

Одновременное повышение плотности мощности и КПД

за счет инноваций в корпусировании и технологии чипов

Современные инициативы по разработке экологичных изделий в первую очередь направлены на минимизацию энергопотребления устройств бытовой техники, промышленного оборудования и т. д. Однако, несмотря на успехи в общем снижении потребляемой мощности, перед конструкторами источников питания встают все более трудные задачи. Чтобы удовлетворить спрос со стороны конечных потребителей на миниатюризацию электронных устройств с одновременным сохранением или повышением их технических характеристик, необходимо совершенствовать силовые компоненты для достижения большей плотности мощности в новых поколениях изделий.

Шон Самминз
(Sian Cummins)

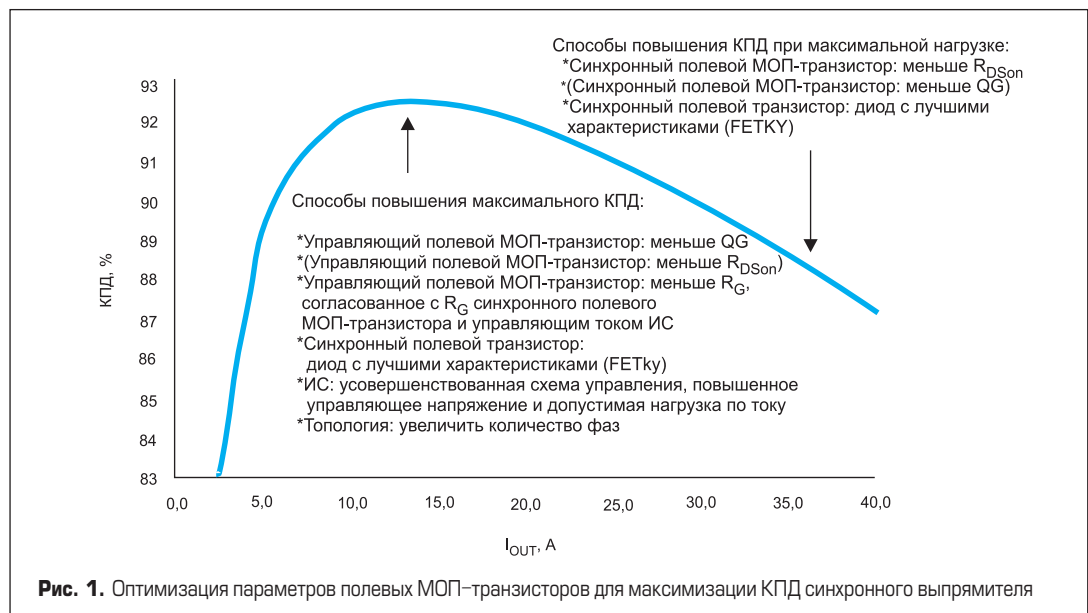
Простор для улучшений

Конструкторы блоков питания реагируют на требования потребителей, используя все более эффективные схемотехнические решения — например, схемы синхронных выпрямителей, которые обеспечивают более эффективное управление переключающим транзистором цепи регулирования мощности по сравнению с комбинацией полевого МОП-транзистора и диода. В настоящее время синхронные выпрямители находят применение в устройствах, рассчитанных на широкий диапазон потребляемых мощностей, — от дискретных стабилизаторов, размещенных в точке потребления, до DC/DC-преобразователей мощностью более 200 Вт.

В целях максимизации КПД синхронного выпрямителя полевые МОП-транзисторы индивидуальным образом оптимизируются для применения в качестве синхронного или управляющего транзистора. Вообще

говоря, управляющий полевой транзистор уже оптимизирован на малые потери на переключение, поскольку обычно он находится в открытом состоянии на протяжении относительно короткого рабочего цикла, а основные потери происходят в условиях жесткого переключения. И наоборот, в большинстве синхронных полевых МОП-транзисторов потери возникают при включении, что требует малого сопротивления в открытом состоянии ($R_{DS(ON)}$).

