

Некоторые методы уменьшения габаритов

и повышения эффективности источников питания AC/DC

В статье представлены некоторые принципы конструирования современных источников питания AC/DC, применение которых приводит к получению высоких параметров источников питания и улучшению их потребительских качеств. Приведены рекомендации по проектированию, проверенные при разработке источников питания специалистами компании XP Power (Великобритания).

Виктор Жданкин

victor@prosoft.ru

В настоящее время усовершенствования в конструкции преобразователей переменного напряжения в постоянное (AC/DC) являются скорее эволюционными, чем революционными. Удобно довольствоваться испытанными подходами, потому что ни один из новых методов проектирования, насколько можно ожидать, не обеспечивает больших преимуществ.

При разработке источника питания ставится цель: определить те небольшие усовершенствования, которые должны быть сделаны в различных частях конструкции устройства для улучшения значений удельной мощности, эффективности и показателей электромагнитной совместимости.

Развивается тенденция к снижению габаритов источников питания, что позволяет предоставить больше места в системе для дополнительных функциональных возможностей и вычислительных мощностей. При этом источники питания должны соответствовать стандартным форматам, чтобы разработчики могли избежать затрат на переработку конструкции системы.

Для источников питания AC/DC не существует существенных технологических достижений, ведущих к уменьшению размеров устройств, поэтому оптимально сочетание изобретательности и тщательного конструирования. В статье рассматриваются принципы проектирования, которые можно комплексно использовать для минимизации габаритов и стоимости источников питания и, в то же время, для увеличения эффективности и гибкости их применений.

Перечислим типичные цели при проектировании источника питания.

Источник питания должен быть как можно меньше для экономии пространства и предоставления места для дополнительных системных функций. Он должен вносить минимальный вклад в рассеиваемую в системе тепловую мощность. Важно, чтобы источники питания имели высокую эффективность, тогда для экономии объема возможно применение внешних теплоотводов (радиаторов) с меньшими размерами. Для источников питания с выходными мощностями от 100 до 200 Вт достижение значения КПД 90% вполне реально. Улучшение значения КПД

на 1% означает уменьшение на 10% тепловой мощности на верхней границе диапазона, а это может обеспечить существенное различие в необходимом для источника питания степени охлаждения. Конечно, стоимость включает в себя расходы на материалы и на изготовление технологически сложного изделия, поэтому важным фактором является простота конструкции источника питания. Наконец, следует учесть важность таких функций, как осуществление внешнего управления и сигнализация о неисправностях, равномерное распределение тока нагрузки между модулями при параллельном включении, способность сохранять рабочие характеристики в широком диапазоне входных напряжений сети переменного напряжения.

Рассмотрим основные каскады источника питания AC/DC и проанализируем некоторые хорошо проверенные методы уменьшения габаритных размеров и стоимости без ущерба для параметров и функциональных возможностей.

- 1. Входной фильтр.** Двухзвенная конструкция фильтра на основе сердечников с высоким значением магнитной проницаемости минимизирует размеры и обеспечивает подавление синфазных и дифференциальных составляющих помех. Установка некоторых компонентов вертикально может сэкономить площадь печатной платы и улучшить условия для охлаждения.
- 2. Каскад коррекции коэффициента мощности (ККМ).** Применение карбид-кремниевых (SiC) диодов стало экономически оправданным за последние три года, так как снизились цены на эти компоненты. Низкое значение обратного тока восстановления позволяет не применять демпфирующую цепь, что приводит к экономии 5 или 6 компонентов. К тому же применение SiC-диодов [1] способствует увеличению КПД на 1%. Использование дросселя с дискретными зазорами, распределенными вдоль обмотки, обеспечивает высокую индуктивность при большом значении входного напряжения и сохраняет максимальную плотность магнитного потока при пониженном напряжении в сети. Применение корректора КМ, работающего в режиме непрерывного тока дросселя, исключает

возможность резкого изменения тока и, соответственно, уменьшает содержание высших гармоник во входном токе и снижает требования к входному фильтру.

