

УДК 621.3.049.75

СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕПЛОТВОДОВ В МНОГОСЛОЙНОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Алексей Андреевич Фадеев

студент 4 курса

Кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель Ю.С. Боброва,

Ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Ключевые слова: теплоотвод (*heat sink*), тепловое сопротивление (*thermal resistance*), теплопроводность (*thermal conductivity*)

Аннотация: Монтируемые на поверхности многослойной печатной платы компоненты зачастую имеют высокую мощность, которую необходимо рассеивать во избежание выхода готового прибора из строя вследствие перегрева. Эта проблема возникает из-за низкой теплопроводности окружающей среды и самой подложки. В статье представлены методы формирования локального теплоотвода в объеме печатной платы, а также результаты анализа модели термосопротивления изделия при различных способах организации теплоотвода.

В последнее время при проектировании сложных приборов производители всё чаще применяют многослойные печатные платы (МПП) благодаря возможности установки большего числа элементов на единицу площади. Компактность получаемого устройства влечёт за собой проблему теплоотвода: так как мощность растёт, а размер компонентов уменьшается, то естественного охлаждения недостаточно. Проблему предлагается решить применением местного теплоотвода, реализованного в объёме платы. Такой метод наиболее эффективен в устройствах, где применение радиаторов нежелательно из-за неминуемого увеличения массы и габаритов. Данная статья является дальнейшим развитием идей, представленных в публикациях [1–3].

Локальный теплоотвод представляет собой пластину из материала с большой теплопроводностью, служащую для отвода тепла с нагретых компонентов МПП в окружающую среду.

Тепловой дизайн

Тепловое проектирование важно для повышения надёжности работы монтируемых компонентов, представляющим собой полупроводниковые приборы, чувствительные к перегреву. Для быстрой оценки тепловых параметров чаще всего используется резисторная модель теплопередачи [1].

Термическое сопротивление по аналогии с законом Ома представляется в виде параллельной комбинации всех термических сопротивлений, через которые отводится тепло (рис. 1).

