

УДК 621.3.049.75

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПЛАТ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ

Алексей Андреевич Фадеев

Магистр 1 года

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель А.Т. Каменихин,

доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

При проектировании печатных плат зачастую встает вопрос организации теплоотвода. При отсутствии особых требований к массе и габаритам вопрос решается применением радиатора, как правило, с принудительным охлаждением. В условиях низкого давления (летательные аппараты), где охлаждение воздухом отсутствует и высоки требования по массе и размерам, или в электронных устройствах, где габариты ограничены (светодиоды, блоки питания) данное решение неприемлемо. Основное решение проблемы в данном случае является применение плат на металлическом основании.

Тепловой расчет важен 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].

Тепловое сопротивление по подобию с законом Ома представляется в виде параллельной комбинации всех тепловых сопротивлений, через которые отводится тепло в печатной плате (рис. 1).

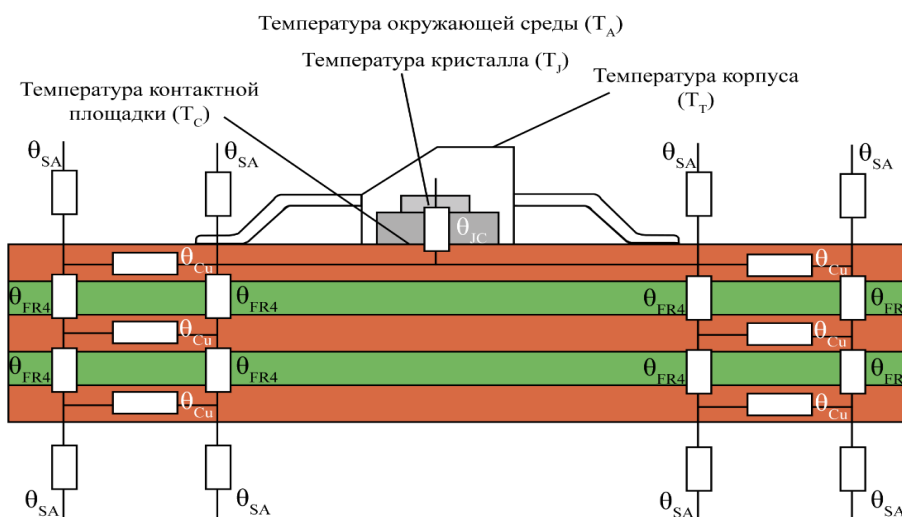


Рис. 1. Модель тепловых сопротивлений многослойной оценочной платы:

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

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

Θ_{FR4} – тепловое сопротивление материала платы;

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

Тепловое сопротивление склеивающего диэлектрика не учтено.

Для односторонней платы на металлическом основании модель будет иметь следующий вид (рис. 2).

