

К. т. н. Ю. Г. ВОЛОДИН, к. т. н. В. И. ЕГОРОВ,
к. т. н. В. А. ЛАЙНЕ, А. В. ГОЛОВ

Дата поступления в редакцию
22.07 1998 г.

Оппонент к. т. н. Д. П. ВОЛКОВ

Россия, г. Санкт-Петербург, Гос. ун-т телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЯЧЕЕК РЭС С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ ОХЛАЖДЕНИЯ

Даны рекомендации по выбору моделей анализа тепловых режимов и выбору систем охлаждения функциональных ячеек радиоэлектронных средств.

The recommendation for choosing of models of heat conditions analysis and choosing of cooling systems of radioelectronic aids functional cells.

Проблема обеспечения нормального теплового режима функциональных ячеек (ФЯ) радиоэлектронных средств при высоких тепловых нагрузках может быть решена путем обоснованного выбора средств охлаждения — систем обеспечения нормального теплового режима (СОТР) — на основе результатов физико-математического моделирования и сравнительного анализа тепловых режимов конструкций ФЯ. Существуют и применяются несколько типов моделей теплообмена конструкций ФЯ, использующих различные допущения, и, очевидно, правильный выбор той или иной СОТР в большой степени зависит от адекватности и точности моделирования.

Рассмотрим следующие возможные варианты СОТР на примере печатного узла с односторонним расположением компонентов — микросхем в DIP-корпусах.

Варианты 1а, 1б. Медная пластина толщиной 1 мм (вариант 1а) или 2 мм (вариант 1б) занимает всю сторону платы, противоположную плоскости монтажа компонентов, и имеет с ней хороший тепловой контакт.

Вариант 2. Ребристый радиатор из алюминиевого профиля укреплен с обратной стороны платы и занимает всю ее поверхность.

Вариант 3. Принудительная конвекция (обдув ФЯ), коэффициент конвективной теплоотдачи 20 Вт/(м²·К).

Вариант 4. Плата на металлической (алюминевой) основе.

Варианты 5а, 5б. Медные пластины (тепловые шины) толщиной 1 мм (вариант 5а) или 2 мм (вариант 5б) под всеми рядами микросхем на плате осуществляют теплоотвод на наружный радиатор.

Варианты 6а, 6б. То же, что и варианты 5а, 5б, но медный теплоотвод занимает всю поверхность платы, кроме „окон“ — отверстий под выводы микросхем.

Вариант 7. Плата на алюминиевой основе, имеет хороший тепловой контакт с наружным радиатором.

Для анализа стационарного теплообмена конструкций ФЯ применим следующие модели.

Модель 1 — наиболее точная и объектно-независимая — трехмерная сеточная модель, использующая численный конечно-разностный метод решения задачи теплопроводности [1,2].

Модель 2 — ФЯ моделируется в виде квазиоднородной пластины с внутренними источниками тепла — монтируемыми компонентами; дифференциальное уравнение теплопроводности решено с помощью аналитического метода — обобщенного метода Канторовича [3].

Модель 3 — рассматривается теплообмен дискретных тел (тепловыделяющих компонентов) на основании (плате) — квазиоднородном параллелепипеде с анизотропной теплопроводностью [2].

Модель 4 — то же, что и модель 3, но основание — металлический теплоотвод, а теплопередача по плате учитывается в тепловом сопротивлении контакта “тепловыделяющий компонент — основание”.

Расчеты проводились для следующей ФЯ: плата размерами 170×110×1,5 мм, на ней размещены 20 микросхем с различной мощностью рассеяния (от 0,1 до 1,0 Вт), общая мощность 11 Вт; температура наружной среды (t_{nc}) — 40°C, поверхностей соседних плат — 60°C, стенок корпуса РЭС — 55°C.

Рассмотрено 100 случаев размещения микросхем на плате (по распределению мощностей тепловыделений). Погрешность оценивалась по следующей формуле:

$$b = (t - t_r) / (t_r - t_{nc}) \cdot 100\%,$$

где t — результат расчета по приближенным моделям;
 t_r — результат расчета по наиболее точной модели 1;
 t_{nc} — температура наружной среды.

В таблице приведены точечные оценки средних методических погрешностей моделей; при доверительной вероятности 0,95 величина доверительного интервала не превышает 0,3%.

