

Семейство MOSFET с ультранизким $R_{ds(on)}$ в корпусе TO-247 компании International Rectifier

Михаил ГОЛУБЦОВ
mg123@list.ru
Кирилл АВТУШЕНКО
avtushenko@compel.ru

Непрерывно развивая свои изделия и улучшая их характеристики, компания International Rectifier является лидером в секторе силовых полупроводниковых приборов. Новая линейка силовых N-канальных MOSFET-транзисторов с рекордно низким сопротивлением открытого канала — прямое тому подтверждение.

Представленные транзисторы выполнены по улучшенной технологии Trench HEXFET MOSFET и обладают почти вдвое меньшим сопротивлением открытого канала $R_{ds(on)}$ (сопротивление перехода сток-исток в открытом состоянии) в сравнении с классическими HEXFET-транзисторами. Снижение сопротивления открытого канала приводит к уменьшению количества тепла, рассеиваемого транзистором. Это позволяет разместить кристалл транзистора в стандартном силовом корпусе TO-247, а не применять дорогие и неудобные для монтажа экзотические корпуса, такие как ISOTOP или

miniBLOC. При этом значительно повышается эффективность системы, ведь низкое сопротивление канала транзистора — это еще и повышение КПД, что является одной из основных задач при проектировании силовых устройств.

Новые транзисторы предназначены для использования в синхронных выпрямителях, управления мощными двигателями постоянного тока, построения мощных импульсных преобразователей напряжения и других силовых устройств. Высокая плотность тока, обеспечиваемая транзисторами нового семейства, позволяет избавиться от необходимости параллельного использования транзисторов,

что является частой мерой, применяемой разработчиками для обеспечения требуемой выходной мощности устройства. Помимо снижения конечной стоимости устройства, в этом случае также снимается ряд технических проблем по обеспечению равномерного распределения токов между параллельными транзисторами. Применение транзисторов нового семейства позволит увеличить время работы систем с батарейным электропитанием и значительно повысить эффективность мощных звуковых усилителей класса D.

Транзисторы выполнены на базе новой кремниевой технологии, применяемой компанией IR, — Gen10.7, которая представляет собой дальнейшее развитие HEXFET-концепции. Транзисторы, изготавливаемые по этой технологии, представляют собой сложную полупроводниковую гексагональную микроструктуру. Она позволяет увеличить допустимый рабочий ток транзистора и снизить сопротивление канала транзистора. В результате величина параметра $R_{ds(on)}$ достигает рекордно низких значений (единицы миллиом).

Новые транзисторы охватывают широкий диапазон рабочих напряжений — от 75 до 300 В и квалифицированы как компоненты для промышленного применения. Основные параметры описываемых транзисторов приведены в таблице.

Не секрет, что эффективность работы силового транзистора MOSFET зависит от того, насколько хорошо отводится выделяемое им при работе тепло.

Рассмотрим подробнее, что происходит при нагреве транзистора, закрепленного на радиаторе. Для этого будем использовать понятие «тепловое сопротивление». Этот параметр характеризует, насколько хорошо или плохо распространяется тепло в том или ином виде материалов. На рис. 1 изображена обобщенная схема распределения тепловых сопротивлений для корпуса TO-247.

Таблица. Значение основных параметров MOSFET нового семейства

Название	Канал	Напряжение пробоя сток-исток, В	Сопротивление перехода сток-исток в открытом состоянии, мОм	Заряд затвора, нКл	Максимальный ток стока при +25 °С, А	Корпус
IRFP4368PBF	N	75	1,85	380	195	TO-247AC
IRFP4468PBF	N	100	2,6	360	195*	TO-247AC
IRFP4568PBF	N	150	5,9	151	171	TO-247AC
IRFP4668PBF	N	200	9,7	161	130	TO-247AC
IRFP4768PBF	N	250	17	180	93	TO-247AC
IRFP4868PBF	N	300	32	180	70	TO-247AC
IRFP4137PBF	N	300	69	83	38	TO-247AC

Примечание. * Максимальный ток ограничен параметрами корпуса.

