

# ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ MOSFET

**ВЛАДИМИР НЕЛЮБИН**, инженер

В статье анализируются причины расхождения между данными о тепловых сопротивлениях, указанных в технических описаниях от производителя, и практическими результатами, а также сравниваются тепловые характеристики корпусов PowerDI5060 компании Diodes с аналогами от конкурирующих производителей.

## ВВЕДЕНИЕ

Между тепловыми характеристиками, заявленными в техническом описании устройства, и теми значениями, которые наблюдаются на практике при его эксплуатации, может быть существенная разница. Производители полупроводников, как правило, указывают значения теплового сопротивления между переходом и корпусом ( $R_{\theta JC}$ ), а также между переходом и окружающей средой ( $R_{\theta JA}$ ). И хотя эти очень полезные параметры позволяют оценить способность устройства работать при заданной мощности, на практике имеется заметное расхождение между заявленными и фактическими значениями.

Мы рассмотрим причины этих расхождений.

## ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И КОРПУСА MOSFET

Тепловое сопротивление «переход – корпус» ( $R_{\theta JC}$ ) является характеристикой MOSFET, описывающей

тепловое сопротивление внутри корпуса устройства.  $R_{\theta JC}$  – постоянная величина, определяемая размером кристалла и конструкцией корпуса. Этот показатель характеризует только рассеиваемую в устройстве мощность. В рассматриваемом случае  $R_{\theta JC}$  определяет тепловое сопротивление между переходом и нижней поверхностью наружной контактной площадки. С другой стороны, тепловое сопротивление между переходом и окружающей средой ( $R_{\theta JA}$ ) равно сумме тепловых сопротивлений при прохождении теплового потока от кристалла во внешнюю среду. Этот показатель в значительно большей степени зависит от топологии печатной платы и характеристики теплоотвода. Например, можно предположить, что в результате изменения размера медного участка, где рассеивается тепло, изменится и величина  $R_{\theta JA}$ . Этот показатель позволяет получить визуальное представление о цепи тепловых сопротивлений внутри MOSFET (см. рис. 1).

Поскольку наибольшее количество тепла, генерируемого MOSFET, рассеивается медным теплоотводом на печатной плате, следовательно, чем больше площадь его площади, тем меньше величина  $R_{\theta JA}$ . И, наоборот, – чем меньше площадь этой медной поверхности, тем выше тепловое сопротивление. Таким образом, величина  $R_{\theta JA}$  играет определяющую роль в приложении. Чтобы понять то, как влияет  $R_{\theta JA}$  на тепловую характеристику MOSFET семейства DMTH, мы протестировали три разных корпуса (см. табл. 1).

Все устройства были установлены на стеклотекстолитовые однослойные печатные платы с медным покрытием толщиной в одну унцию. На платах не использовались дополнительные теплоотводы. Величина медной контактной площадки стока на каждой плате изменялась в диапазоне от минимальной, определяемой размерами корпуса, до 25,4×25,4 мм.

Измерение тепловой характеристики осуществлялось с помощью специализированного термоанализатора,