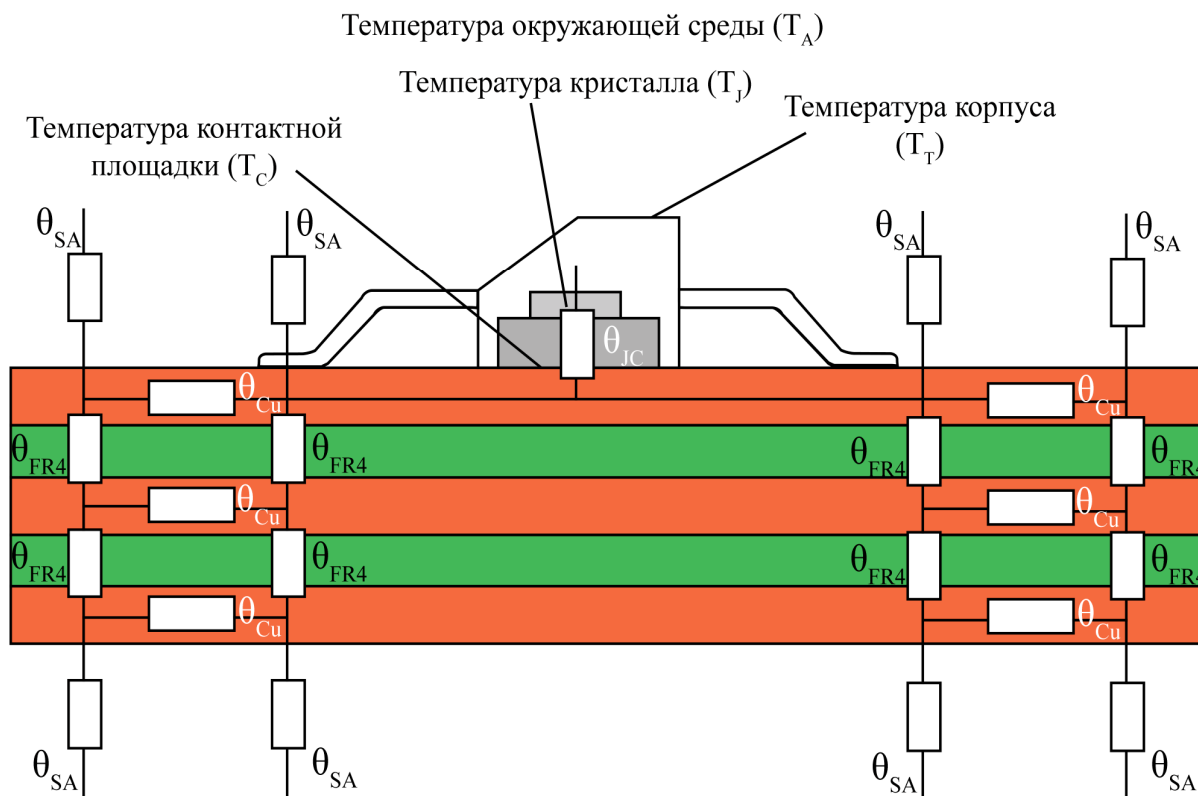


Рис. 1. Модель тепловых сопротивлений многослойной оценочной платы:

Θ_{Cu} – тепловое сопротивление медных дорожек и полигонов платы;

Θ_{JS} – тепловое сопротивление с кристалла в интегральную микросхему;

Θ_{FR4} – тепловое сопротивление материала платы;

Θ_{SA} – тепловое сопротивление с поверхности печатной платы в окружающую среду.

В общем случае, уравнение теплового сопротивления для печатной платы представляет собой тепловой напор, необходимый для передачи теплового потока через слой вещества (1):

$$\Theta_{PCB} = (T_{схемы} - T_{среды})/P, \tag{1}$$

где:

Θ_{PCB} – тепловое сопротивление печатной платы, °C;

$T_{схемы}$ – температура интегральной схемы, °C;

$T_{среды}$ – температура окружающей среды, °C;

P – тепловой поток через участок цепи, Вт.

Для оценки тепловых сопротивлений элементов МПП приведена таблица ниже.

Таблица 1. Типичные величины тепловых сопротивлений

Название	Величина, °C / Вт	Описание	Параметры	Уравнение
Θ_{Cu}	$8,75 \cdot 10^{-4}$	Тепловое сопротивление медного слоя	Длина (a) = 10^{-2} м, ширина (b) = 10^{-2} м, толщина слоя меди (s) = $35 \cdot 10^{-6}$ м, теплопроводность меди (λ_{Cu}) = 400 Вт/(м·°C)	$\Theta_{Cu} = s/(\lambda_{Cu} \cdot a \cdot b) = 35 \cdot 10^{-6}/(400 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2}) = 8,75 \cdot 10^{-4}$
Θ_{FR4}	75	Тепловое сопротивление слоя FR4	Длина (a) = 10^{-2} м, ширина (b) = 10^{-2} м, толщина FR4 (s) =	$\Theta_{FR4} = s/(\lambda_{FR4} \cdot a \cdot b) = 1,5 \cdot 10^{-4}/(0,2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2}) = 75$

			$1,5 \cdot 10^{-4}$ м, теплопроводность FR4 (λ_{FR4}) = 0,2 Вт / (м·°С)	
Θ_{HSAI}	0,067	Тепловое сопротивление теплоотвода из алюминия	Длина (a) = 10^{-2} м, ширина (b) = 10^{-2} м, толщина алюминия (s) = 10^{-3} м, теплопроводность алюминия (λ_{Al}) = 150 Вт/(м·°С)	$\Theta_{HSAI} = s/(\lambda_{Al} \cdot a \cdot b) = 10^{-3}/(150 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2}) = 0,067$
Θ_{HSCu}	0,025	Тепловое сопротивление теплоотвода из меди	Длина (a) = 10^{-2} м, ширина (b) = 10^{-2} м, толщина меди (s) = 10^{-3} м, теплопроводность меди (λ_{Cu}) = 400 Вт/(м·°С)	$\Theta_{HSCu} = s/(\lambda_{Cu} \cdot a \cdot b) = 10^{-3}/(400 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2}) = 0,025$

