

Опасность дешевых источников питания: руководство для менеджеров

Рэй РИДЛИ (Ray RIDLEY)
Перевод: Дмитрий ИОФФЕ
dsioffe@yandex.ru

Статья д-ра Рэя Ридли (Ray Ridley) "The Perils of a low-cost power supply: A manager's guide" была опубликована в журнале "Switching Power Magazine" в 2005 году.

Один из авторов SPM рассказал в своем материале о причинах, которые заставляют снижать стоимость, принося при этом в жертву качество. Но что это означает на самом деле? Этот вопрос может смутить инженеров, не работающих с источниками питания. Если источник А и источник В дают на выходе одно и то же напряжение и один и тот же ток при одном и том же входе, почему бы не выбрать из них более дешевый?

Хорошо осведомленный инженер-электрик не ограничится поверхностным знакомством с входными и выходными спецификациями и попросит схему устройства. Это может осложнить проблему: весьма вероятно, что обе схемы окажутся очень похожими друг на друга. Менеджер, который просто увидит перед собой два похожих предмета, не поймет, почему он не должен выбрать тот, который дешевле.

Чтобы разобраться с этой проблемой, нам надо получить более подробную информацию. Будем надеяться, что наше краткое исследование поможет тем из разработчиков, кому трудно конкурировать с нестандартными «черными ящиками».

На рис. 1 показан дешевый источник питания. Он формирует выходное напряжение 15 В и ток 5 А из напряжения сети переменного тока. Его цена равна \$15 при по-

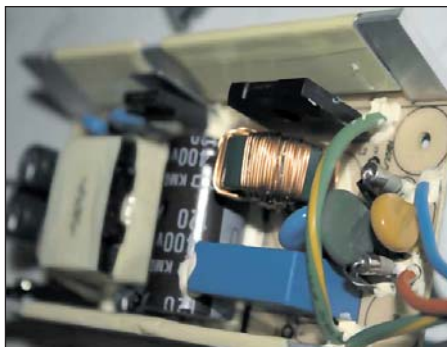


Рис. 1. Дешевый 75-ваттный автономный источник питания

купке нескольких сотен штук. Невозможно даже опознать детали, из которых он собран, нельзя определить стоимость сборки, тестирования и т. д. в рамках такого бюджета. А почему он так дешево стоит? Так как используется дешевая рабочая сила (может быть, сборка осуществляется в странах ЮВА) и детали недороги.

Экономия на печатной плате

Первый способ намного уменьшить стоимость — это использовать в устройстве одностороннюю печатную плату. Это уменьшает цену вдвое по сравнению с моделями, где применяется двусторонняя плата. На односторонней плате нет металлизированных сквозных отверстий, которые значительно увеличивают стоимость работ. Для некоторых видов электронных изделий такие платы вполне приемлемы.

Откройте современный видеоплеер, и вы увидите очень большие односторонние платы. Весьма удивительно, что большая микросхема центрального видео- и аудиопроцессора установлена на такой односторонней плате. Кроме того, в электрической схеме присутствуют компоненты для поверхностного монтажа и монтажа в сквозные отверстия. Везде, где возникают конфликты трасс (то есть где одна дорожка должна пересечь другую), используются перемычки.

Почему бы не делать так в источниках питания? Для этого есть две основные причины: шумы и плотность монтажа. Так как размеры или плотность в проекте часто невозможно изменить, то жертвой компромисса становятся зазоры на плате.

На рис. 2а показана нижняя сторона односторонней печатной платы. Можно увидеть относительно плотный поверхностный монтаж, и он аккуратно выполнен. Плата делится на три главные области: вход переменного напряжения перед выпрямительным мостом, первичная сторона схемы постоянного

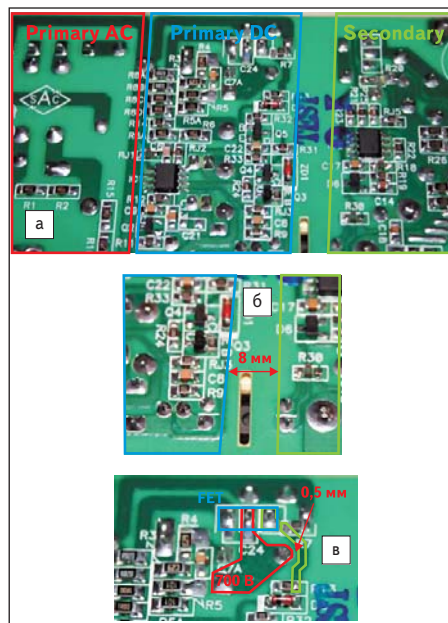


Рис. 2. а) Нижняя сторона односторонней печатной платы с областями разных напряжений; б) пространство между областями первичного и вторичного напряжений; в) зазоры в области первичного напряжения

напряжения после выпрямителя и схемы формирования вторичных напряжений.