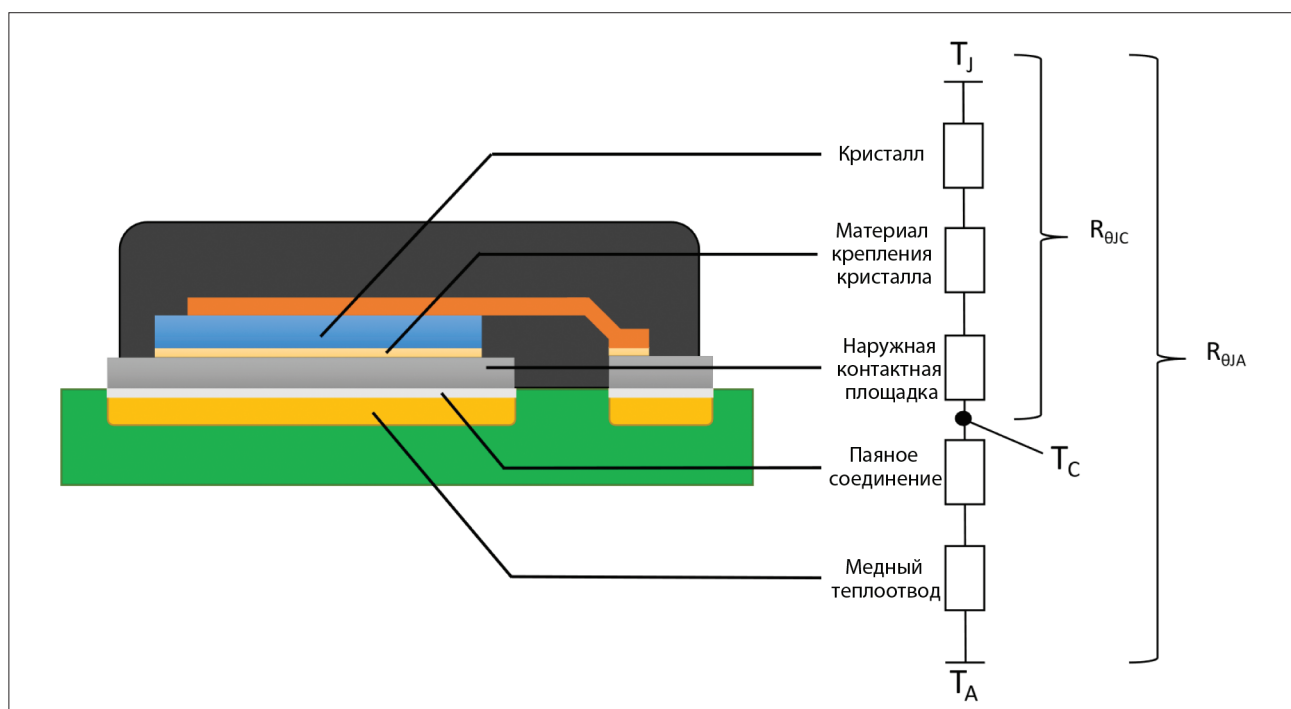

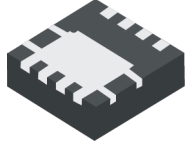
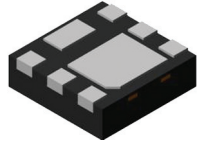


Рис. 1. Поперечное сечение корпуса силового MOSFET и цепь из тепловых сопротивлений

Таблица 1. Параметры транзисторов MOSFET, принявших участие в тестах

Устройство	DMTH41M8SPSQ	DMTH43M8LFGQ	DMTH4008LDFWQ
Корпус	 PowerDI5060-8	 PowerDI3333-8	 DFN2020-6
Размеры корпуса, мм	5×6	3×3	2×2
Размеры контактной площадки стока, мм	4,0×3,7	2,3×1,6	1,0×1,2
Значение $R_{\theta JC}$ из техописания, °C/Вт	1,0	2,3	14,8
Значение $R_{\theta JA}$ из техописания, °C/Вт	49	57,8	153

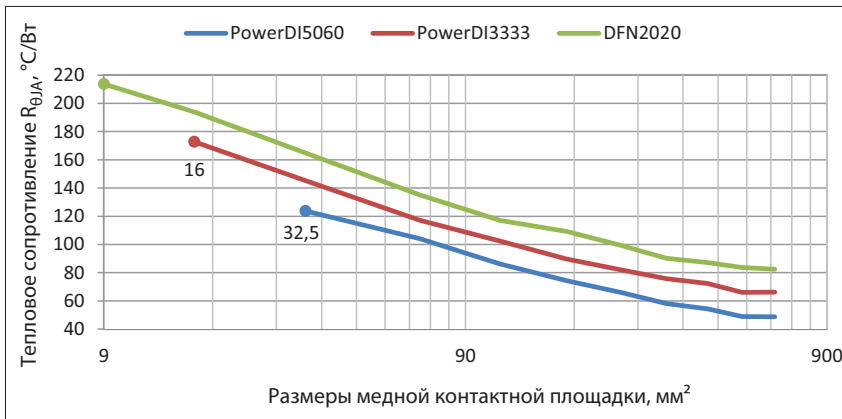


Рис. 2. График зависимости теплового сопротивления от величины контактной площадки

который определял температурный коэффициент и тепловое сопротивление «переход – внешняя среда» для каждой платы. По результатам измерений был построен график зависимости теплового сопротивления от размеров контактной площадки (см. рис. 2).