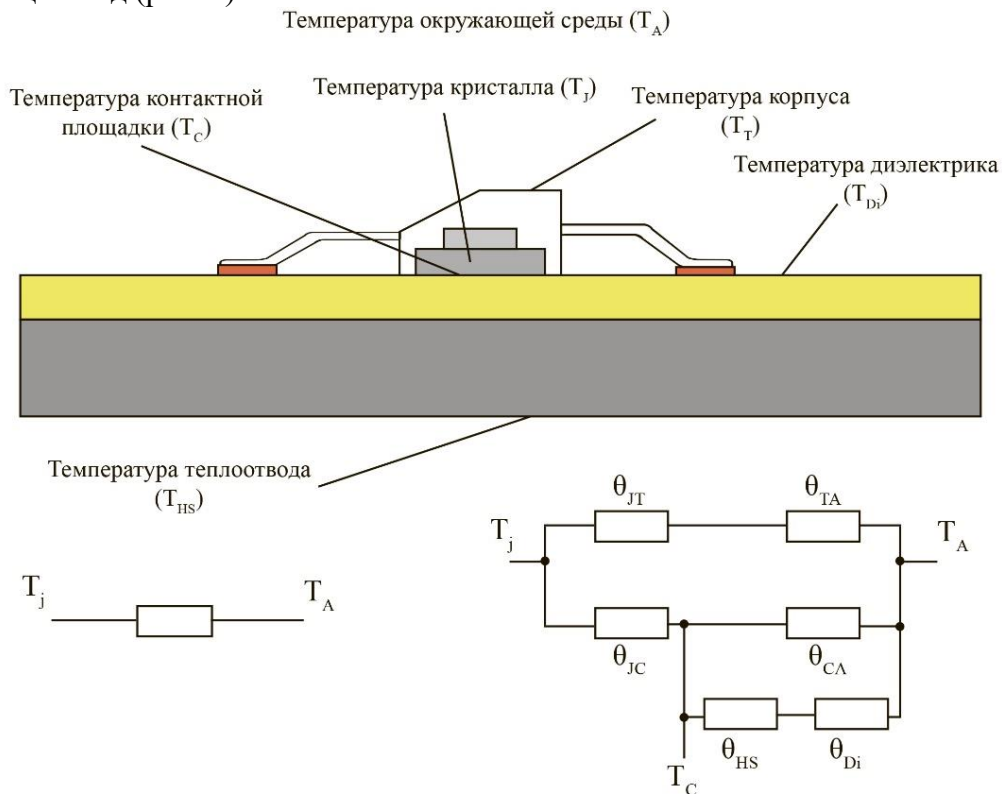


Рис. 2. Модель теплового сопротивления платы на металлическом основании

Как видно из схемы (рис. 2), 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_{CS}), диэлектрик (Θ_{Di}), а затем через теплоотвод (Θ_{HS}). Увеличение токопроводящих слоев приводит к возрастанию теплового сопротивления.

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} – теплое сопротивление печатной платы, °C;

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

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

P – тепловой поток через участок цепи, Вт.

Для эффективного отвода тепла основа платы должна обладать низким тепловым сопротивлением, определяемое как (2):

$$\Theta_{PCB} = d / (\lambda \cdot S), \tag{2}$$

где:

λ – удельная теплопроводность материала, Вт/(м·°C);

d – его толщина (длина теплопроводящего участка), мм;

S – площадь сечения теплопроводящего участка, м².

Характерные величины тепловых сопротивлений односторонней печатной платы на металлическом основании компании Bergquist [2] с габаритами 350×450 приведены в таблице 1, с учетом формулы (2).

Табл. 1 – Величины тепловых сопротивлений платы на металлическом основании

Название	Описание	Параметры	Величина, °C / Вт
Θ_{Cu}	Тепловое сопротивление медного слоя	Длина (a) = 0,35 м, ширина (b) = 0,45 м, толщина слоя меди (s) = $50 \cdot 10^{-6}$ м, теплопроводность меди (λ_{Cu}) = 400 Вт / (м · °C)	$7,94 \cdot 10^{-7}$
Θ_{Di}	Тепловое сопротивление слоя диэлектрика Bergquist НТ	Длина (a) = 0,35 м, ширина (b) = 0,45 м, толщина диэлектрика (s) = $0,1 \cdot 10^{-3}$ м, теплопроводность FR4 (λ_{Di}) = 2,2 Вт / (м · °C)	$2,89 \cdot 10^{-4}$
Θ_{HSAI}	Тепловое сопротивление теплоотвода из алюминия 5052	Длина (a) = 0,35 м, ширина (b) = 0,45 м, толщина алюминия (s) = $1,5 \cdot 10^{-3}$ м, теплопроводность алюминия (λ_{Al}) = 138 Вт / (м · °C)	$6,90 \cdot 10^{-5}$
Θ_{HSCu}	Тепловое сопротивление теплоотвода из меди М1	Длина (a) = 0,35 м, ширина (b) = 0,45 м, толщина меди (s) = $1,5 \cdot 10^{-3}$ м, теплопроводность меди (λ_{Cu}) = 387 Вт / (м · °C)	$2,46 \cdot 10^{-5}$

Как видно из таблицы 1, токопроводящий слой и металлический слой имеют сравнительно малое тепловое сопротивление, но, несмотря на это, их тепловое сопротивление также пропорционально возрастает при увеличении толщины. Основной вклад в тепловое сопротивление вносит диэлектрический слой (для материала Bergquist НТ $\Theta_{Di} = 2,89 \cdot 10^{-4}$ °C / Вт). График зависимости тепловых сопротивлений от толщины представлена ниже (рис. 3).

