

УДК 658.51.011.56

А.М. Синотин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ С ОПТИМАЛЬНЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассматривается учёт неравномерности распределения удельной мощности источников тепла в нагретой зоне РЭА при теплофизическом конструировании в стационарном режиме. Представлены экспериментальные данные, подтверждающие теоретические предпосылки.

Ключевые слова: анизотропность, нагретая зона, эффективная теплопроводность, относительный параметр теплопроводности, коэффициент теплоотдачи.

Введение

При расчёте и проектировании теплонагруженных аппаратов радиоэлектронных систем возникает необходимость учёта их тепловых режимов. Из-за неравномерной концентрации тепловыделяющих элементов, либо вследствие применения в электрических схемах элементов с различной рассеиваемой мощностью по объёму прибора создаётся неоднородное тепловыделение. Поэтому наряду с другими параметрами [1] необходимо учитывать параметр неравномерности распределения удельной мощности (W Вт / м³) источников тепла β_w .

Аналогичное выражение для β_w можно получить из общего решения уравнения теплопроводности для квазиоднородного, анизотропного по теплопроводности тела (нагретая зона РЭА с плотным монтажом [1]) в форме параллелепипеда $2l_x \cdot 2l_y \cdot 2l_z$ с неравномерным симметричным распределением мощности источников тепла. На границе тела происходит теплообмен по закону Ньютона (граничные условия 3 рода) при нулевых начальных условиях.

Цель исследования. Определение влияния характера расположения тепловыделяющих радиоэлектронных элементов в нагретой зоне на тепловой режим аппарата.

Основной материал

Применяя для решения дифференциального уравнения теплопроводности метод двойного разделения переменных [2] и ограничиваясь первым членом ряда общего решения, приходим к следующему выражению для β_w в стационарном режиме:

$$\beta_w = \frac{\int_0^{l_x} \int_0^{l_y} \int_0^{l_z} \frac{W(x,y,z)}{W} U_x \cdot U_y \cdot U_z \cdot dx \cdot dy \cdot dz}{\int_0^{l_x} \int_0^{l_y} \int_0^{l_z} U_x \cdot U_y \cdot U_z \cdot dx \cdot dy \cdot dz}; \quad (1)$$

$$U_i = \cos \mu_i \frac{\mu_i}{l_i}; \quad \cos \mu_i \frac{\mu_i}{l_i}; \quad i = x, y, z. \quad (2)$$

$$\mu_i \cdot \text{tg} \mu_i = B_i; \quad B_i = \frac{K_i}{\lambda_i} l_i; \quad (3)$$

$$W = \frac{P}{8l_x \cdot l_y \cdot l_z},$$

где P – мощность всех источников тепла $\sum_{i=1}^n P_i$, Вт;

K_i – коэффициент теплопередачи от i -й грани к окружающей среде, Вт / (м²·К);

λ_i – коэффициент теплопроводности вдоль оси симметрии параллелепипеда $i = x, y, z$, Вт / (м·К).

Собственные значения μ_i затабулированы в функции критерия Био для граничных условий 3-го рода в работе [3].

Таким образом, связь между параметрами теплофизического конструирования, рассеиваемой мощностью и допустимой максимальной температурой перегрева ϑ_0 град. с учётом параметра β_w [1]:

$$3,62P \cdot \beta_w = \vartheta_0. \quad (5)$$

Конструктивные условия минимизации параметра β_w при равномерном распределении мощности также рассмотрены в работе [1]. Для оценки условий минимизации параметра β_w рассмотрим решение выражения (1) для крайне неравномерного случая распределения мощности, когда источники тепла мощностью W сконцентрированы в симметрично расположенных ограниченных объёмах $2a_x \cdot 2a_y \cdot 2a_z$ (рис. 1) вдоль одной из осей. Интегрирование уравнения (1) с учётом (2) – (4) (рис. 1) и последующие преобразования дают следующие выражения:

$$\beta_w = \prod_i \frac{\sin \mu_i \cdot \frac{a_i}{l_i}}{\frac{a_i}{l_i} \cdot \sin \mu_i} \cdot \frac{\cos \mu \left(\frac{h_z}{l_z} + \frac{a_z}{2l_z} \right)}{\cos \mu_z \cdot \frac{a_z}{2l_z}}, \quad i = x, y, z. \quad (6)$$