Как видно из таблицы, основной вклад в теплопроводность вносит основание платы из FR4 (для одного слоя $\Theta_{FR4} = 75$ °С/Вт). Для одного источника тепла с площадью поверхности 1 см² использование двух слоёв основания увеличивает тепловое сопротивление МПП практически в два раза (на 75 °С/Вт) из-за увеличения общей толщины материала. Медь имеет сравнительно малое тепловое сопротивление, но, несмотря на это, его тепловое сопротивление также пропорционально возрастает при увеличении количества слоёв. Существенный вклад итоговую величину вносит используемый материал. Например, использование местного теплоотвода из меди позволяет понизить тепловое сопротивление с 0,067 °С/Вт у алюминиевого теплоотвода до 0,025 °С/Вт. При равных габаритах это даёт улучшение на 63%.

Способы организации теплоотвода

В статье предложены два варианта реализации теплоотвода с мощных компонентов, монтируемых на поверхности МПП (рис. 2, 3).

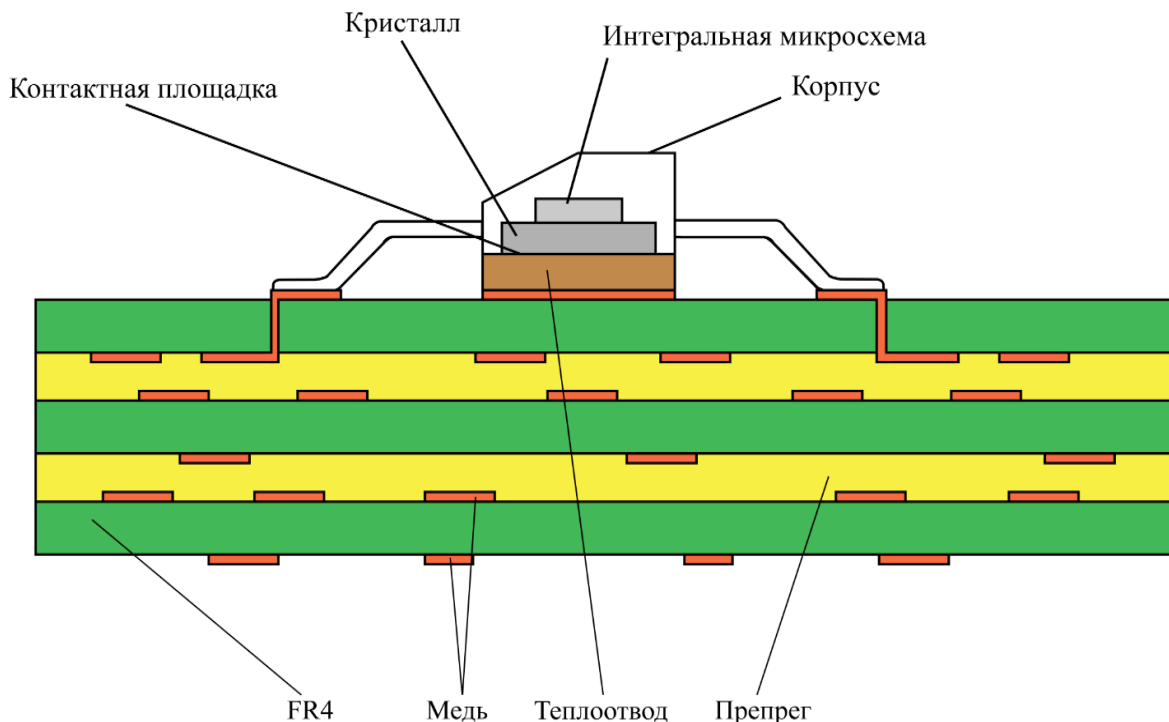


Рис. 2. Теплоотвод, выполненный на поверхности МПП

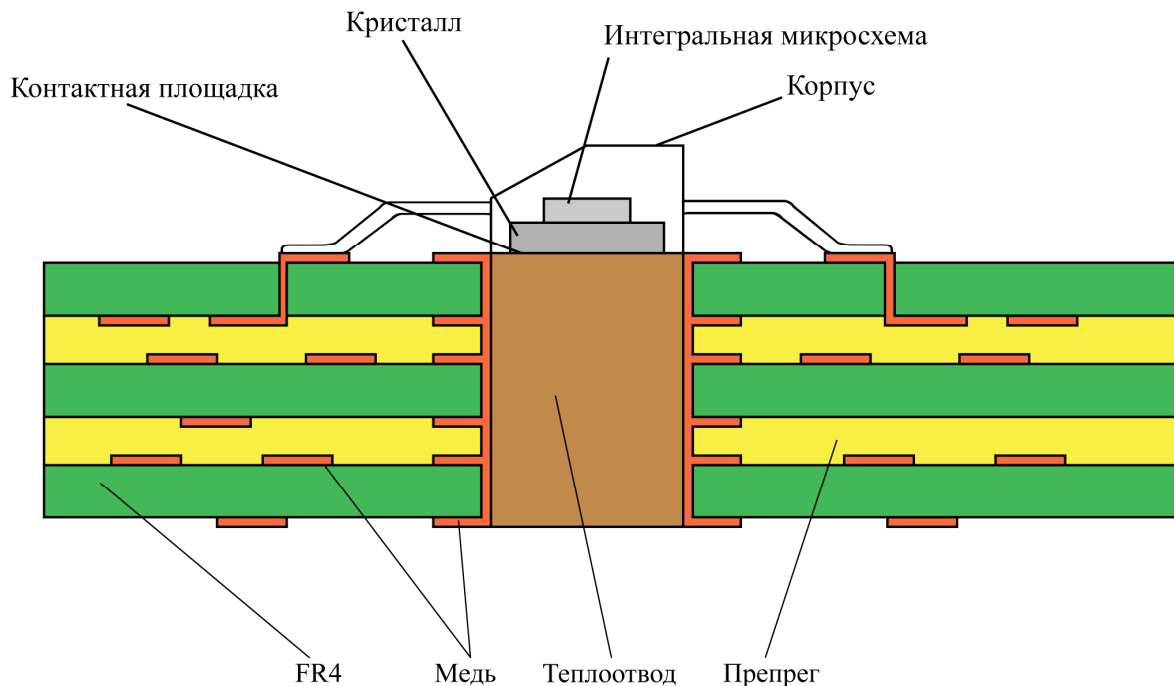


Рис. 3. Теплоотвод, выполненный в объеме МПП

Первый способ довольно прост в реализации: теплоотвод, представляющий собой пластину, монтируется на поверхности, например, с помощью теплопроводящей пасты. Такой метод широко распространён в производстве компьютерной техники. В основном его применяют для компонентов персональных компьютеров и серверов (центральных процессоров, быстрой памяти, видеокарт и т. д). Теплопроводящая паста служит для замены воздуха, находящегося между соприкасающимися поверхностями, так как имеет большую теплопроводность. С конструкторской точки зрения, такой метод требует дополнительного оснащения механическим креплением для установки и замены теплоотвода, что негативно сказывается на массе и габаритах готовой продукции.

Так же широко известен способ посадки теплоотвода на эвтектический припой, не требующий дополнительного механического крепления. При этом нанесение припоя требует предварительного нагрева, что может негативно сказываться на компонентах МПП. Существенный недостаток этих методов в том, что часть тепла отводится на внутренние слои платы, что затрудняет теплоотвод (рис. 4).