Однако в конструкции каждого полевого МОП-транзистора должны учитываться и другие механизмы потерь — в частности, открытие синхронного транзистора под действием $C_{dv/dt}$ и индуктивные эффекты на затворе управляющего транзистора, в особенности на высоких рабочих частотах. Кроме того, поскольку весь ток нагрузки проходит через внутренний диод синхронного транзистора в начале каждого цикла открытия, эти потери можно уменьшить, встроив в синхронный транзистор диод Шоттки. Такой диод присутствует в конструкции



транзисторов FETKY (полевой транзистор с диодом Шоттки), производимых компанией IR.

На рис. 1 показана зависимость КПД синхронного выпрямителя от тока нагрузки при заданных входном и выходном напряжении и частоте переключения. Максимальный КПД можно повысить, уменьшив заряд затвора (Q_G), сопротивление затвора (R_G) и сопротивление в открытом состоянии ($R_{DS(ON)}$) управляющего транзистора. С другой стороны, КПД при максимальной нагрузке повышается за счет снижения Q_G и $R_{DS(ON)}$ синхронного транзистора, а также за счет применения полевого транзистора с диодом Шоттки для борьбы с потерями во внутреннем диоде.

Относительно малые потери на переключение по сравнению с альтернативами, такими как БТИЗ, делают полевой МОП-транзистор оптимальным для применения в низковольтных схемах управления электродвигателями. Хотя БТИЗ преобладают в более высоковольтных схемах, полевые МОП-транзисторы, оптимизированные в расчете на малое значение $R_{DS(ON)}$, во многих случаях демонстрируют теперь большую эффективность. Малое значение $R_{DS(ON)}$ — критически важный фактор, поскольку потери на проводимость определяются произведением $I^2 \times R_{DS(ON)}$.

В силовых преобразовательных схемах, подобных этим, спрос на миниатюризацию вызывает общее стремление переходить на более высокие частоты переключения, позволяющие конструкторам использовать малые величины внешних индуктивностей и емкостей в фильтрах. Чтобы обеспечить быстрое переключение при малых потерях, полевой МОП-транзистор должен иметь малую величину накапливаемого заряда, кроме того, необходимо тщательно компенсировать влияние емкости транзистора.

В цепях ORing полевые МОП-транзисторы часто используются вместо простых диодов для повышения КПД и более гибкого управления мощностью. ORing на базе полевых МОП-транзисторов (рис. 2) защищает системы питания, в которых используется несколько источников питания для обеспечения дублирования или для питания которых требуется более одного источника. В качестве примера можно привести ноутбуки, которые способны переключаться с сети переменного тока на аккумулятор без вмешательства пользователя. ORing применяется также в системах, где требуется возможность «горячего подключения», — например, в телекоммуникационном оборудовании с высоким уровнем готовности. Здесь цепь ORing защищает отдельные оперативно заменяемые модули от флуктуаций напряжения питания, а также может использоваться для подачи питания в надлежащем порядке на вставляемые карты или при замене карты источника питания. И здесь малое значение $R_{DS(ON)}$ полевого МОП-транзистора является необходимым условием минимизации потерь.

В зависимости от того, какой запас по надежности предпочитает иметь заказчик, в оборудовании с питанием от источника постоянного тока напряжением 12 В (например, преобразователи в точке потребления на уровне платы, некото-

рые синхронные выпрямители и цепи ORing) необходимо будет применять полевые МОП-транзисторы на номинальное напряжение 25 или 30 В. Для высоковольтного ORing и других схем (например, промышленные электроприводы, синхронные выпрямители и источники питания телекоммуникационной аппаратуры) могут потребоваться компоненты с номинальными напряжениями 40–100, 150 или 200 В.

Совершенствование кристалла полевого МОП-транзистора

Интуитивно понятно, что чем больше площадь кристалла полевого МОП-транзистора, тем меньше сопротивление $R_{DS(ON)}$. Однако при этом увеличиваются габариты устройства, а также растет накапливаемый заряд, что приводит к ухудшению переключательных характеристик и существенным потерям в цепи управления затвором. Новаторские разработки, такие как технология формирования канавок, позволяют достичь малой величины $R_{DS(ON)}$ без накопления чрезмерно большого заряда. Потенциально это позволяет получить ценный выигрыш в КПД, но проектировщикам необходимо также учитывать конкретные требования конструкции. Например, в синхронном выпрямителе синхронный полевой транзистор должен также иметь малую величину заряда затвор-сток (Q_{gd}) и малое отношение зарядов (Q_{gd}/Q_{gs1}) во избежание паразитного включения устройства и соответствующих потерь под действием $C_{dvl\ dr}$.