В случае вырождения в точечный источник (предельная неравномерность распределения мощности $a_i \rightarrow 0$)

$$\beta_w = \prod_i \frac{\mu_i}{\sin \mu_i} \cdot \cos \mu_z \frac{h_z}{l_z}, \quad (7)$$

Таблица 1

Численные значения β_w

B_i	Точечный источник			Плоский источник $a_x = l_x; a_y = l_y;$ $a_z = 0$		
	$\left(\frac{h_z}{l_z}\right)_0$	β_w		$\left(\frac{h_z}{l_z}\right)_0$	β_w	
		$\frac{h_z}{l_z} = 0$	$\frac{h_z}{l_z} = 1$		$\frac{h_z}{l_z} = 0$	$\frac{h_z}{l_z} = 1$
0,5	0,39	1,2	0,9	0,23	1,1	0,9
1	0,51	1,4	0,9	0,31	1,1	0,7
2	0,69	1,8	0,8	0,39	1,2	0,6
5	0,74	2,5	0,6	0,47	1,3	0,3
10	0,78	3,0	0,4	0,51	1,4	0,2
50	0,82	3,7	0,1	0,55	1,5	0,1
	0,83	3,9	0,0	0,56	1,6	0,0

В табл. 1 приведены численные значения β_w для предельных случаев, когда мощность сконцентрирована в центре нагретой зоны ($h_z/l_z = 0$) или на периферии ($h_z/l_z = 1$). Здесь же даны положения источников $(h_z/l_z)_0$, соответствующие $\beta_w = 1$ при различных значениях критерия B_i . В расчетах принимались одинаковые условия теплообмена на границе $B_{i1} = B_i$.

Из выражения (7) следует, что при малых значениях критерия B_i , когда согласно формуле (3) $\sin \mu \approx \mu$, а $\cos \mu_z \frac{h_z}{l_z} \approx 1$, параметр $\beta_w \approx 1$ независимо от места расположения источников (h_z/l_z) , т.е. минимизация β_w невозможна.

Большие значения критерия B_i и концентрация источников в центре (табл. 1, $h_z/l_z = 0$) вызывает существенный рост β_w , достигающий при $B_i = \infty$ четырехкратного увеличения по сравнению с равномерным распределением мощности ($\beta_w = 1$). Концентрация тепловыделений на периферии ($h_z/l_z \rightarrow 1$) способствует уменьшению β_w , начиная же (h_z/l_z) происходит минимизация параметра β_w по сравнению с равномерным распределением мощности.

В целях проверки полученных закономерностей проведены температурные испытания тепловых макетов РЭА при различных законах концентрации

мощности (h_z/l_z) в объеме нагретой зоны. Эксперименты проводились в условиях естественного воздушного охлаждения ($B_i = 2,3$).

Нагретая зона теплового макета набиралась из девяти стеклотекстолитовых плат размером $130 \times 130 \times 1,5$ мм. В качестве тепловых источников на платах размещались резисторы МЛТ-2, 11кОм. Равномерное распределение мощности создавалось путём подачи питания на все платы. Отключение от центральной и последующих плат при сохранении постоянства рассеиваемой мощности $P = 25$ Вт имитировало изменение концентрации источников от равномерного к периферийному ($h_z/l_z = 0-1$). Результаты температурных испытаний представлены на рис. 2, 3.

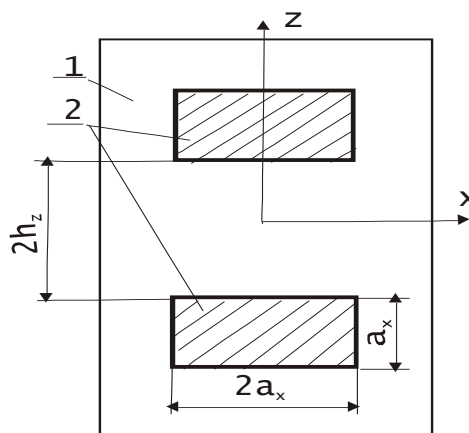


Рис. 1. Размещение источников тепла в объеме нагретой зоны: 1 – нагретая зона РЭА в форме параллелепипеда $2l_x \cdot 2l_y \cdot 2l_z$; 2 – источники тепла размеров $2a_x \cdot 2a_y \cdot 2a_z$ с удельной мощностью W Вт/м³

