

# Обеспечение теплового режима высокопроизводительных электронных модулей

**В высокопроизводительных электронных модулях с экранами от внешних электромагнитных полей возникает проблема отвода тепла от теплонагруженных микросхем. Предложен вариант отвода тепла с помощью контактных муфт и теплоотводящих пластин. Моделированием получены численные значения температур основных теплонагруженных элементов и тепловые поля в электронных модулях.**

**Владимир Ланин**

vlanin@bsuir.by

**Валерий Парковский**

valera-minsk@yandex.ru

При проектировании высокопроизводительных электронных модулей, способных обрабатывать от 1 до 10 Гбит данных и передавать их по высокоскоростным интерфейсам, инженеры часто сталкиваются с проблемами теплоотвода. Уменьшение габаритных размеров электронных компонентов и связанное с этим повышение плотности монтажа приводит к увеличению плотности тепловых потоков, росту средней температуры электронного модуля и внутренних механических напряжений в нем. Локальный перегрев электронных компонентов чаще всего вызывает отказ всей электронной системы [1]. Нередко задача обеспечения теплового режима решается установкой радиатора и принудительной кон-

**Введение**

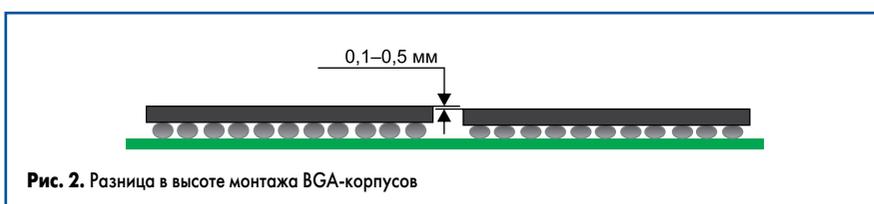
векцией. Однако не для всех электронных модулей подходит стандартное решение, иногда для отвода тепла приходится применять иные способы. Как правило, это касается сложных электронных модулей с высокой степенью интеграции или конструкций из электронных модулей, выполненных по стандарту РС-104 или 19-дюймовому стандарту.

Конструкция электронного модуля показана на рис. 1. Материнская плата электронного модуля выполнена по 19-дюймовому стандарту, сам модуль состоит из двух плат. Основная сложность обеспечения теплоотвода заключается в том, что модуль закрыт в экране, который защищает его от внешних электромагнитных помех и перекрестных помех, возникающих в модуле. Очень часто, когда модуль необходимо экранировать, тепловыделяющие элементы устанавливаются на экран, который в свою очередь служит теплоотводом. В данном случае отвод тепла от всех теплонагруженных микросхем представляет значительную трудность, поскольку микросхемы смонтированы на печатную плату и каждая из них имеет разную высоту. Соответственно, процесс механической обработки экрана для обеспечения теплоотвода потребует высокой точности и значительно увеличит стоимость изделия.

Но даже обеспечение необходимой плоскостности, шероховатости и параллельности теплоотводящих поверхностей экрана не дает гарантии, что они будут плотно соприкасаться с поверхностью микросхем, поскольку в процессе пайки высота монтажа микросхем меняется в пределах 0,1–0,5 мм в связи с дозировкой паяльной пасты и растеканием припоя (ширина контактной площадки). Это особенно очевидно для микросхем, упакованных в корпусе BGA. В данном случае на высоту монтажа будет влиять и степень оплавления шариков припоя (рис. 2).