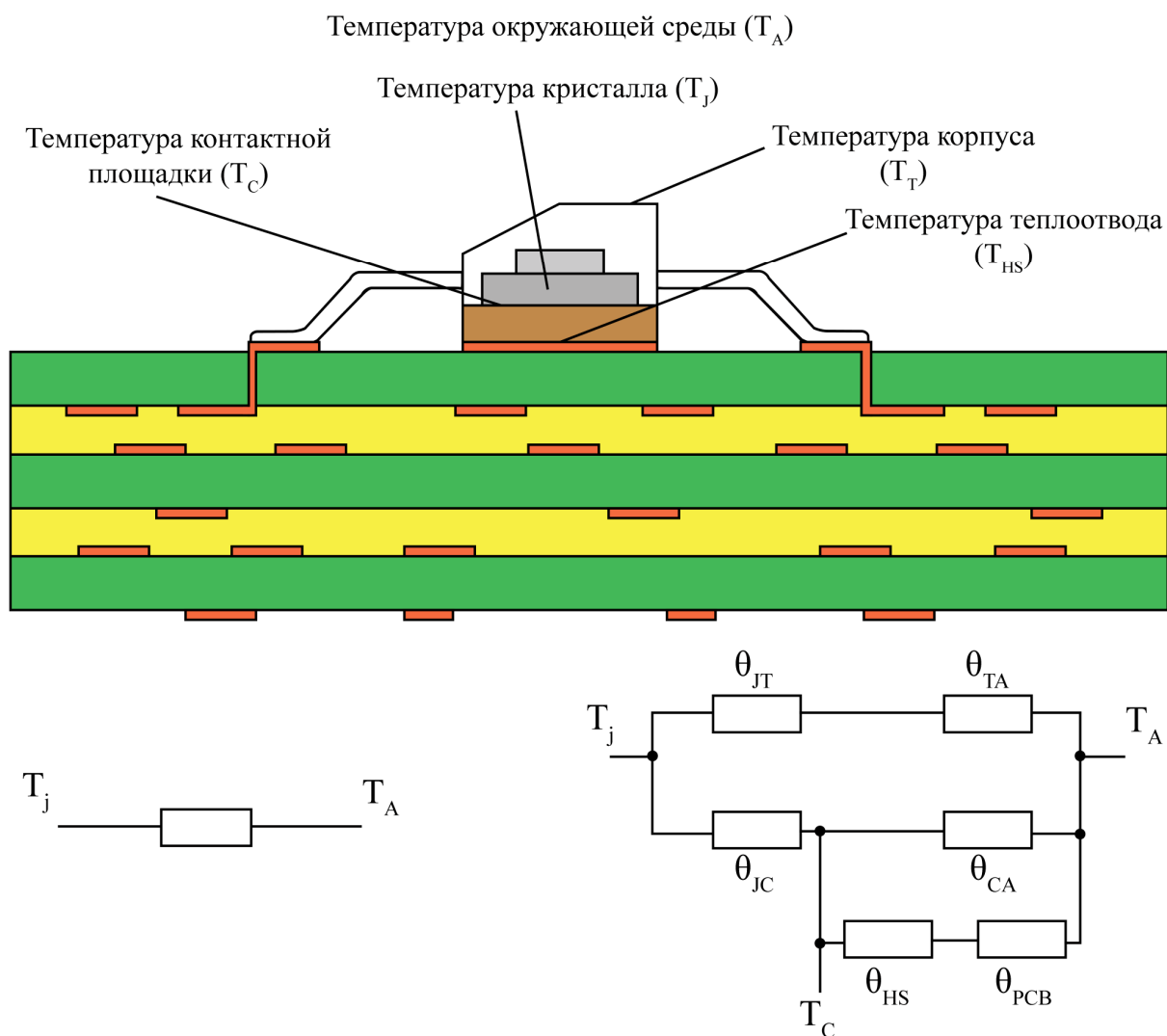


Рис. 4. Модель теплового сопротивления с теплоотводом на поверхности МПП

Как видно из схемы (рис. 4), передача тепла от мощного компонента проходит по двум путям: через корпус (θ_{JT}), затем к окружающей среде (θ_{TA}). Второй путь проходит через соединение кристалла с контактной площадкой (θ_{CA}), теплоотвод (θ_{HS}), а затем через МПП (θ_{PCB}). Теплоотвод имеет низкое сопротивление, для медного равный $0,025 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$, но для платы, состоящей из трёх слоёв FR4, эта величина равна $(75 \cdot 3) \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт} = 225 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$, то есть сопротивление в 9000 раз выше, что приводит к лишнему нагреву внутренних слоёв. Итоговое тепловое сопротивление составляет $225,025 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

