или дефектном трансформаторе. Маркетологи любят писать «высокочастотный трансформатор», подразумевая компактность. Но для ремонтника компактность – это головная боль.

Феррит против железа. К две тысячи двадцать шестому году классические железные сердечники остались только в линейных блоках и сетевых фильтрах. В импульсных схемах работает только феррит. Почему? Потому что потери на вихревые токи в железе на частоте сто килогерц разогреют сердечник за секунды. Феррит – это керамика, он не проводит ток, поэтому вихревые токи в нем минимальны. Но у феррита есть слабость: он хрупкий и боится перегрева. Критическая точка Кюри у большинства ферритов – около ста двадцати градусов. Выше этой температуры магнитная проницаемость падает почти до нуля. Трансформатор перестает работать, ключи пробивает. Поэтому при ремонте всегда щупай сердечник. Если он горячее, чем можно терпеть пальцем – либо перегрузка, либо неверный расчет зазора.

Проблема зазора, почему трансформатор пищит. В топологии Flyback (обратноходовый), которая стоит в девяноста процентах зарядок и блоков до ста ватт, трансформатор работает как дроссель. Он должен накапливать энергию. Чтобы накопить энергию и не войти в насыщение, в сердечнике нужен воздушный зазор. В дешевых блоках к две тыся-

чи двадцать шестому году зазор делают просто: разламывают сердечник и складывают обратно с зазором в центре. Проблема: при работе половинки магнитострикционируют (вибрируют). Ты слышишь этот противный писк перед тем, как блок сгорит. Это признак того, что зазор не проклеен. В качественных блоках используют сердечники с распределенным зазором (powder core) или склеивают половинки специальным лаком с фиксированной толщиной прокладки. При ремонте, если ты меняешь трансформатор, никогда не собирай феррит без прокладки. Даже лист бумаги толщиной в несколько микрон может изменить индуктивность первичной обмотки настолько, что ток ключа вырастет и пробьет транзистор.

Скин-эффект и литцендрат. На высоких частотах ток течет не по всему сечению провода, а только по поверхности (скин-слой). На частоте сто килогерц глубина скин-слоя в меди – около двух десятых миллиметра. Если ты наматываешь трансформатор проводом диаметром один миллиметр, середина провода работать не будет, только греться. Поэтому в нормальных блоках используют литцендрат – жгут из множества тонких изолированных жилок. В дешевых китайских блоках к две тысячи двадцать шестому году часто экономят: мотают одним толстым проводом. Такой блок будет греться сильнее и иметь меньший КПД. При ремонте, если тебе нужно перемотать трансформатор, не бери первый попавшийся провод из гаража. Ищи литцендрат или используй несколько

проводов меньшего диаметра, свитых вместе.

Изоляция и безопасность. Это самый критичный момент, на котором экономят чаще всего. Между первичной (сетевой) и вторичной (низковольтной) обмотками должна быть надежная изоляция. По стандартам, расстояние между выводами и слоями обмоток должно быть не менее шести-восьми миллиметров (creepage distance). В дешевых блоках я видел изоляцию из обычного скотча. Он высыхает от температуры и трескается. Через год работы происходит пробой, и на выходе вместо пяти вольт появляется двести двадцать. Твое устройство сгорит, а если ты коснешься корпуса – получишь удар током. При ремонте всегда проверяй состояние межобмоточной изоляции. Если видишь обычный желтый скотч – замени на специализированную лакоткань или термостойкую пленку (майлар). И никогда не игнорируй Y-конденсаторы (синие дисковые конденсаторы между первичной и вторичной землей). Они нужны для фильтрации помех, но должны быть класса Y1 или Y2. Замена на обычный керамический конденсатор – это риск получения сетевого напряжения на выходе.

§ 2.2. Потери ключей и диодов

Силовые ключи и выпрямительные диоды – это главные источники тепла в блоке питания. Именно они чаще всего выходят из строя. Понимание их физики поможет тебе не просто заменить деталь, а понять, почему она сгорела.

MOSFET против IGBT: битва технологий. К две тысячи

двадцать шестому году в блоках питания мощностью до пяти сот ватт доминируют MOSFET-транзисторы. Они быстрые, имеют низкое сопротивление в открытом состоянии ($R_{ds(on)}$). Но у них есть обратный диод (body diode), который часто является слабым местом при индуктивной нагрузке. IGBT-транзисторы чаще встречаются в мощных сварочных инверторах и блоках выше одного киловатта. Они выдерживают более высокие напряжения, но медленнее переключаются. Главная ошибка при ремонте: замена MOSFET на IGBT или наоборот без пересчета драйвера. У них разные напряжения открытия и скорости. Если поставишь медленный ключ в высокочастотную схему – он сгорит от перегрева при переключении. Новинка рынка – ключи на нитриде галлия (GaN) и карбиде кремния (SiC). Они позволяют поднять частоту до мегагерца, уменьшив трансформатор до размера спичечного коробка. Но они очень чувствительны к статике и выбросам напряжения. При ремонте GaN-блока будь осторожен: одно неаккуратное касание паяльником без заземления может убить дорогой контроллер.

Тепловые потери: где греется. Транзистор греется в двух случаях: когда он открыт (потери проводимости) и когда он переключается (потери переключения). Потери проводимости зависят от тока и сопротивления. Если блок перегружен – ключ греется. Потери переключения зависят от частоты. Чем чаще включаешь-выключаешь, тем больше греется. В дешевых блоках радиаторы часто просто прикручены к кор-

пуску без термопасты или с высохшей пастой. К две тысячи двадцать шестому году это все еще распространенная проблема. При ремонте всегда счищай старую термопасту и наноси новую. Я видел блоки, которые уходили в защиту только потому, что датчик температуры на радиаторе перегревался из-за отсутствия контакта.

Диоды: Шоттки против Ultrafast. Во вторичной цепи (низкое напряжение) всегда стоят диоды Шоттки. У них маленькое падение напряжения (0.3–0.5 В), поэтому они меньше греются. Но у них низкий предел обратного напряжения. Если в блоке на двенадцать вольт стоит диод на тридцать вольт – это нормально. Если поставишь на пятнадцать – он пробьется при первом же скачке сети. В высоковольтных вторичных цепях (например, в питании вакуумных ламп или специфической промышленной техники) Шоттки не подходят. Там нужны ультрабыстрые диоды (Ultrafast Recovery). Частая неисправность: диод Шоттки «течет». При проверке мультиметром он может звониться нормально в одну сторону, но под нагрузкой пропускать ток обратно. Это вызывает нагрев трансформатора и срабатывание защиты. Если блок греется без нагрузки – первым делом меняй выходные диоды.

Снабберы: защита от выбросов. При выключении ключа на его стоке возникает мощный выброс напряжения из-за индуктивности рассеяния трансформатора. Чтобы ключ не пробился, ставят снабберную цепь (резистор + конденсатор

+ иногда диод). В дешевых блоках снабберы часто упрощают или ставят конденсаторы меньшего напряжения. Со временем конденсатор высыхает, и выбросы начинают «кусать» ключ. При ремонте всегда проверяй емкость и ESR конденсаторов в снаббере. Если резистор снаббера почернел – значит, цепь работала в аварийном режиме, и ключ тоже под угрозой.

§ 2.3. Цепи обратной связи и стабилизации

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.