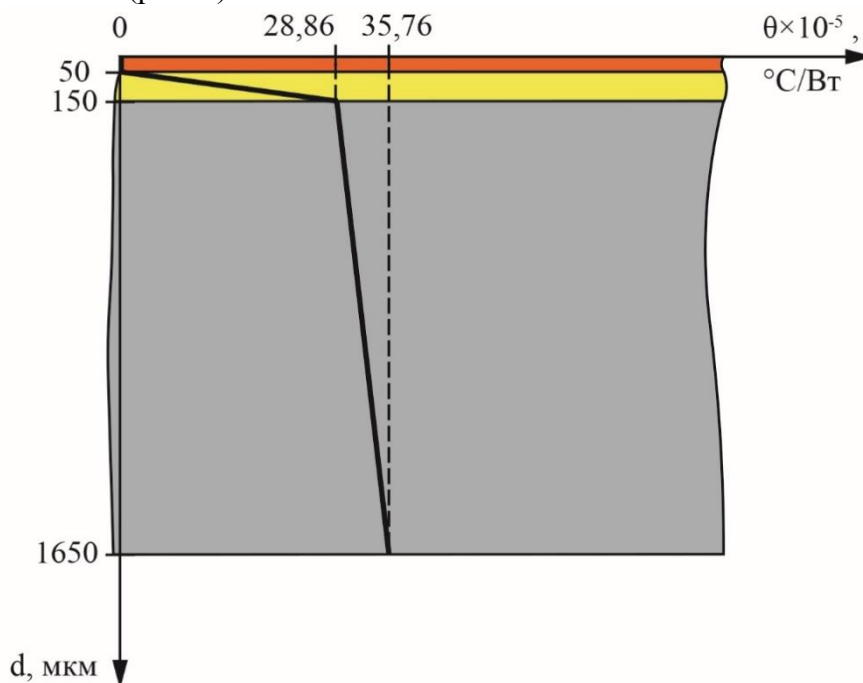


Рис. 3. График зависимости тепловых сопротивлений от толщины

Итоговое тепловое сопротивление платы, являющееся суммой всех тепловых сопротивлений слоёв, составляет $\Theta_{PCB} = 35,76 \cdot 10^{-5}$ °C / Вт, то есть: на один ватт тепла приходится потеря температуры величиной $35,76 \cdot 10^{-5}$ °C.

Перестроив условия, можно определить температуру на противоположной поверхности ($T_{\text{схемы}}$), приняв тепловой поток $P = 100$ Вт и температуру окружающей среды (на теплоотводе) $T_{\text{среды}} = 40$ °С. По формуле (1):

$$T_{\text{схемы}} = \Theta_{\text{РСВ}} \cdot P + T_{\text{среды}} = 35,76 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \cdot 5 + 40 \approx 40,04 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Важно отметить, что тепловой поток не равен численно мощности компонента, но показывает, какой тепловой напор проходит через поверхность при данном тепловом потоке. Другими словами, при поддержании такого количества тепла, передаваемого в единицу времени, будет такая разность температур поверхностей. В реальности температура схемы будет отличаться из-за неравномерности среды. Если устройство эксплуатируется не в низких давлениях, то учитывается ещё и наличие конвекции – теплового сопротивления на границе «металл – окружающая среда», которая вносит существенный вклад в итоговое сопротивление печатной платы.

Тем не менее, данный метод позволяет качественно оценить способность платы задерживать тепло и при необходимости определить приблизительную температуру на контактной площадке (рис. 2).

Для улучшения транспорта тепла желательно уменьшить толщину диэлектрика, но в данном случае может произойти местный перегрев с последующим браком. Также недостаточная толщина как диэлектрика, так и токопроводящего слоя может привести к возникновению паразитных емкостей и пробоем, что немаловажно при использовании металлического теплоотвода. Производители рекомендуют толщину диэлектрика 100 – 150 мкм при использовании медного слоя толщиной 35 – 50 мкм [3].

Толщина теплоотвода практически не влияет на тепловое сопротивление платы, поэтому подбирается исходя из требований по габаритам и жесткости платы. В основном толщина составляет 1 – 1,5 мм [3].

Еще одним способом уменьшения теплового сопротивления является выбор материалов с более высокой теплопроводностью, что несомненно отражается на стоимости. Другой метод заключается в использовании специальных теплоотводящих отверстий, расположенными под компонентами, и применяется при производстве многослойных печатных платах, где можно применить металлизацию отверстий. В данном примере односторонняя плата представляет собой готовый для фотолитографии продукт, где сверление отверстий приведет к повреждению изоляции теплоотвода.

Заключение

Тепловое моделирование плат позволяет избежать проблем, связанных с перегревом, при изготовлении устройств. Для быстрой оценки резисторная модель тепловых сопротивлений позволяет подобрать толщины слоев платы и выявить допустимую мощность, подаваемую компонентами. Зная критические температуры материалов, можно также определить ориентировочный температурный диапазон эксплуатации устройства. Данный способ не является точным и не учитывает все нюансы передачи тепла, но позволяет качественно оценить теплоотвод, не прибегая к помощи средств автоматизированного проектирования.

Литература

1. Леонов А. Рекомендации по проектированию печатных плат для интегральных модулей питания серии LMZ // Журнал Компоненты и технологии – 2010. – [Электронный ресурс]. URL: http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2010_11_161.pdf.
2. Информационные материалы фирмы Bergquist. [Электронный ресурс]. URL: www.bergquistcompany.com.
3. Максимов А. Печатные платы с металлическим основанием: свойства и технологии. [Электронный ресурс] // Печатный монтаж. Электрон. журн. 2009. N 6. URL: http://www.circuitry.ru/files/article_pdf/2/article_2240_121.pdf.