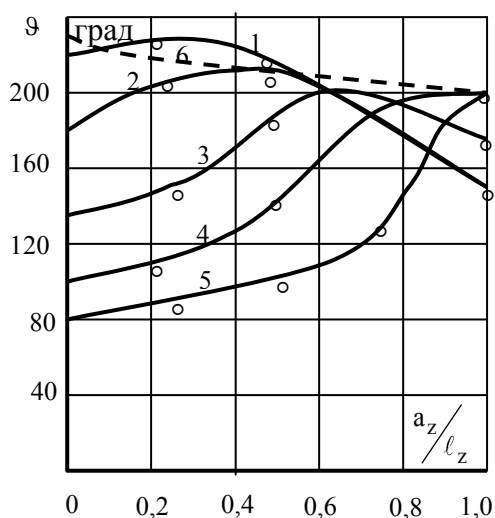


Рис. 2. Характер изменения температуры в центре плат при различных законах размещения тепловыделяющих элементов (h_z/l_z) в условиях естественного охлаждения ($B_i = 2,3$)

Экспериментальные данные подтверждают слабое влияние закона распределения мощности при малых значениях B_i на максимальную температуру перегрева РЭА. Имеет место лишь перемещение максимального перегрева (рис. 2, штрих пунктирная линия) из центральной зоны, при равномерном распределении мощности, к периферии в зону концентрации источников тепловыделения.

Количественные значения параметра β_w , рассчитанные из выражения (6), удовлетворительно совпадают с опытными данными (рис. 3).

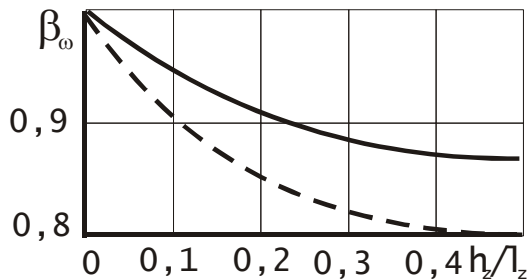


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные значения параметра ($\beta_w = \beta_w(h_z/l_z)$) при $B_i = 2,3$;
— расчёт по выражению (6);
---- эксперимент

Аналитические и экспериментальные исследования влияния закона распределения мощности на температурный режим аппарата позволяют сделать следующие выводы и рекомендации для теплофизического конструирования РЭА.

Выводы

1. Для малогабаритных РЭА не более 0,15 м, что в условиях естественного охлаждения ($K = 5 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$ и $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$) [1] обеспечивает $B_i < 2$, неравномерным характером распре-

деления мощности можно пренебречь, полагая в выражении (5) $\beta_w = 1$ (см. табл. 1).

2. В крупногабаритных РЭА и аппаратах с интенсивным поверхностным охлаждением нагретой зоны ($B_i > 2$) необходимо предусматривать периферийное размещение тепловыделяющих элементов и мощных источников тепла с минимальным относительным удалением от центральной зоны на h_z/l_z (см. табл. 1). Это приводит к минимизации параметра β_w , к повышению эффективности поверхностного охлаждения и при заданном максимальном перегреве даёт более высокие значения мощности рассеиваемой конструкции РЭА (5).

3. Количественные значения параметров β_w могут быть определены при принятом законе размещения источников тепла (радиоэлементов) по выражениям (1), (6).

Список литературы

1. Майко И.М. О теплофизическом конструировании одноблочных РЭА с заданным тепловым режимом / И.М. Майко, А.М. Синотин // Вопросы радиоэлектроники. – 1974. – Вып. 1. – С. 80-87.
2. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1966. – 724 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. школа, 1967. – 600 с.

Поступила в редколлегию 20.08.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Тимофеев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ПРОЕКТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ З ОПТИМАЛЬНИМ РОЗМІЩЕННЯМ ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

А.М. Сінотін

Розглядається облік нерівномірності розподілу питомої потужності джерел тепла в нагрітій зоні РЕА при теплофізичному конструюванні в стаціонарному режимі.

Ключові слова: анізотропія, нагріта зона, ефективна теплопровідність, відносний параметр теплопровідності, коефіцієнт тепловіддачі.

PLANNING OF VEHICLES WITH OPTIMUM RADIO ELECTRONIC DISTRIBUTION OF HEAT-GENERATING ELEMENTS

A.M. Sinotin

Consideration of unevenness of distributing of specific power of sources of heat in the heated area REA at the thermalphysic constructing in the stationary mode is considered.

Keywords: anisotropy, heated area, effective heat conductivity, relative parameter of heat conductivity, coefficient of heat emission.