В статьях [1, 3] представлены следующие способы борьбы с этой проблемой: увеличение толщины медного слоя, а также использование межслойных металлизированных отверстий, что в совокупности с вышерассмотренным методом может дать существенное снижение теплового сопротивления готовой МПП. В данной статье предлагается кардинально другой способ реализации, устраняющий эти недостатки (рис. 5). Теплоотвод в данном случае монтируется в объёме МПП запрессовкой или пайкой. Для реализации требуется металлизировать отверстие для лучшего контакта с теплоотводом и устранения воздушной прослойки, имеющей низкую теплопроводность ($0,025 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$).

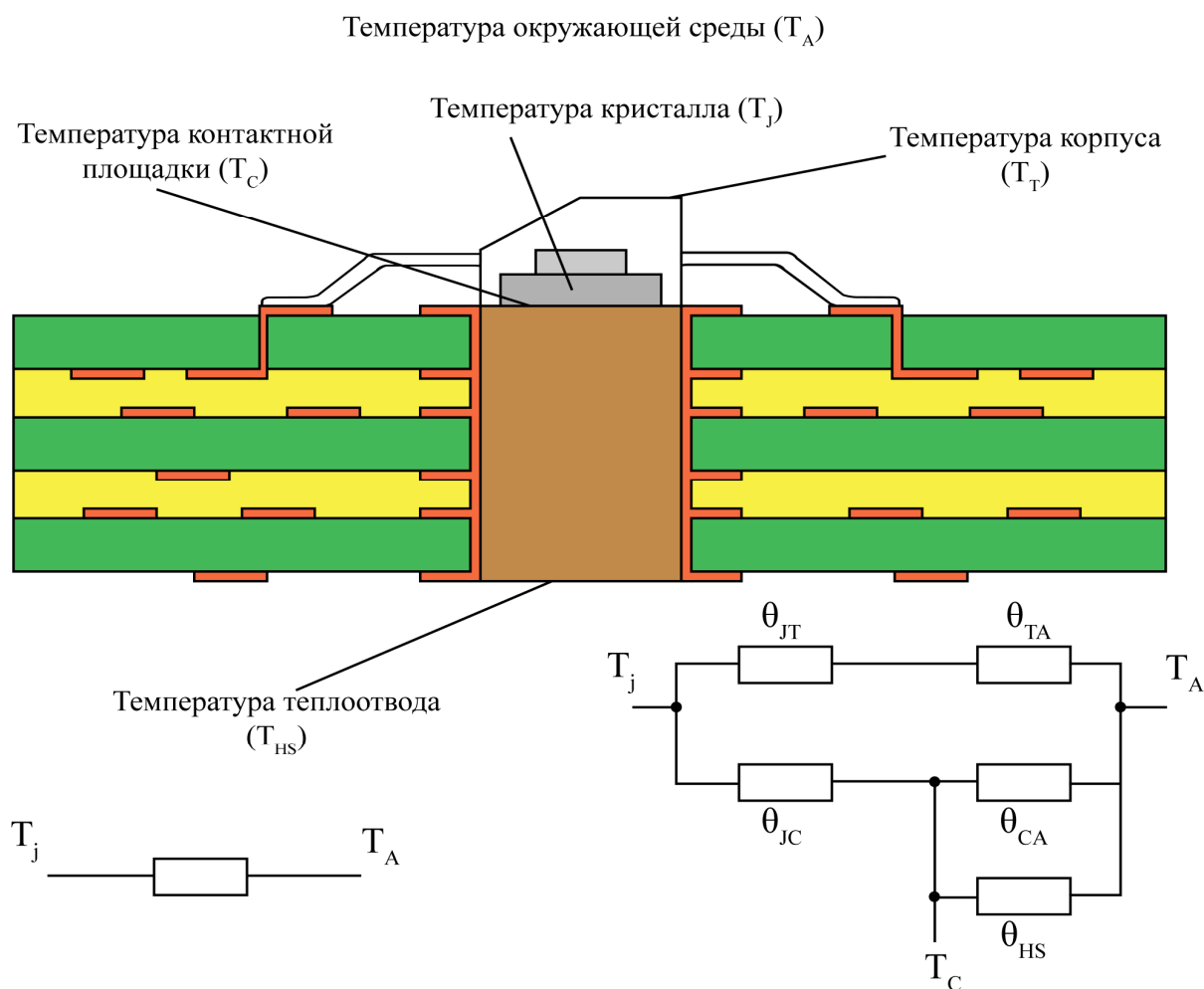


Рис. 5. Модель теплового сопротивления с теплоотводом в объёме МПП

Отвод тепла с монтируемого компонента также идёт через корпус (θ_{JT}) и к окружающей среде (θ_{TA}), и, в данном случае, через теплоотвод (θ_{HS}), к которому присоединяется кристалл (θ_{CA}). Данная модель лучше: контакт происходит только с теплоотводом, имеющим более низкое тепловое сопротивление, равное для меди $0,025 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (см. таблицу), что позволяет рассеивать тепло наиболее эффективно. Другими словами, конечное тепловое сопротивление будет ниже на $225 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Испытание

Для исследования теплового сопротивления печатных плат были изготовлены макеты: первый образец представляет собой двухстороннюю печатную плату (ДПП) с размерами 20×20 мм, толщина меди на каждой стороне – 35 мкм с припаянным медным теплоотводом с размерами 10×10 мм на одной поверхности, второй образец выполнен на ДПП с аналогичными размерами с припаянным медным теплоотводом с размерами 10×10 мм в отверстии.

В качестве источника тепла использован термостол Weller WHP 300, на поверхности которого установлены образцы. Температура плиты, измеренная термопарой, составила $84 \text{ } ^\circ\text{C}$, после чего проведены измерения по съёму тепла с поверхностей тестовых печатных плат. Данный метод позволяет быстро оценить способность образцов сопротивляться переносу тепла, иными словами, определить тепловое сопротивление.