3. **Основной преобразователь.** Применение резонансной топологии преобразователя может практически исключить коммутационные потери. При этом не только улучшается эффективность источника питания, но и становится возможным использование радиаторов с меньшими размерами. На практике, применение в некоторых случаях компактных керамических теплоотводов для силовых транзисторов предпочтительней металлических [2]. Преимущества керамических радиаторов — это снижение помех и, как следствие, упрощение фильтрации, так как радиаторы не имеют паразитной емкостной связи с MOSFET-ключом. К тому же, используются меньшие зазоры и расстояния утечек по сравнению с металлическими радиаторами. Это дает дополнительную экономию площади.

Во многих конструкциях на коммутирующий ключ конвертора поступает напряжение около 370 В. В случае использования в качестве коммутирующего ключа одного MOSFET, противо-ЭДС, наводимая за счет накопленной магнитной энергии в первичной обмотке трансформатора, при открытом ключе вынуждает использовать MOSFET-ключ с предельным рабочим напряжением 1000 В (объясняется это и тем, что при скоростях изменения напряжений и токов, которые обеспечивают MOSFET, выбросы напряжения за счет паразитных индуктивностей подводящих проводов и выводов конденсаторов могут привести к отказу элемента). В настоящее время MOSFET с такими рабочими напряжениями доступны, но они относительно дороги и характеризуются большим сопротивлением открытого канала $R_{DC(on)}$ — примерно 40 мОм, что значительно снижает эффективность. Необходимо также применять демпфирующую цепь для ограничения импульсов напряжения, воздействующих на входной конденсатор, добавлять размагничивающую обмотку на силовом трансформаторе для передачи энергии обратного такта в первичный источник или нагрузку и другие компоненты, поэтому количество компонентов, стоимость и площадь печатной платы возрастают. Более разумным решением является применение двух транзисторов MOSFET, установленных так, как это показано на рис. 1. Транзисторы работают совместно на любой из сторон вторичной обмотки трансформатора, и к диодам в прямом направлении прикладывается напряжение примерно на 1 В больше входного напряжения, они ограничивают максимальное обратное напряжение, создаваемое магнитной энергией, накопленной в обмотке трансформатора, защищают накопительный конденсатор и устраняют необходимость в демпфирующей цепи. Стоимость MOSFET с рабочим напряжением 500 В составляет около 1/6 стоимости MOSFET с рабочим напряжением 1000 В, и это компоненты с сопротивлением открытого канала $R_{DC(on)}$ не выше 5 мОм, их поставляет ряд компаний. Несмо-

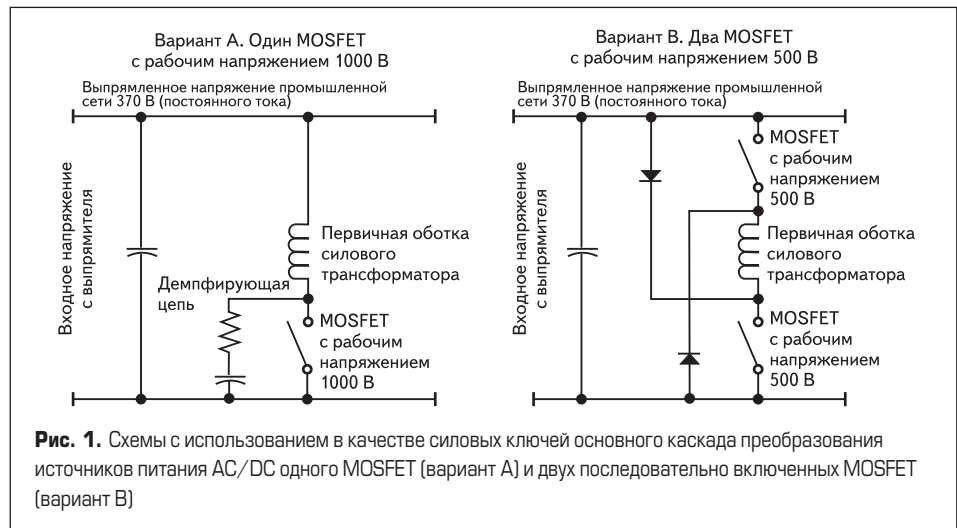


Рис. 1. Схемы с использованием в качестве силовых ключей основного каскада преобразования источников питания AC/DC одного MOSFET (вариант А) и двух последовательно включенных MOSFET (вариант В)

тря на минимальное количество компонентов, вариант А (применение в качестве коммутирующего ключа одного MOSFET с рабочим напряжением 1000 В) является более дорогостоящим и менее эффективным по сравнению с вариантом В (использование двух MOSFET с небольшим значением сопротивления открытого канала).