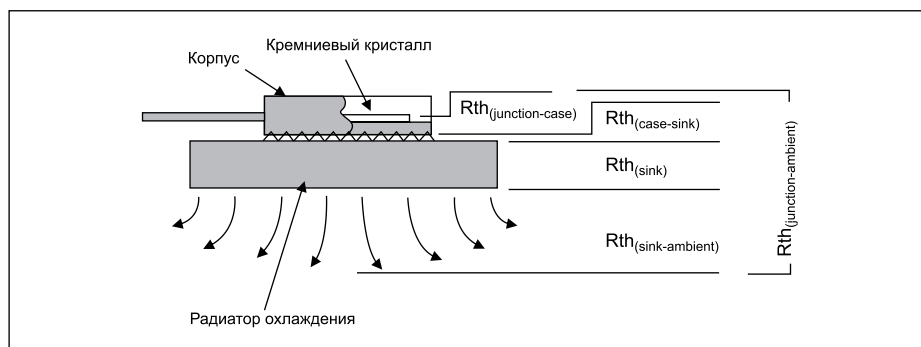


Рис. 1. Распределение тепловых сопротивлений

Рассмотрим природу и сущность приведенных тепловых сопротивлений более подробно:

- $R_{th(junction-case)}$ — этот параметр приводится производителем в документации на транзистор и характеризует тепловое сопротивление между кристаллом и корпусом транзистора. Влиять на величину этого параметра инженер-разработчик не может.
- $R_{th(case-sink)}$ — этот параметр называют «контактное тепловое сопротивление». Он характеризует тепловое сопротивление между корпусом транзистора и радиатором охлаждения. Этот параметр сильно зависит от размера, качества изготовления, расположения и силы прижатия друг к другу поверхностей радиатора и транзистора. Таким образом, разработчик, применяя различные виды крепления транзистора к радиатору, имеет возможность значительно влиять на величину этого параметра.
- $R_{th(sink)}$ и $R_{th(sink-ambient)}$ — эти тепловые сопротивления определяются конструкцией и размерами радиатора. Инженер-разработчик может влиять на эти параметры, выбирая тип и размеры радиатора охлаждения. При этом, как правило, приходится находить компромисс между эффективностью решения и его стоимостью.

На рис. 2 в увеличенном виде показано соприкосновение поверхности корпуса транзистора и поверхности радиатора. Неровность поверхностей объясняется тем, что идеально обработать поверхность металла — сложно и дорого. В результате в месте контакта поверхностей возникает воздушная прослойка, которая является отличным тепловым изолятором и не позволяет эффективно отводить тепло с рабочей поверхности транзистора.

Для решения этой проблемы и улучшения теплоотвода используют различные промежуточные материалы, обычно в виде густой пасты с хорошей теплопроводностью. Ее наносят на корпус транзистора, после чего плотно прижимают поверхности друг к другу. Благодаря своей текучести паста заполняет все неровности и вытесняет оттуда воздух. Таким образом, контактное тепловое сопротивление значительно снижается.

Чем больше усилие прижатия радиатора к поверхности корпуса транзистора, тем лучше осуществляется тепловой контакт. В ходе экспериментов инженеры компании-производителя выявили, что тепловое сопротивление при увеличении усилия прижатия сначала изменяется очень быстро, а затем, с какого-то момента, начинает мало зависеть от силы прижатия. Примерная зависимость контактного теплового сопротивления от силы прижатия поверхности радиатора и корпуса транзистора показана на рис. 3.