Другие методики ограничения потерь на переключение, особенно в конструкциях с интенсивным переключением (например, в управляющем полевом транзисторе синхронного выпрямителя), предусматривают оптимизацию размеров затвора и технологию обработки, минимизирующую его сопротивление (R_g).

Корпусирование силовых устройств для поверхностного монтажа

Прогресс в технологии изготовления кристаллов полевых МОП-транзисторов привел к существенному улучшению их характеристик. Однако для дальнейшего совершенствования качеств, повышения КПД и следования современной тенденции к миниатюризации компонентов необходимо сочетать лучшие по характеристикам кристаллы с новаторски-

ми разработками в области корпусирования, которые уменьшают потери, обеспечивают максимальное рассеяние тепла и уменьшают общую площадь посадочного места.

В усовершенствовании корпусов силовых компонентов акцент с давних пор делается на снижении сопротивления корпуса без кристалла (Die-Free Package Resistance, DFPR) и улучшении тепловых характеристик. В модернизированных корпусах для силовых устройств с размерами посадочного места, соответствующими популярному типу корпуса SO-8, уже применялись такие методики, как увеличение площади поперечного сечения соединений стока и истока, а также обеспечение эффективного отвода тепла от кристалла на печатную плату. Один из примеров — технология PowerPak с открытым выводом стока, допускающим непосредственную пайку на печатную плату. Другая передовая технология корпусирования силовых компонентов, DirectFET, предусматривает монтаж кристалла в перевернутом положении, что позволяет припаивать затвор, сток и исток к теплопроводителям на плате. Компания IR выпускает устройства, изготовленные по технологии DirectFET, с сопротивлением корпуса без кристалла от 0,15 мОм, индуктивностью менее 0,1 мГн и тепловым сопротивлением между *p-n*-переходом и корпусом менее 1 °C/Вт для затвора и истока и менее 1,4 °C/Вт для стока.

Чтобы и далее повышать КПД и плотность мощности, понадобятся более компактные корпуса для поверхностного монтажа с высокими тепловыми и электрическими характеристиками.

Выходя на следующий уровень

Для удовлетворения вышеперечисленных требований был разработан корпус PQFN (Power Quad Flat No-lead — безвыводный плоский корпус для силовых устройств с четырьмя рядами контактов). Электрические контакты расположены на дне корпуса, чтобы минимизировать площадь посадочного места в сравнении с размерами кристалла полевого МОП-транзистора. Соединение стока выполнено в виде большой теплопроводной площадки, которая обеспечивает максимальный отвод тепла на печатную плату. Большая площадь этой площадки в сочетании с наличием нескольких контактов для истока (рис. 3) также помогает уменьшить сопротивление корпуса без кристалла (DFPR).

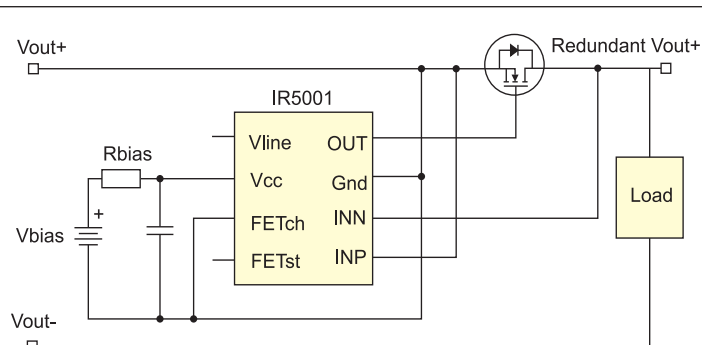


Рис. 2. Схема подключения контактов выводов INN, INP и Gnd ИС управления при включении полевого МОП-транзистора в тракт в разрыв положительной шины питания



