

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕЖДУ ПЕРЕХОДОМ СВЧ МИС НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

А.Лезинов¹

УДК 621.38
 ВАК 05.27.00

Температура оказывает непосредственное влияние на производительность и надежность полупроводниковых приборов. Устройства, которые работают при высоких температурах переходов в течение долгого времени, менее надежны и быстрее выходят из строя. С точки зрения отказов, обусловленных нагревом, срок службы СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) непосредственно связан с температурой "горячих пятен" (hot spot) полупроводникового кристалла в компоненте, установленном на печатную плату (ПП). Поэтому для разработчиков крайне важно понимать тепловые свойства ПП для данной СВЧ МИС, чтобы минимизировать тепловое сопротивление конструкции и перегрев кристалла. Рассмотрим простой метод расчета теплового сопротивления между переходом СВЧ МИС, расположенной на ПП, и окружающей средой.

Метод расчета проиллюстрируем на примере СВЧ МИС усилителя РНА-1+ компании Mini-Circuits. Перегрев ПП относительно корпуса устройства будет рассчитан на основе теплового сопротивления топологии ПП и измерен посредством термографии. Результаты вычислений и измерений затем будут сопоставлены для проверки точности расчетного метода.

Корпусированная СВЧ МИС представляет собой полупроводниковый кристалл, установленный на выводную рамку (рис.1). Кристалл прикреплен к выводной рамке проводящей эпоксидной смолой, электрические соединения между кристаллом и выводной рамкой выполнены проволочной разваркой. Кристалл покрыт заливающим компаундом для защиты от воздействий окружающей среды и загрязнения.

Тепловое сопротивление – это отношение разницы температур (перегрева) к рассеиваемой мощности. Оно имеет размерность °С/Вт. Тепловое сопротивление

между "горячим пятном" кристалла и окружающей средой представляет собой ряд последовательных сопротивлений:

- между "горячим пятном" и нижней стороной кристалла (θ_{die});
- проводящей эпоксидной смолы (θ_{ce});
- выводной рамки (θ_{fr});
- припоя на ПП (θ_{sp});
- между верхней и нижней поверхностью ПП (θ_{pcb});
- между ПП и окружающей средой (θ_{pcb-a}).

Сумма первых трех составляющих обычно называется тепловым сопротивлением между переходом и корпусом компонента:

$$\theta_{jc} = \theta_{die} + \theta_{ce} + \theta_{fr}. \quad (1)$$

Эта величина обычно указывается производителями компонентов. Для РНА-1+ она равна 60 °С/Вт. Вклад припоя на ПП (θ_{sp}) мал и в этой статье не учитывается. Остается определить тепловое сопротивление ПП, которое зависит от ее конструкции.

¹ АО "ЮЕ-Интернейшнл", руководитель группы ВЧ-продукции, alexey.lezinov@yeint.ru.

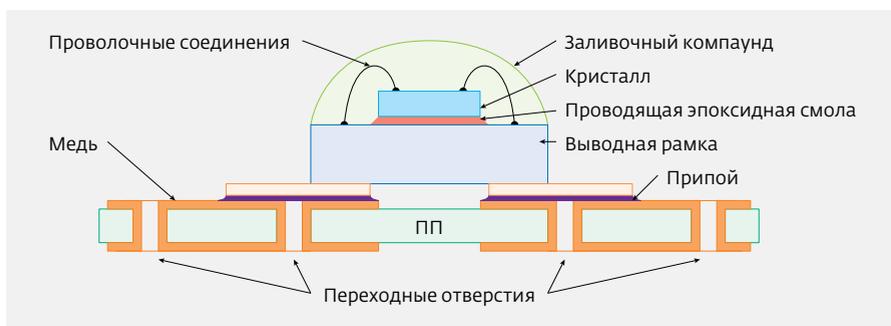


Рис.1. Поперечное сечение СВЧ МИС

Усилитель PNA-1+ работает от источника питания +5 В и выполнен в стандартном корпусе SOT-89. Рекомендуемая топология платы для этого компонента представлена на рис.2. Топология должна отвечать требованиям как к электрическим, так и к тепловым характеристикам. Важную роль в обеспечении теплоотвода играют металлизированные переходные отверстия в ПП. Рекомендуемая для PNA-1+ топология платы содержит семь отверстий под усилителем и вокруг него.

Тепловое сопротивление (θ) одного переходного отверстия может быть вычислено с использованием уравнения:

$$\theta = \frac{l}{kA}, \quad (2)$$

где l – длина отверстия, м; A – площадь его поперечного сечения, м²; k – теплопроводность, Вт/м·К (для меди $k = 385$ Вт/м·К).