На графике (рис. 3) видно, что создавать усилие прижатия меньше или больше

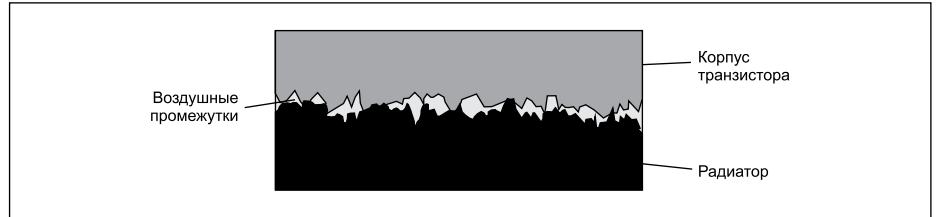


Рис. 2. Увеличенный фрагмент, где соприкасаются поверхности корпуса транзистора и радиатора охлаждения

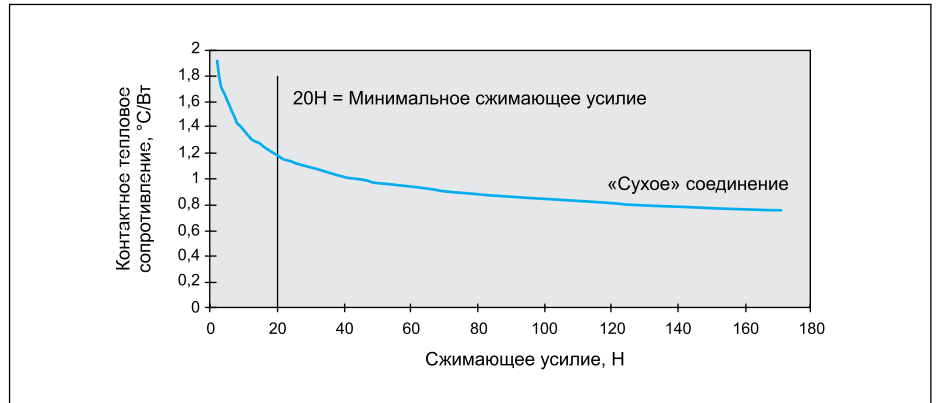


Рис. 3. Зависимость контактного теплового сопротивления от усилия прижима для «сухого» соединения

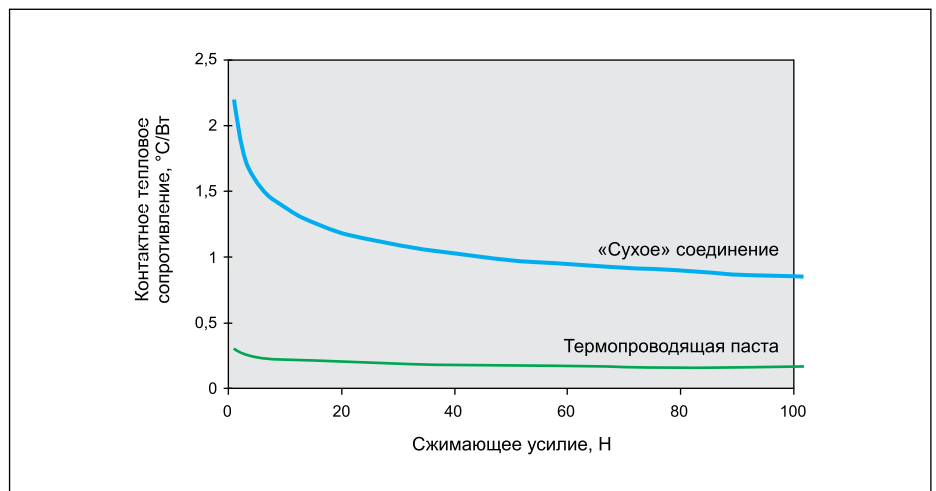


Рис. 4. Зависимость контактного теплового сопротивления от усилия прижима для «сухого» соединения и термопасты

определенных значений нерационально. При малом усилии резко снижается эффективность теплоотвода, что приводит к увеличению габаритов радиатора и его удорожанию. При превышении максимального значения происходит удорожание за счет более сложной и дорогой конструкции радиатора и его крепления, но при этом прироста эффективности теплоотвода практически нет.

На рис. 4 показаны графики зависимости теплового сопротивления от усилия прижима для «сухого» соединения и для соединения с термопроводящей пастой.