Из рисунка 2 видно, что тепловое сопротивление непрерывно уменьшается по мере увеличения площади медного участка. Наименьшее значение  $R_{\theta JA}$  достигается при наибольшей площади независимо от корпуса. Заметим, что  $R_{\theta JA}$  возрастает с уменьшением размеров корпуса, при этом разница между соответствующими значениями трех полученных кривых практически не меняется. Поскольку все устройства тестировались в одинаковых условиях, эта разница может быть обусловлена размером корпуса и самого кристалла, т.е. величиной  $R_{\theta JC}$ .

Результаты измерения тепловой характеристики также позволяют определить мощность, рассеиваемую на печатной плате в установившемся режиме. На рисунке 3 показана зависимость этой мощности в соответствии с полученными результатами.

Видно, что величина рассеиваемой мощности корпуса PowerDI5060 больше, чем у остальных корпусов: она равна 2,12 Вт, если размер контактной

площадки максимальный. Благодаря этому устройство может работать при больших токах. Кроме того, тепло распределяется эффективнее по большей площади по сравнению с другими корпусами.

Разница между значениями мощности, рассеиваемой на контакте стока площадью до 70 мм<sup>2</sup> в случае корпусов DFN2020 и PowerDI3333, не превышает 100 мВт и становится максимальной

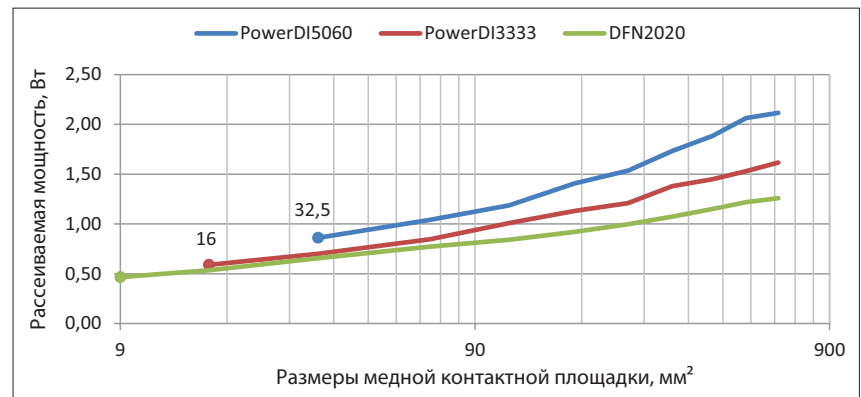


Рис. 3. Зависимость рассеиваемой мощности от размера контактной площадки

Таблица 3. Сравнение параметров двух MOSFET

	Корпус	$V_{DS}$	$I_D$	$R_{\theta JC}$	$R_{DS(ON)}$
DMTH41M8SPSQ	PowerDI5060	40 В	100 А	1,0°С/Вт	1,8 мОм
Конкурент	Power 50-8	40 В	120 А	0,5°С/Вт	1,7 мОм

(360 мВт) при использовании самой большой площадки.

Рассеиваемая мощность каждого устройства рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$P_D = \frac{T_{Jmax} - T_{amb}}{R_{\theta}}$$

где  $T_{Jmax}$  – максимальная рабочая температура перехода в кристалла;  $T_{amb}$  предполагается равной 25°С, а  $R_{\theta}$  в рассматриваемом случае равно  $R_{\theta JA}$ .

Значения рассеиваемой мощности трех MOSFET представлены в таблице 2.