4. **Выходной выпрямитель.** Здесь выбор за синхронным выпрямлением: использование MOSFET предпочтительней, чем выходных выпрямительных диодов [3], [4]. Например, ток 20 А, протекающий через диод, и падение напряжения на диоде 0,5 В дают рассеивание мощности 10 Вт. Применяемый в качестве синхронного ключа MOSFET с сопротивлением канала в открытом состоянии 14 мОм при температуре +100 °С рассеивает только 5,6 Вт, а это уменьшение рассеиваемой мощности на 44%. И здесь керамические основания могут заменить традиционные металлические радиаторы.

5. **Схема управления.** В последнее время производители полупроводниковых изделий разрабатывают все больше интегральных схем управления для источников питания. Это ведет к экономии, как количества компонентов, так и площади печатной платы, даже в тех случаях, когда стоимость интегральных микросхем выше, чем использование для схем управления аналоговых (операционные усилители, компараторы, таймеры), логических микросхем и дискретных компонентов. В качестве примера можно привести микросхему типа IR1150 — это интегральная микросхема контроллера корректора коэффициента мощности однотактного типа (one-cycle control), которая позволяет значительно сократить число компонентов без снижения характеристик источника питания. Подобные специализированные микросхемы могут обеспечить управление основным преобразователем напряжения и защиту от перегрузки, перенапряжения и перегрева. Они также могут управлять коммутацией выходного выпрямителя. Другие желаемые варианты управления для повышенной гибкости применений — это распределение мощности с синхронным монотонным запуском [5], схема выключения источника посредством логи-

ческого управления, сигнал статуса источника питания (Power Good) и управление функциональными возможностями, необходимыми для конвертора дежурного режима (standby) [6]. Преобразователь дежурного режима обеспечивает независимый выходной канал напряжения 5 В при наличии переменного напряжения. На рис. 2 представлен источник питания AC/DC EMA212 — типичное современное устройство, созданное с применением новейших методов проектирования. Применение некоторых из описанных методов позволило обеспечить выходную мощность 212,5 Вт источника питания EMA212 компании XP Power. Этот ИП имеет габаритные размеры 76,2×127×31 мм. Высокое значение удельной мощности обеспечивается на площади, принятой в промышленности в качестве стандартной, и при этом источник питания может быть установлен в конструктив высотой 1U. Устройство обеспечивает 12, 24 или 48 В по основному каналу (выходная мощность более 200 Вт), 12 В/1 А для обеспечения питанием вентилятора и 5 В для дежурного питания. Для охлаждения необходимо применение



Рис. 2. Внешний вид конструкции компактного источника питания AC/DC EMA212 с максимальной мощностью 212 Вт

воздушного потока небольшой интенсивности, который может быть обеспечен стандартными вентиляторами с площадью 40×40 мм. Принудительное охлаждение воздушным потоком в настоящее время является стандартным во многих коммуникационных системах, и поток 12 фут³/мин создается без применения сложных конструктивных средств. Необходимо отметить, что при полной нагрузке источник питания ЕМА212 обеспечивает КПД 91%.

Возможности для улучшения конструкции источников питания AC/DC есть и будут, и они в значительной степени определяются оптимизацией технических параметров и функциональных возможностей полупроводниковых устройств. Магнитные и пассивные компоненты с усовершенствованными параметрами также играют свою роль. Наилучшие источники питания разрабатываются на основе испытанных прогрессивных компонентных технологий.

При проектировании источников питания необходимо обратить внимание на соблюдение следующих рекомендаций.

1. Силовые полупроводниковые компоненты следует припаивать непосредственно к печатной плате, а затем соединять с шасси связующим веществом, что предпочтительней, чем их изолирование и крепление к шасси традиционным способом — гайками и болтами. Хорошие термические соединительные материалы относительно дороги, но эта технология позволяет сократить затраты на сборку, уменьшить габариты и снизить температуру переходов на 10 °С. Кроме того, тепловые характеристики становятся более предсказуемыми и постоянными. С понижением рассеиваемой тепловой мощности устройства у разработчика появляется возможность выбора: извлечь пользу из увеличения значения МТВФ (время между отказами), так как снижение температуры на каждые 10 °С вдвое увеличивает значение времени наработки до отказа, или увеличить выходную мощность источника питания без уменьшения первоначально рассчитанного значения МТВФ.