Приведенный график подтверждает наше утверждение о том, что соединение с использованием термопасты значительно эффективнее с точки зрения теплопроводности.

Не стоит забывать еще об одной особенности — один из выводов корпуса ТО-247 соединен с задней металлической стенкой корпуса транзистора, которая непосредственно касается радиатора охлаждения. В случаях, когда транзисторов несколько и эти их выводы нельзя соединять между собой, возникает выбор — либо использовать отдельные радиаторы охлаждения, либо электрически изолировать транзистор от радиатора. Понятно, что конструктивно, в большинстве случаев, удобнее использовать один радиатор и на нем закрепить все транзисторы.

Для электрической изоляции корпуса транзистора от радиатора есть множество решений, начиная от слюды и заканчивая специальными теплопроводящими прокладками на основе резины.

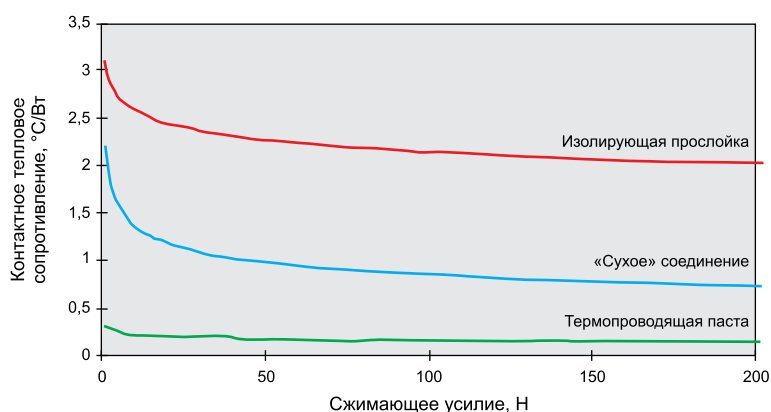


Рис. 5. Зависимость контактного теплового сопротивления от усилия прижима для «сухого» соединения, термопасты и изолирующей прокладки

Но при таком решении следует учитывать, что какие бы изолирующие прокладки ни использовались, чаще всего их тепловое сопротивление больше, чем даже при «сухом» соприкосновении корпуса транзистора и радиатора охлаждения.

На рис. 5 приведены графики зависимости контактного теплового сопротивления от величины прижимного усилия для «сухого» соединения, соединений с применением термопасты и изолирующей прокладки между корпусом транзистора и радиатора охлаждения.

Еще один важный момент: корпуса TO-247 и Super TO-247 отличаются друг от друга наличием в первом отверстии для крепления винтом, в то время как второй рассчитан на крепление к радиатору с помощью одного из видов клипс. На рис. 6 показан один из вариантов крепления транзистора к радиатору с помощью клипсы.

Применение клипс позволяет обеспечить требуемое усилие прижатия и минимизировать результирующее тепловое сопротивление системы.

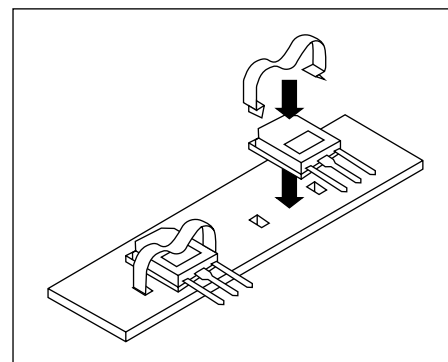


Рис. 6. Пример крепления транзистора к радиатору с помощью клипсы

Заключение

Применение нового семейства транзисторов компании International Rectifier, выполненных по технологии Gen10.7, позволяет повысить эффективность силовых устройств.

При этом даже простая замена старых решений транзисторами нового семейства значительно улучшает параметры имеющихся устройств. Для максимального использования преимуществ новых транзисторов следует учитывать особенности их правильного размещения на радиаторе охлаждения и осуществлять их крепление к радиатору с помощью специализированных термопаст и крепежных клипс.