Представленные в таблице 2 резуль-

Таблица 2. Расчетные значения рассеиваемой мощности трех корпусов

PowerDI5060-8	3,06 Вт
PowerDI3333-8	2,27 Вт
DFN2020-6	1,81 Вт

таты близки к заявленным значениям. Однако следует помнить, что они получены путем теоретического расчета. Из рисунка 3 видно, что на практике величина рассеиваемой мощности ниже расчетной. Главная причина этого расхождения – в разных условиях, в т.ч. условиях эксплуатации, в которых осуществлялись тесты.

Методы управления тепловыми характеристиками, как правило, позволяют существенно уменьшить тепловое сопротивление печатной платы и ее компонентов. Добавление заземляющих слоев, тепловых сквозных отверстий и дополнительных медных участков уменьшает величину  $R_{\theta JA}$ , позволяя увеличить рассеяние мощности. Например, несмотря на то, что результат измерения  $R_{\theta JA}$  при тестиро-

вании корпуса PowerDI5060 практически совпал с заявленным в техническом описании, величина рассеиваемой мощности в этом описании на 1 Вт превышает измеренную.

### СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ POWERDI5060 И АНАЛОГА

Чтобы лучше понять, как тепловые характеристики влияют на работоспособность устройств на практике, мы сравнили N-канальный MOSFET DMTH41M8SPSQ от компании Diodes с конкурирующим аналогом со схожими характеристиками. В обоих устройствах, которые выпускаются в корпусах одинакового размера, используется зажим для соединения с общим стоком, а не проводное соединение.

Величина  $R_{\theta JC}$  транзистора DMTH41M8SPSQ составляет  $1,0^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ , а у конкурирующего аналога она, как следует из техописания, равна  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ; при этом величина  $R_{\theta JA}$  не указана. По этой причине разработчик может совершить распространенную ошибку – воспользоваться  $R_{\theta JC}$  для расчета рассеиваемой мощности. Однако из рисунка 1 видно, что  $R_{\theta JA} > R_{\theta JC}$ , и потому в расчете следует использовать  $R_{\theta JA}$ . На рисунке 4 представлены фактические значения  $R_{\theta JA}$  обоих устройств, протестированных при одинаковых условиях.

Из рисунка видно, что разница между сопротивлениями  $R_{\theta JA}$  двух сравниваемых транзисторов минимальна за исключением начальных значений; при наибольшем размере медной контактной площадки эта разница не превышает  $1,0^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ , из чего можно предположить, что у обоих устройств – схожие тепловые характеристики. Сравним рассеиваемые мощности обоих устройств с помощью той же формулы,

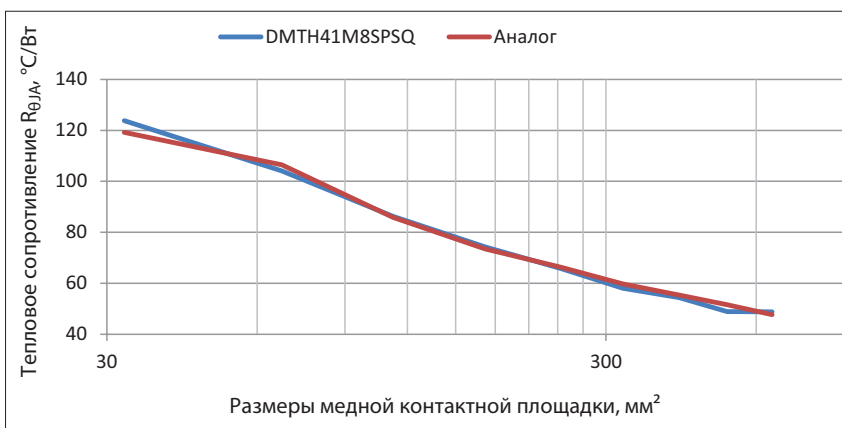


Рис. 4. Зависимость сопротивления  $R_{\theta JA}$  от размера контактной площадки транзистора DMTH41M8SPSQ и аналога конкурирующей компании