В той части схемы, где присутствует переменное напряжение, вы можете видеть большие свободные участки между контактными площадками и проводниками. И это свидетельствует о том, что фирма, разработавшая источник питания, знает, как тщательно следовать рекомендациям агентств по безопасности. Между первичной и вторичной сторонами есть достаточно большое расстояние (рис. 2б), это тоже одно из требований международных агентств по безопасности. Видна щель на плате, расположенная под оптоизолятором обратной связи. Она позволяет выполнить для стандартного DIP-корпуса требования по утечкам между выводами. Все это признаки хорошего проекта.

А теперь посмотрим на область, относящуюся к схеме первичного постоянного напряжения, которая показана на рис. 2в. Схема преобразования мощности выполнена по обратноходовой топологии (flyback), и точка с наивысшим напряжением в этой схеме расположена на стоке мощного полевого транзистора (ПТ), который подключен к трансформатору. В этом специфическом узле схемы, который на фотографии обведен красной линией, напряжение может достигать 700 В, переключаясь с большой частотой. Другие узлы схемы, относящиеся к первичному напряжению, расположены чрезвычайно близко к этой области высокого напряжения. Это создает потенциальную опасность повреждения платы. Некоторую изоляцию обеспечивает паяльная маска, но выполненный таким образом проект нельзя считать надежным.

Три контактные площадки мощного ПТ также находятся очень близко друг к другу, и паяльной маски здесь нет. Контактные площадки расположены на плате так, чтобы не пришлось формовать выводы перед монтажом. Однако в хороших проектах источников питания выводы корпусов, подобных ТО-220, принято располагать как можно дальше друг от друга. Для этого обычно центральный вывод (вывод стока) отгибается вперед.

Почему так не сделано в этом источнике питания? Для этого просто не хватило места. На односторонней печатной плате приходится размещать проводники ближе друг к другу, чем следовало бы. Правильным решением было бы заменить плату на двустороннюю. Но это увеличивает цену изделия, поэтому так не было сделано.

Рекомендации по безопасности нарушены? Нет. Это обычная практика? Да. Это хорошая практика для получения высокой надежности и малого количества отказов? Абсолютно нет. Но лишь немногие покупатели источников питания интересуются этими вопросами. Они ждут, пока не начнутся отказы их конечной продукции, паникуют, всех обвиняют и впустую тратят деньги.

Автор много раз видел эти проблемы с зазорами в области первичного напряжения. В некоторых случаях нарушения зазоров допускаются во внутренних слоях печатной платы. Детали могут вывалиться из платы, она может загореться, и все это может произойти в любое время на протяжении жизненного цикла изделия.

Конструкция

Мы рассмотрели проблему выбора технологии печатной платы. А теперь — о конструкции изделия. Она влияет на надежность, безопасность, электромагнитную совместимость и температурный режим, и все эти аспекты чрезвычайно важны для хорошего источника питания. На рис. 1 видно, как просто устроен источник питания. Большинство

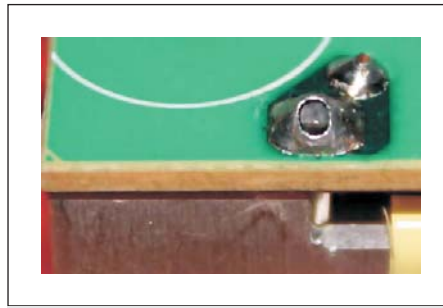


Рис. 3. Холодная пайка радиатора

деталей смонтировано на печатной плате. С двух сторон к ней присоединены алюминиевые пластины, припаянные к проводникам в пазах, сделанных в алюминии. На рис. 3 показано, как это можно сделать неправильно. Пайка может получиться хорошей только тогда, когда обе детали нагреты до температуры плавления припоя. Радиатор отводил тепло во время пайки. Автор много раз видел такой конструктивный дефект. В этом конкретном источнике питания он ослабляет соединение. В некоторых источниках могут быть плохо пропаяны большие конденсаторы или радиаторы на полупроводниковых компонентах, и это зачастую приводит к неправильной работе изделия.

Еще более серьезные проблемы конкретно в рассматриваемом проекте вызывает крепление силового ПТ. Корпус этого устройства полностью выполнен из диэлектрического материала, его размер несколько меньше, чем у ТО-220. На рис. 4а показан ПТ в силиконовой оболочке. Она прижата к пластине радиатора. Желтая изолирующая лента на радиаторе мешает оболочке контактировать с металлом, из-за чего создается изолирующая воздушная прослойка.

На рис. 4б оболочка снята, и виден диэлектрический пластмассовый корпус полевого транзистора. Позади ПТ, как показано на рис. 4в, расположена небольшая металлическая пластинка, которая работает как электростатический экран. Она уменьшает прохождение помехи от стока ПТ к радиатору. Одновременно она ухудшает отвод тепла от корпуса ПТ к радиатору.

Если сложить температурное сопротивление корпуса ПТ, экрана, силиконовой оболочки и соединения с алюминием, то станет

ясно, что при максимальной мощности охлаждение ПТ будет недостаточным. Не знаем, как обеспечить охлаждение на полной мощности с радиатором такого размера, даже при лучшем тепловом контакте, с учетом того, что в данной конструкции воздух неподвижен. Когда встает этот вопрос, в ответ слышишь: «Нет никаких проблем, радиатор прекрасно охлаждает». Если вы инженер, работающий с источниками питания, то вас такой ответ не устроит.