**Рис. 1.** Электронный модуль с теплоотводами: 1 — экраны электронного модуля; 2 — теплоотводящие муфты; 3 — теплоотводящие пластины; 4 — печатная плата



**Рис. 2.** Разница в высоте монтажа BGA-корпусов

## Теплоотвод с помощью контактных муфт и теплоотводящих пластин

Предложен вариант теплоотвода от электронного модуля с выделяемой тепловой мощностью 25 Вт с помощью медных пластин и теплоотводящих контактных муфт, покрытых никелем (НЗ). Для решения данной проблемы на микросхемы установили теплопроводящие муфты, которые, соединяясь с теплоотво-

дьящими пластинами, рассеивали тепло на экран электронного модуля (рис. 3). Теплопроводящие муфты устанавливаются на поверхность микросхемы через окно в экране, плотность прилегания контакта к поверхности микросхемы обеспечивается за счет полированной контактной поверхности теплопроводящей муфты и винтов, создающих необходимое усилие прижатия. Для исключения воздушных зазоров применяется теплопроводящая паста. Теплопроводящая муфта обеспечивает передачу тепла на теплоотводящую пластину.

Тепловое сопротивление на границе контактов зависит от шероховатости поверхности, количества контактных пятен и давления сжатия поверхностей. Эквивалентное тепловое сопротивление данной контактной цепочки можно записать следующим образом [2]:

$$R_{equiv} = R_{j-c} + R_{c-sleeve} + R_{sleeve} + R_{sleeve-plate} + R_{plate} + R_{plate-screen} \quad (1)$$

где  $R_{j-c}$  — тепловое сопротивление «кристалл – корпус микросхемы»;  $R_{c-sleeve}$  — тепловое сопротивление «корпус микросхемы – теплопроводящая муфта»;  $R_{sleeve}$  — тепловое сопротивление теплопроводящей муфты;  $R_{sleeve-plate}$  — тепловое сопротивление «теплопроводящая муфта – пластина»;  $R_{plate}$  — тепловое сопротивление теплоотводящей пластины;  $R_{plate-screen}$  — тепловое сопротивление «теплоотводящая пластина – экран платы».

Тепловое сопротивление элемента цепи рассчитывается как [3]:

$$R_t = L/S \times k, \quad (2)$$

где  $L$  — длина пути протекания теплового потока;  $S$  — площадь поперечного сечения тела, через которое происходит теплопередача;  $k$  — коэффициент теплопроводности материала тела.

Тепловое сопротивление на границе раздела теплового контакта определяется как:

$$R_{t\text{cont}} = 1/h_c \times S, \quad (3)$$

где  $h_c$  — коэффициент теплопередачи;  $S$  — площадь поверхности, через которую происходит теплопередача.

Коэффициент теплопередачи между двумя поверхностями зависит от ряда факторов: материала поверхностей, чистоты обработки сопрягаемых плоскостей, давления, оказываемого на сопрягаемые поверхности, разности температур между поверхностями. Для обеспечения хорошего теплового контакта применялась теплопроводящая паста КПТД-3/3 плотностью 2 г/см<sup>3</sup> и теплопроводностью 1,2 Вт/(м·К). Данные характеристики пасты позволяют добиться минимального температурного сопротивления на границе раздела контактной поверхности между теплопроводящим контактом и поверхностью микросхемы. Количество отводимого тепла можно рассчитать как [4]:

$$Q = \Delta T/R_{equiv} \quad (4)$$

Зная отводимую мощность, по выражению (4) можно рассчитать перегрев. Мощность,

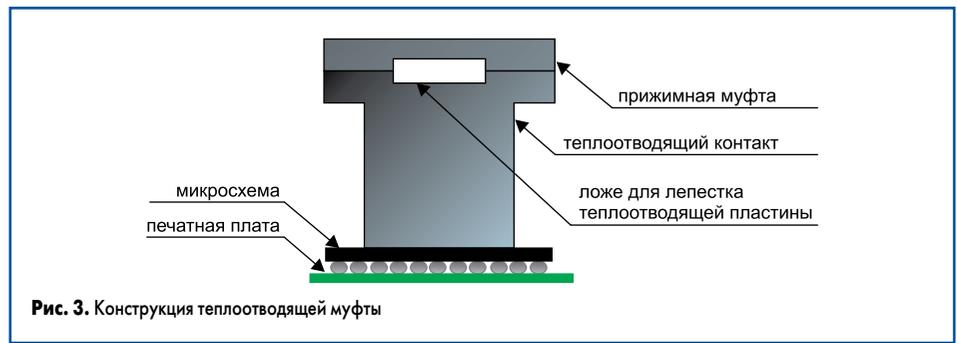


Рис. 3. Конструкция теплопроводящей муфты

рассеиваемая теплоотводящим экраном при естественной конвекции, рассчитывается как [5]:

$$P = \alpha_{\text{конв.}} \times S_{\text{экр.}} \times \Delta t, \quad (5)$$

где  $\alpha_{\text{конв.}}$  — коэффициент конвективного теплообмена;  $S_{\text{экр.}}$  — площадь поверхности теплоотводящего экрана;  $\Delta t$  — разность температур экрана и окружающей среды.

### Моделирование тепловых полей в электронных модулях

В программном комплексе FlothermXT 2.0 тепловой режим моделируется методом конечных элементов в предположении, что тепловой контакт между поверхностями идеален. Моделированием в среде FlothermXT 2.0 получено распределение температуры по поверхности экрана электронного модуля (рис. 4). В процессе моделирования сходимость параметров отслеживалась по изменению температуры основных теплонагруженных элементов (рис. 5). Более наглядно распределение температуры элементов представлено на рис. 6.

Для повышения точности результатов моделирования в модель введены дополнительные граничные условия в виде тепловых контактных сопротивлений:  $R_{j-c}$ ,  $R_{c-sleeve}$ ,  $R_{sleeve-plate}$ ,  $R_{plate-screen}$ . Поскольку контактные зазоры сопрягаемых элементов конструкции теплоотвода заполнены теплопроводящей пастой КПТД-3/3, то значения тепловых сопротивлений можно рассчитать по справочным данным пасты.

Значение сопротивления  $R_{j-c}$  можно найти в документации на микросхему. По данным производителя, минимальное тепловое сопротивление контакта обеспечивается при давлении сжатия контактной пары 1,7 МПа [5]. Для этого рассчитаем осевую нагрузку, создаваемую винтами, которые обеспечивают сжатие контакта. Зная допустимый момент силы затягивания винта М3, осевую нагрузку можно рассчитать по упрощенной формуле [6]:

$$F = M/(0,5 \times d \times (p/3,14 \times d) + f_p), \quad (6)$$

где  $M$  — момент затяжки;  $f_p$  — коэффициент трения;  $d$  — средний диаметр резьбы;  $p$  — шаг резьбы.