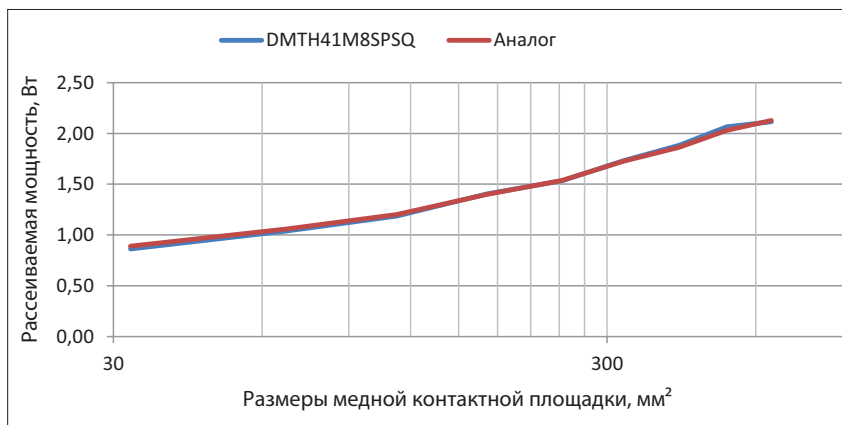


Рис. 5. Зависимость рассеиваемой мощности от размера контактной площадки транзистора DMTH41M8SPSQ и аналога конкурирующей компании

что и ранее, подставив значения  $R_{\theta JA}$  из рисунка 4. При максимальном размере площадки получим:

$$P_D = \frac{175 - 25}{48,713} = 3,14 \text{ Вт}$$

в случае с аналогом.

$$P_D = \frac{175 - 25}{48,776} = 3,07 \text{ Вт}$$

в случае с DMTH41M8SPSQ;

Очевидно, что разница между значениями рассеиваемой мощности двух корпусов минимальна, как и на рисунке 4. Для измерения фактических значений рассеиваемой мощности

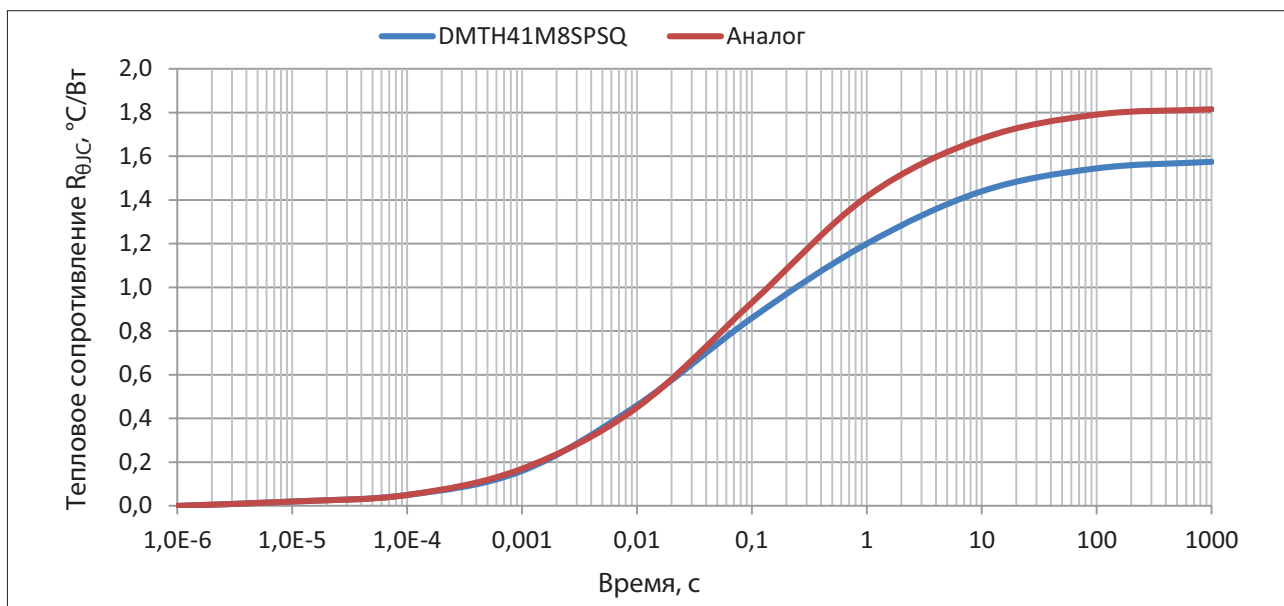


Рис. 6. Зависимость теплового сопротивления между переходом и корпусом ( $R_{\theta JC}$ ) от одиночных импульсов

было проведено еще одно тестирование с использованием соответствующего оборудования.