2. Замена в конструкции повышающего конвертора выпрямительных диодов карбид-кремниевыми (SiC) диодами. Основным недостатком обычных диодов являются импульсы обратного тока. Большие обратные токи вызывают потери мощности в диоде и коммутирующем транзисторе, которая должна рассеиваться с помощью использования демпфирующих (снабберных) цепей, как показано на рис. 3. Для рассеивания мощности, генерируемой нежелательным обратным током диода, применяют шесть дополнительных компонентов. Полученная площадь печатной платы с соответствующими компонентами, выделенная синими точками, показана на рис. 4.

Карбид-кремниевые диоды характеризуются очень низким значением обратного тока восстановления диода, поэтому их можно применять без дополнительных компонентов, в результате экономится площадь печатной платы, как это показано на рис. 5, уменьшаются затраты на монтаж и увеличивается время между отказами (МТВФ).

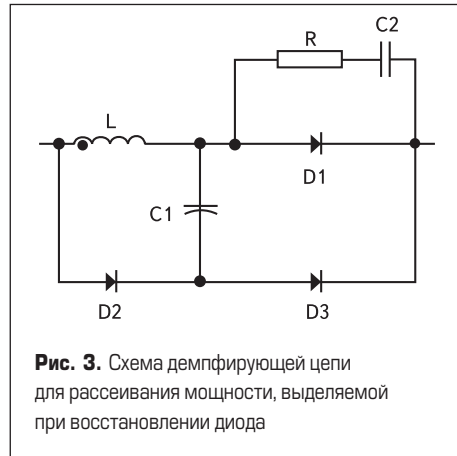


Рис. 3. Схема демпфирующей цепи для рассеивания мощности, выделяемой при восстановлении диода



Рис. 4. Внешний вид конструкции модуля источника питания с демпфирующей цепью



Рис. 5. Внешний вид каскада повышающего преобразователя источника питания с применением карбид-кремниевых диодов с барьером Шоттки

Кроме того, благодаря отсутствию потерь мощности из-за обратного тока восстановления диода значение КПД повышается на 1%, что можно расценить как значительное улучшение. Что касается стоимости, решение на основе SiC-диодов в настоящее время сопоставимо с применением обычного диода и демпфирующей цепи. Приблизительные расчеты текущих цен компонентов на основе затрат для источника питания с выходной мощностью 1000 Вт представлены в таблице 1.

Более низкая стоимость компонентов традиционного решения компенсируется более низкой стоимостью сборки источника питания при использовании SiC-диода. К тому же стоимость карбид-кремниевых диодов

Таблица 1. Расчет стоимости компонентов при использовании в схеме повышающего преобразователя 1000-ваттного источника питания AC/DC обычного диода и SiC-диода

Обычные диоды и демпфирующая цепь		Карбид-кремниевый диод	
Компонент	Стоимость, \$	Компонент	Стоимость, \$
Диод D1 20A/60 В	1,75	SiC диод D1	4,80
Диод D2	0,70		
Диод D3	0,70		
Дроссель L	0,17		
Резистор R	0,03		
Конденсатор C1	0,09		
Конденсатор C2	0,06		
Итого	3,50	Итого:	4,80

от основных производителей Infineon и Cree продолжает снижаться, так как технология становится все более совершенной, поэтому применение SiC-диодов вскоре станет наиболее экономичным решением.

3. Не рекомендуется подключать радиаторы мощных полупроводниковых компонентов к шасси — лучше оставлять их «плавающими» с электрической точки зрения. Это обеспечивает их основные преимущества: во-первых, уменьшаются электромагнитные помехи, потому что помехи не распространяются через шасси; во-вторых, отпадает необходимость в применении варисторов MOV (Metal Oxide Varistor), которые обычно необходимы для подавления импульсов напряжения, применение изолированных радиаторов полностью исключает передачу импульсов напряжения от источника питания; в конечном счете, это уменьшает ток утечки, что чрезвычайно важно для медицинских применений.