Электромагнитное излучение

Все механическое устройство платы влияет на электромагнитную совместимость (ЭМС) этого источника питания. Главным источником излучаемых и кондуктивных помех является силовой ПТ, который быстро переключает напряжение большой величины. Даже при наличии электростатического экрана, прикрывающего ПТ, часть энергии попадает в алюминиевые пластины и вызывает резонансные явления. Пластины «заземлены» в одной точке, и вследствие этого образуют резонансную схему, элементы которой, естественно, отсутствуют на принципиальной схеме устройства. Система не прошла тест на ЭМС. На исследование и разрешение этой проблемы было затрачено много драгоценного времени. Проблему решили при помощи медной ленты, прикрепленной к радиатору для улучшения заземления. Похожий результат можно было бы получить, сделав заземление через двуслойную плату. Но это, конечно, слишком дорого. Лучше вложить тысячи долларов в лабораторные исследования, чем непосредственно в продукт. Цена измеряется по-другому.

Разработка трансформатора

Мы не будем слишком подробно останавливаться на этом вопросе, так как это заняло бы много места. Как и в случаях с другими проблемами, возникающими при разработке дешевых источников питания, компания-изготовитель знала достаточно для того, чтобы удовлетворить требования агентств по безопасности. Здесь есть даже экран Фарадея между первичной и вторичной обмотками, неожиданный для такого дешевого продукта. Но усилия по минимизации цены



Рис. 4. а) Полевой транзистор в силиконовой оболочке прижат к радиатору (прижим не показан); б) цельнопластмассовый корпус полевого транзистора уменьшает стоимость монтажа; в) заземленный электростатический экран уменьшает помехи

вынудили закупить доступные сердечники и катушки, и поэтому окно для обмоток оказалось слишком мало. Это приводит к увеличению количества слоев обмоток, большим потерям из-за эффекта близости и чрезмерному нагреву обмоток. Мы не проводили никаких тепловых испытаний этого изделия, так как, в конце концов, отказались от услуг его поставщика. Результаты температурных испытаний, вероятно, в любом случае оказались бы спорными, потому что перегретый ПТ сработал бы как предохранитель при разрушении трансформатора.

Вы получаете то, за что платите

Итак, что вы получите, сэкономив на дешевом источнике питания? Рассмотрев конкретный источник, мы обнаружили следующие проблемы:

- точки холодной пайки;
- отказы из-за перегрева на максимальной расчетной мощности в реальных условиях охлаждения;
- плохая электромагнитная совместимость;
- сомнительные зазоры, из-за которых в процессе эксплуатации со временем могут произойти отказы, при вибрациях или высокой влажности.

И это все только по результатам внешнего осмотра, без изучения осциллограмм, «ухо-

да» параметров элементов, анализа для худших случаев и т. д.

Это произошло по вине разработчика источника питания? Нет, это следствие плохого менеджмента, когда ценовое давление не позволяет производителю разработать хороший продукт. В этом примере скрытая цена превосходит непосредственную стоимость продукта.

Есть и много других проблем, с которыми мы сталкивались в последние годы. В их число входят:

- насыщение магнитопровода;
- недооценка напряжения на ПТ, когда реально измеренное напряжение превышает расчетное;
- трансформаторы, не соответствующие требованиям безопасности;
- платы, зазоры на которых не соответствуют требованиям безопасности;
- неудачные контуры управления, порождающие очень плохие переходные процессы;
- неустойчивые контуры управления;
- детали, не пригодные для режимов, в которых они используются;
- конденсаторы с недостаточным сроком жизни при данных температурах;
- выход напряжений за пределы, указанные в спецификации.

И этот список можно дополнить. Но на многие из этих проблем пользователь часто

не обращает внимания и не проводит должных испытаний, потому что они увеличивают затраты и могут привести к необходимости пересмотра проекта. Он надеется на то, что нагрузка окажется щадящей и позволит источнику питания нормально работать, по крайней мере — некоторое время.

Одна из любимых автором историй рассказана клиентом — производителем мощного оборудования, работающего в очень шумной среде. Его источники питания имели время наработки на отказ (MTBF, mean time before failure) 200 часов, и это было вполне приемлемо, потому что у конкурентов было хуже. Источники отказывали бы в 30% случаев при времени работы 40 часов. И что посоветовало руководство? Уменьшить время работы до 20 часов.

Другая компания получала многочисленные отказы при испытаниях. У нее были большие проблемы с качеством плат. Автор предложил, как минимум, организовать входной контроль печатных плат. Это предложение вызвало полное замешательство.

Это очень типично для современного делового мира. Многие разработки делают таким образом, или они уже работают в продукции, готовой принести неприятности. Политика закупок «Не спрашивай, и тебе не скажут» не может принести успеха в долгосрочной перспективе. ■