Из рисунка 5 видно, что кривые рассеиваемой мощности накладываются друг на друга, т. е. разница между ними практически незаметна. Следовательно, можно сделать вывод о том, что рабочие параметры двух рассматриваемых устройств почти одинаковы. Таким образом, и графические, и численные результаты свидетельствуют о том, что ни одно из устройств не превосходит другое по тепловой характеристике. В чем же разница между ними?

Для ответа на этот вопрос был проведен еще один тест, в котором сравнивались значения  $R_{\theta JC}$  обоих MOSFET. Эти устройства были установлены на сплошную медную пластину, которую можно считать бесконечным теплоотводом. Через каждое из них рассеивались одинаковые количества мощности. Устройства поддерживались при одинаковой окружающей температуре с помощью автоматизированного термостата. Таким образом, тепловое сопротивление наблюдалось только между кристаллом и точкой пайки.

На рисунке 6 представлена измененная зависимость теплового сопротивления  $R_{\theta JC}$  от разных одиночных импульсов, где величина  $R_{\theta JC}$  транзистора DMTH41M8SPSQ в установленном режиме равна  $1,57^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , а у конкурен-

та –  $1,81^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Характеристики обоих устройств схожи при использовании импульсов продолжительностью менее 30 мс. Хотя этот график подтверждает разницу между  $R_{\theta JC}$  величиной  $0,24^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , оказывается, что она составляет половину от того значения, которое можно получить, используя значения из технического описания.

На практике большая часть тепловой мощности рассеивается печатной платой, у которой тепловое сопротивление  $R_{\theta JA}$  является доминирующим, т. к. превышает значение  $R_{\theta JC}$ . В рассматриваемом случае тепловые характеристики обоих устройств схожи, а почти идентичные результаты измерения рассеиваемой мощности показали, что небольшая разница в значениях  $R_{\theta JC}$  на практике почти не существенна.

### ВЫВОДЫ

Несомненно, что технические описания предоставляют точную информацию об устройстве, но в тех случаях, когда речь идет о тепловой характеристике, к этим данным следует относиться только как к справочным, понимая, что они не отражают фактического положения дел. Внешние условия меняются от приложения к приложению независимо от значений тепловых сопротивлений, указанных в техописаниях. Размер корпуса и топология платы тоже играют важную роль в формировании теплового сопротивления и, следовательно,

влияют на рассеиваемую мощность. Мало того, для управления рассеиваемым теплом на плате могут применяться разные методы.

В большинстве приложений величина сопротивления  $R_{\theta JA}$  определяет тепловой режим. Влияние этого параметра значимее влияния конфигурации печатной платы, а величина  $R_{\theta JC}$  – лишь малая часть теплового сопротивления всей системы. Хотя  $R_{\theta JC}$  является информативным показателем на уровне устройства, он не дает полного представления о тепловой характеристике устройства на системном уровне.

В случае устройств в корпусах одинакового размера их характеристики немного отличаются от тех, которые заявлены в технических описаниях. В нашем примере тепловая характеристика и мощность рассеивания двух физически схожих устройств от разных производителей оказались одинаковыми. Этот вывод верен и в случае любых других корпусов размером  $5 \times 6$  мм, испытанных при одинаковых условиях. Таким образом, небольшая разница в величинах  $R_{\theta JC}$  на практике не обязательно позволяет улучшить или ухудшить тепловые характеристики.

Заметим также, что информация о тепловых характеристиках устройств, основанная на эмпирических результатах, которые были получены при определенных условиях испытаний, играет лишь вспомогательную роль и ее нельзя считать абсолютно верной.  $\square$