Объемная сеточная модель позволяет наиболее точно рассчитывать теплообмен в сложных конструкциях ФЯ с различными СОТР, однако программная реализация ее достаточно трудоемка, требует значительных машин-

*Результаты расчетов тепловых режимов ФЯ
и относительных показателей эффективности СОТР*

Ва-риант СОТР	Погрешность моделей, %			Показатели эффективности СОТР		
	Мо-дель 2	Мо-дель 3	Мо-дель 4	K_1	K_2	K_3
Без СОТР	+15,2	+1,4	–	1	1	1
1а	–	–20,3	+11,3	1,20	2,08	1,17
1б	–	–22,5	+7,8	1,22	2,13	1,21
2	–	–35,2	–1,8	1,34	2,13	1,30
3	+15,6	+2,1	–	1,37	1,56	1,30
4	+5,3	+1,3	–	1,48	5,30	1,40
5а	–	–16,2	–	1,60	1,55	1,52
5б	–	–7,7	–	1,92	2,00	1,70
6а	–	–13,2	–	1,92	2,70	1,70
6б	–	–2,7	–	2,30	3,40	1,90
7	+9,1	–2	–	2,20	3,40	1,80

ных ресурсов, ввода большого объема исходной информации. К тому же излишняя детализация, точность моделирования могут быть неоправданными вследствие значительной (до 5–8%) параметрической погрешности, вызванной объективной неточностью задания исходных данных. Поэтому рассматриваемые в статье приближенные модели сохраняют свою актуальность: машинный анализ тепловых режимов в этом случае более прост, многовариантные расчеты требуют времени в десятки раз меньшего, чем время одновариантного расчета температур по сеточной модели. Однако, разумеется, при выборе моделей необходимо принимать во внимание равномерность размещения теплостоков в плоскости основания ФЯ, способ их крепления. Расчеты показали, что для приближенных моделей модуль методической погрешности имеет тенденцию к увеличению при уменьшении произведения $k \cdot h$ (k – коэффициент теплопроводности теплостока, h – эквивалентная толщина теплостока в пересчете на всю плоскость платы).

Предварительный выбор способа охлаждения ФЯ приходится осуществлять уже на ранних этапах проектирования аппаратуры, при ограниченных проектных данных. В этом случае удобно использовать относительные характеристики эффективности сис-

тем охлаждения, например, показатели относительного понижения среднего уровня температур компонентов (K_1), относительного понижения неравномерности температурного поля ФЯ (K_2), интенсивности внезапных отказов ФЯ (K_3):

$$K_1 = (t - t_{nc}) / (t_o - t_{nc});$$

$$K_2 = (t_{max} - t_{min}) / (t_{omax} - t_{omin});$$

$$K_3 = J / J_o,$$

где t_{max} , t_{min} , t , J – максимальная, минимальная, средняя температура корпусов микросхем и интенсивность отказов ФЯ в случае отсутствия систем охлаждения;

t_{omax} , t_{omin} , t_o , J_o – те же параметры, но для ФЯ с СОТР.

Интенсивность отказов рассчитывается при следующих допущениях: используется последовательная схема соединения, отказы ФЯ определяются только отказами микросхем, которые не зависят от времени и являются событиями случайными и независимыми. Интенсивность отказов микросхем определяется статистическим методом [4, с. 91].

Приведенные в таблице расчетные данные могут быть использованы на этапе эскизно-технического проектирования РЭС в случаях, когда необходимо оперативно осуществить предварительный, но достаточно обоснованный выбор того или иного варианта СОТР ФЯ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Г., Сигалов А. В. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена. – М.: Высшая школа, 1990.
2. Володин Ю. Г., Гасанова В. В., Лайне В. А. Физико-математическое моделирование тепловых режимов радиоэлектронных средств связи // Техника средств связи. Сер. Общетеchnическая. – 1990. – Вып.3. – С. 77–85.
3. Дульнев Г. Н., Польшиков Б. В., Левбарг Е. С. Температурное поле пластины с локальным источником тепла и теплообменом на торцах // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Тепловые режимы, термостатирование и охлаждение РЭА. – 1976. – Вып.1. – С. 98–102.
4. Козырь И. Я. Качество и надежность интегральных микросхем. – М.: Высшая школа, 1987.

НОВЫЕ КНИГИ

Anatychuck L. **Physics of Thermoelectricity**.— Institute of Thermoelectricity, Chernovtsi, 1998, 392 p.

Анатычук Л. И. **Физика термоэлектричества**.— Черновцы : Ин-т термоэлектричества, 1998, 392 с. (на англ. яз.).

Книга представляет собой первое и, несмотря на это, во многом исчерпывающее систематическое рассмотрение основных разделов современной физики термоэлектричества: качественного и количественного описания всего спектра термоэлектрических, гальвано- и термомагнитных эффектов и явлений. Изложены основы теории и механизмы явлений переноса в полупроводниках.

Везде делается упор на физическую сущность явлений; необходимые для понимания этого материала сведения из теоретической физики (квантовой механики, статистики и термодинамики) приводятся в тексте попутно с основным материалом.

Книга рассчитана на широкий круг читателей — ученых, инженеров, аспирантов, студентов старших курсов университетов и технических вузов.