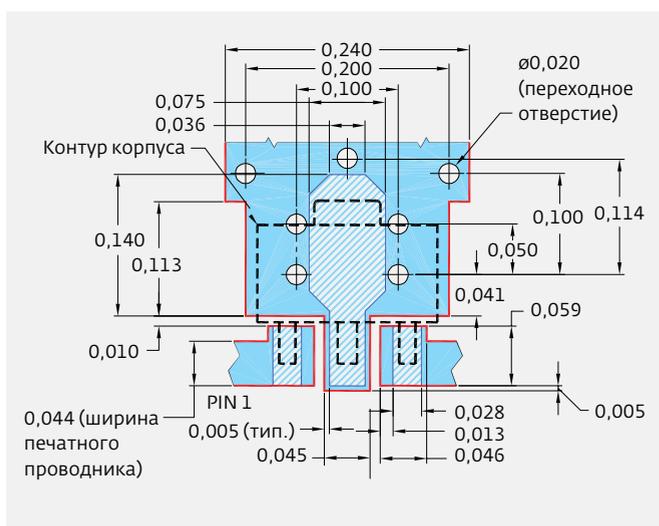


Рис.2. Рекомендуемая топология ПП для усилителя PNA-1+ компании Mini-Circuits (размеры указаны в дюймах)

Для незаполненного отверстия:

$$A = \frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4}, \quad (3)$$

где d_o и d_i – внешний и внутренний диаметры отверстия соответственно, м (разность d_o и d_i – толщина медной металлизации).

Подставляя (3) в (2), получаем:

$$\theta = \frac{4l}{k\pi(d_o^2 - d_i^2)}. \quad (4)$$

Как видно из (4), тепловое сопротивление снижается, если:

- уменьшается длина отверстия (толщина ПП);
- увеличивается диаметр отверстия d_o ;
- увеличивается толщина слоя меди ($d_o - d_i$).

В случае с PNA-1+ каждое из семи переходных отверстий в рассматриваемой конструкции ПП имеет внешний диаметр $d_o = 0,02$ " и толщину слоя меди $0,0014$ ", что дает внутренний диаметр $0,0172$ ". Толщина ПП составляет $0,020$ ". С учетом толщины слоев меди на верхней и нижней поверхностях ПП $0,0014$ " длина сквозного отверстия равна $0,0228$ ".

Подставив эти значения в уравнение (4), получим, что незаполненное переходное отверстие диаметром 20 мил обладает тепловым сопротивлением 29 °С/Вт. Общее сопротивление всех отверстий вычислим исходя из предположения, что их тепловые сопротивления соединены параллельно. Это дает значение $4,1$ °С/Вт. Такой подход не учитывает пространственного распределения отверстий, но служит хорошим приближением первого порядка.

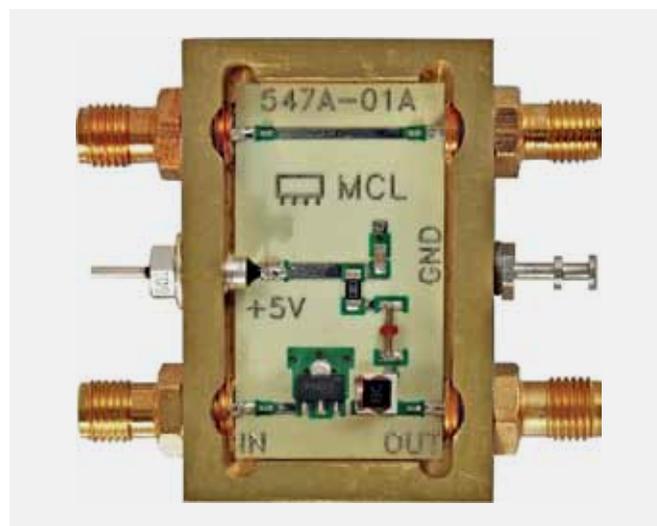


Рис.3. Тестовая сборка ТВ-545-1+ для усилителя PNA-1+

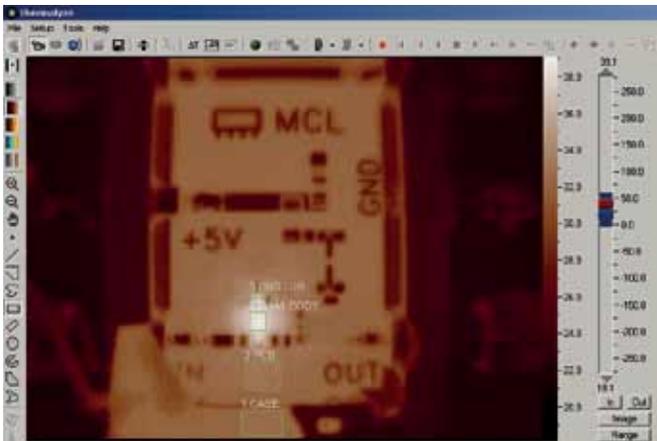


Рис.4. Термограмма РНА-1+, используемая для измерения температур

Поскольку тепловое сопротивление является отношением разности температур к рассеиваемой мощности, его значение позволяет оценить перегрев:

$$\Delta T = \theta_{PCB} P_d \tag{5}$$

Здесь P_d – рассеиваемая мощность, определяемая как произведение тока и напряжения для данного компонента. Для усилителя РНА-1+ напряжение составляет +5 В, ток равен 0,165 А, поэтому рассеиваемая мощность равна 0,825 Вт. Следовательно, перегрев составит:

$$\Delta T = 4,1 \text{ }^\circ\text{C/Вт} \cdot 0,825 \text{ Вт} = 3,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Для проверки точности проведенных вычислений использовалась тестовая СВЧ-сборка ТВ-545-1+ для РНА-1+ (рис.3). К ней было приложено напряжение +5 В, измеренное значение тока составило 0,165 А. После стабилизации температуры была получена термограмма для определения температуры корпуса СВЧ-сборки, ПП, широкого вывода заземления и корпуса РНА-1+ (рис.4). Результаты расчетов и измерений представлены в таблице.

Измеренная температура (средняя) корпуса ТВ-545-1+ составила 32,7 °С (предполагается, что она такая же,

Расчетные и экспериментальные данные по перегреву

Расчет, °С	Измерения, °С			Расхождение
	корпус сборки	вывод заземления	перегрев	
$\theta_{PCB} \cdot P_d$				
3,4	32,7	36,1	3,4	0,0

как у нижней поверхности ПП), а вывода заземления – 36,1 °С (с учетом пренебрежения тепловым сопротивлением припоя предполагается, что она равна температуре верхней поверхности ПП). Следовательно, разница температур между корпусом сборки и выводом заземления будет равна 3,4 °С, что совпадает с расчетным значением. Таким образом, метод расчета теплового сопротивления, представленный в данной статье, позволяет разработчикам оценить перегрев без использования сложного программного обеспечения для теплового анализа. Это полезный инструмент для того, чтобы минимизировать тепловое сопротивление при разработке ПП.

Приведенные выше расчеты позволяют достаточно точно оценить тепловое сопротивление ПП. Но часто нужно также знать величину теплового сопротивления между переходом и окружающей средой. В случае с РНА-1+ при температуре окружающей среды 24 °С и измеренной температуре корпуса устройства 32,7 °С разность температур составляет $\Delta T_{PCB-A} = 8,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Следовательно, тепловое сопротивление между корпусом сборки (или нижней поверхностью ПП) и окружающей средой равно:

$$\theta_{PCB-A} = \frac{\Delta T_{PCB-A}}{P_d} = 8,7 \text{ }^\circ\text{C} / (5 \text{ В} \cdot 0,165 \text{ А}) = 10,5 \text{ }^\circ\text{C/Вт}.$$

Тогда полное тепловое сопротивление между переходом и окружающей средой будет иметь значение:

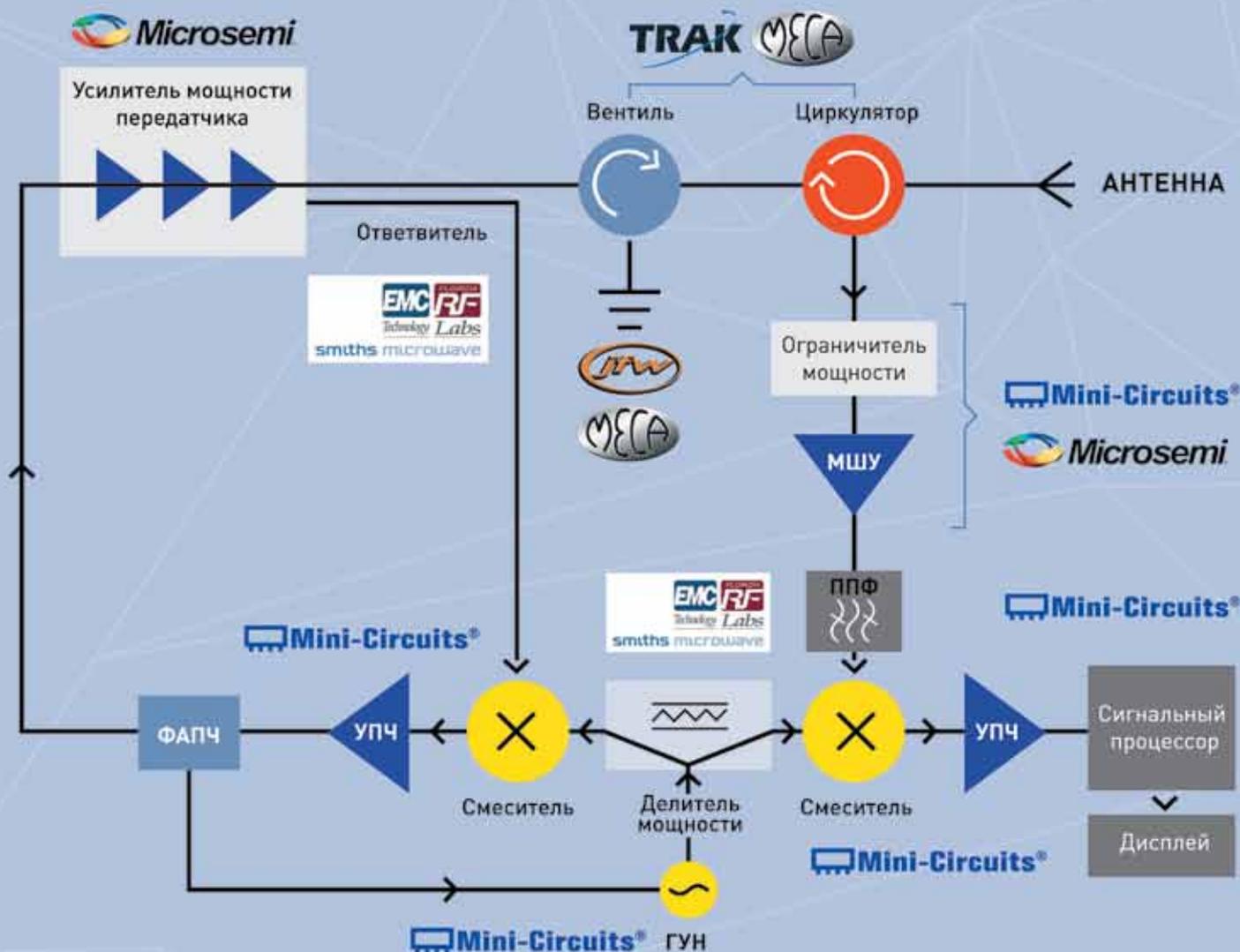
$$\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{PCB} + \theta_{PCB-A} = 60 \text{ }^\circ\text{C/Вт} + 4,1 \text{ }^\circ\text{C/Вт} + 10,5 \text{ }^\circ\text{C/Вт} = 74,6 \text{ }^\circ\text{C/Вт}.$$

На основе этого результата можно рассчитать температуру перехода:

$$T_j = \theta_{JA} P_d + T_A = 74,6 \text{ }^\circ\text{C/Вт} \cdot 0,825 \text{ Вт} + 24 \text{ }^\circ\text{C} = 86,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Таким образом, метод, изложенный в статье, можно использовать для вычисления теплового сопротивления ПП и температуры перехода при разработке ПП. В целом, тепловое сопротивление отверстий можно минимизировать, увеличив их число, внешний диаметр и/или толщину слоя меди. Его можно также уменьшить за счет сокращения длины отверстия (толщины ПП).

Материалы предоставлены компанией "ЮЕ-Интернейшнл", официальным дистрибьютором продукции Mini-Circuits в России. По вопросам, связанным с продукцией, обращаться yesupport@yeint.ru/www.yeint.ru. ●



Mini-Circuits®

Mini-Circuits – компоненты для аналоговой обработки сигнала (усилители, фильтры, генераторы, смесители).



Florida RF Labs/EMC Technology – мощные пассивные элементы (согласованные нагрузки, делители, ответвители).



JFW – согласованные нагрузки с коаксиальными разъемами.



Microsemi – мощные СВЧ транзисторы для усилителей радиолокаторов, ограничители, маломощные усилители.



MECA Electronics – вентили/циркуляторы, согласованные нагрузки с коаксиальными разъемами.



TRAK Microwave – вентили/циркуляторы.

Санкт-Петербург (812) 313-34-40
Москва (495) 150-52-21

Екатеринбург (343) 365-90-40
Новосибирск (383) 227-62-63

Самара (846) 264-80-47
Нижний Новгород (831) 220-59-64

www.yeint.ru

yesupport@yeint.ru