4. Надо избегать стандартных подходов при разработке механической конструкции. Далее приводятся несколько примеров, когда творческое мышление принесло преимущества. А. Дроссели, выполненные на тороидальных сердечниках, могут быть установлены на фильтрующих конденсаторах, что предпочтительней размещения их рядом на печатной плате, как показано на рис. 6. Это не только экономит площадь печатной платы, но и сокращает монтажные соединения между компонентами фильтра и улучшает его эффективность.

Б. Защита охлаждающих вентиляторов, установленная вплотную к шасси, может создать значительную воздушную турбулентность и шум. Защита вентилятора, показанная на рис. 7, выштампована из металлического листа и приподнята на 4 мм для создания соответствующего зазора между вентилятором и защитой вентилятора. Это обеспечивает уменьшение шума вентилятора на 4 дБ, что весьма существенно для многих приложений. В. Применение сменных вентиляторов имеет два положительных момента. Вентиляторы — потенциально наиболее ненадежные части любого источника питания, поэтому обеспечение возможности их замены при эксплуатации сокращает затраты на обслуживание и содействует реализации программ запланированного ТО.

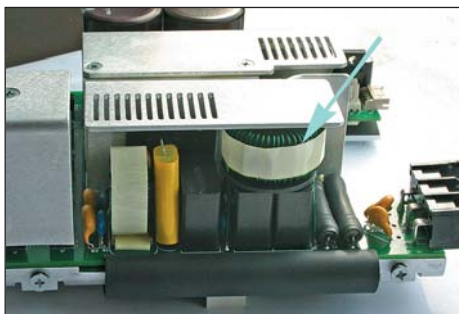


Рис. 6. Установка дросселей на корпусах фильтрующих конденсаторов — разумное конструкторское решение

К тому же, если источник питания предназначен для продажи, нет необходимости учитывать показатели надежности вентилятора при расчете значения времени между отказами, потому что вентилятор не рассматривается в качестве составной части источника питания. Это повышает вычисленное значение MTBF источника питания.

Г. Уменьшение количества печатных плат в конструкции. В конструкции многих источников питания применяются отдельные печатные платы для основной части источника питания, фильтрующих цепей, интерфейсных и управляющих схем. При тщательной проработке конструкции все это может быть размещено на одной плате, что значительно увеличивает надежность благодаря минимизации монтажных соединений и сокращению общего размера источника питания.

Ни один из указанных методов сам по себе не является уникальным, но они были применены комплексно при конструировании кон-



Рис. 7. Правильно установленная защитная крышка вентилятора уменьшает шум вентилятора

фигурируемых источников питания серии **flexPower** компании XP Power, внешний вид которых приведен на рис. 8. В результате работы по проектированию габариты источника питания были уменьшены еще на 10%, значение КПД увеличено на 1%, улучшены показатели электромагнитной совместимости и ток утечки на «землю», сокращено количество компонентов, снижены производственные затраты, упрощено обслуживание и снижены акустические шумы по сравнению с предшествующими моделями. Возможно, ничего революционного, но, тем не менее, полученные источники питания серии **flexPower** значительно лучше своих предшественников.

Литература

1. Полищук А. Применение карбид-кремниевых диодов Шоттки в IGBT-инверторах с жестким переключением // Силовая электроника. 2006. № 1.
2. Исламгазина Л. Применение различных материалов, обеспечивающих оптимальные тепловые режимы силовых полупроводниковых приборов, в том числе модулей твер-



Рис. 8. Внешний вид конструкции источников питания серии flexPower с выходными мощностями от 400 до 2400 Вт

дотельных реле // Силовая электроника. 2005. № 3.

3. Бокор Г. Закономерные тенденции синхронного выпрямления // Современная электроника. 2005. № 2.
4. Жикленков Д. В., Исаков М. С., Карзон Б. Н. Синхронное выпрямление в прямоходовой схеме преобразователя напряжения // Практическая силовая электроника. 2002. № 8.
5. Патока М. Основы объединения систем электропитания // Электронные компоненты. 2007. № 8.
6. Зимник М., Голубев И. Новый ШИМ-контроллер помогает повысить КПД и уменьшить стоимость блока питания // Электронные компоненты. 2006. № 12.