В ходе лабораторных испытаний образцов, сделанных по обоим предложенным способам, были измерены температуры поверхностей места нагрева и теплоотвода.

Обнаружено, что при температуре 84 °С образец, выполненный по первой технологии, на обратной стороне имел температуру 74 °С. Второй образец при тех же условиях на обратной стороне имел уже 79 °С, что говорит о его эффективности, так как тепло, проходя через толщину материала, теряет на 5 °С меньше, чем в первом случае.

Заключение

Как видно из результатов анализа модели тепловых сопротивлений, способ запрессовки теплоотвода в объёме МПП является наиболее эффективным: теплосъём происходит только через теплоотвод в отличие от первого способа, где тепло проходит через весь объём МПП.

С конструкторской точки зрения такой метод сложнее, так как требует высокой точности размеров и позиционирования. К тому же медь обладает высоким коэффициентом термического линейного расширения (16,8 мкм/(м·°С)), что ограничивает диапазон рабочих температур использования МПП. Поэтому задача определения температурных границ эксплуатации является актуальной.

Литература

1. *Леонов А.* Рекомендации по проектированию печатных плат для интегральных модулей питания серии LMZ // Компоненты и технологии. Электрон. журн. 2010. №11. Режим доступа: http://kit-e.ru/articles/circuit/2010_11_161.php (дата обращения 15.03.2016).
2. *Кондратьев В.* Методы теплового расчёта микросхем и дискретных устройств силовой электроники. Часть 2 // Электронные компоненты. Электрон. журн. 2010. №1. Режим доступа: http://www.elcomdesign.ru/magazine/archive/magazine_32.html (дата обращения 15.03.2016).
3. *Винокуров А.* Расчёт печатных плат для светодиодов Cree серий XR и MX // Полупроводниковая светотехника. Электрон. журн. 2010. №3. Режим доступа: http://www.led-e.ru/articles/led-cooling/2010_3_16.php (дата обращения 15.03.2016).