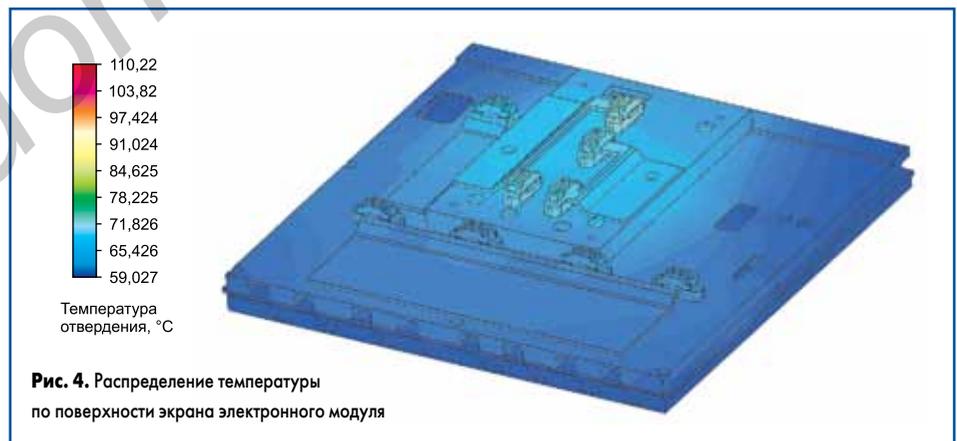


Рис. 4. Распределение температуры по поверхности экрана электронного модуля

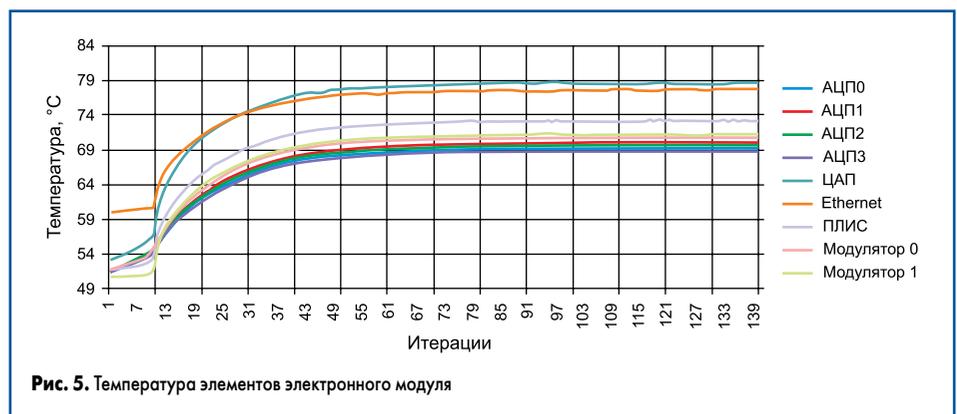


Рис. 5. Температура элементов электронного модуля


**Рис. 6.** Распределение температуры элементов на печатных платах электронного модуля

**Рис. 7.** Распределение температуры элементов теплоотвода электронного модуля

Зная осевую нагрузку, можно определить механическое напряжение, возникающее в точке соединения поверхностей теплопроводящего контакта и микросхемы, и тем самым подобрать оптимальный момент затягивания винта.

На рис. 7 изображена модель электронного модуля в разрезе с распределением температуры в элементах теплоотвода. В результате моделирования получены численные значения температур основных теплонагруженных элементов электронного модуля при температуре окружающей среды 50 °С (таблица).

Максимальная температура наблюдается у микросхемы, распределяющей СВЧ тактирующие сигналы по плате, ее температура составила +110 °С, что ниже ее максимально допустимой рабочей температуры на 10 °С. Температура остальных элементов не превышает +80 °С.

### Заключение

Предложенная система теплоотвода с помощью медных пластин и теплоотводящих контактных муфт способна в заданном температурном диапазоне обеспечить безотказную ра-

**Таблица.** Тепловые характеристики теплонагруженных элементов

Микросхема	Температура перегрева, °С	Максимальная температура микросхемы, °С	Допустимая максимальная рабочая температура, °С	Тепловое сопротивление кристалл-теплоотвод, °С/Вт
АЦПО	19,28	69,28	125	6,1
АЦП1	19,92	69,92	125	6,1
АЦП2	19,57	69,57	125	6,1
АЦП3	18,86	68,86	125	6,1
ЦАП	28,6	78,6	125	1,2
Ethernet	27,68	77,68	120	10
ПЛИС	23,2	73,2	120	0,4
Модулятор 0	20,78	70,78	150	0,44
Модулятор 1	21,2	71,2	150	0,44
СВЧ-буфер	60,22	110,22	120	70

боту высокопроизводительных электронных модулей, защищенных от внешних и внутренних электромагнитных полей экранами.

### Литература

1. Вяхирев В. Измерение тепловых характеристик полупроводниковых электронных компонентов // Технологии в электронной промышленности. 2013. № 3.
2. Попов В. Н. Тепловое сопротивление в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. Под ред. Ю. М. Бабикина. М.: Энергия, 1971.
3. Lienhard IV J. H., Lienhard V J. H. A heat transfer textbook: Cambridge, MA: Phlogiston Press, 2008.
4. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа, 1984.
5. Сайт компании «Номакон». [www.nomacon.ru](http://www.nomacon.ru)
6. Биргер И. А., Иосилевич Г. Б. Резьбовые и фланцевые соединения. Под. общ. ред. Г. С. Маслова. М.: Машиностроение, 1990.