Рис. 3. Особенности корпуса PQFN (открытый вывод стока большой площади и несколько контактов для стока), улучшающие его тепловые характеристики и уменьшающие сопротивление корпуса без кристалла (DFPR)

Основные внутренние соединения обеспечиваются толстой медной выводной рамкой и алюминиевыми соединительными проводами (рис. 4). Монтаж кристалла в корпусе производится путем пайки с дополнительной фиксацией оптимизированным медным зажимом. В совокупности эти особенности конструкции максимизируют электрические и тепловые характеристики компактных корпусов для поверхностного монтажа. Корпус PQFN может выпускаться в вариантах с различными размерами — от 2×2 до 12×12 мм.

Эта технология корпусирования обеспечивает максимальную отдачу от усовершенствований в технологии кристаллов, направленных на повышение плотности мощности, КПД и надежности.

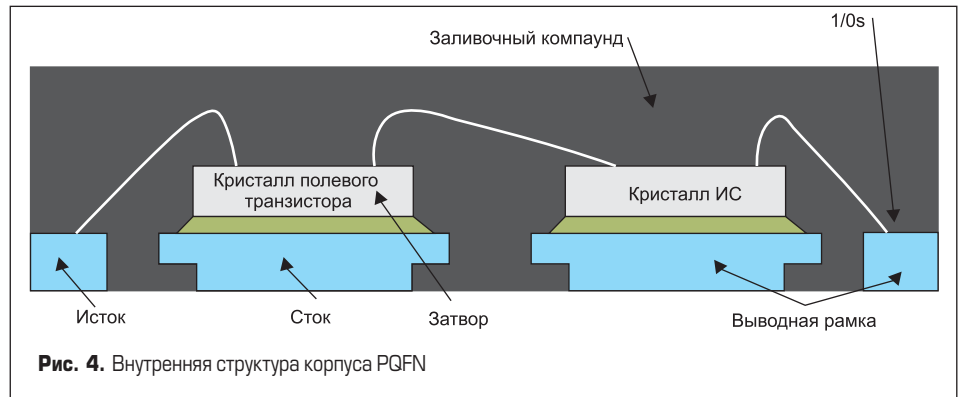


Рис. 4. Внутренняя структура корпуса PQFN

Характеристики компонентов следующего поколения

Недавно компания IR объявила о выпуске серии полевых МОП-транзисторов в корпусах типа PQFN на номинальные напряжения 25–30 В для стабилизаторов, локализованных к нагрузке, и на 150 и 200 В для мощных синхронных выпрямителей, цепей ORing и электроприводов.

В частности, транзистор IRFH5250DTRPBF на номинальное напряжение 25 В имеет $R_{DS(ON)} = 1,7$ мОм (при $V_{gs} = 4,5$ В) и заряд затвора 39 нКл. Он оснащен встроенным диодом Шоттки для обратного восстановления, относясь тем самым к классу устройств FETKY, что делает его пригодным для применения в качестве синхронного полевого транзистора в синхронных выпрямительных модулях. Корпус транзистора типа PQFN имеет размеры 5×6×0,2 мм. Для применения в качестве управляющего полевого транзистора при том же уровне напряжения предназначен тран-

зистор IRFH5255TRPBF, имеющий еще меньший заряд затвора Q_g (7 нКл), сопротивление $R_{DS(ON)} = 8,8$ мОм и малое сопротивление затвора.

Помимо улучшения электрических характеристик устройства, корпус PQFN явился также основным фактором, который позволил достичь теплового сопротивления менее 0,5 °C/Вт между *p-n*-переходом и корпусом и тем самым обеспечить эффективный отвод тепла для повышения надежности.

Выводы

Сочетание корпуса PQFN и усовершенствований в технологии выращивания кристаллов полевых МОП-транзисторов позволяет конструкторам создавать более компактные и экономичные новые конструкции за счет меньших размеров корпуса, меньшего числа внешних компонентов и повышенной допустимой токовой нагрузки.