

## ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРА $F_{a\lambda}$ . ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ПЛАТ С ПЛОСКИМИ ТЕПЛОСТОКАМИ

Конструирование современных радиоэлектронных аппаратов, наряду с разработкой электрических схем, предъявляет жесткие требования к температурному режиму будущей конструкции, что и определяет в значительной степени надежность ее работы. При расчете температурных полей анизотропных тел, каковыми являются радиоэлектронные аппараты (РЭА), требуются знания эффективных теплопроводностей в основных направлениях, сведения о которых в литературных источниках отсутствуют.

**Цель исследований** – выявление влияния параметра анизотропии  $F_{a\lambda}$  на температурное поле аппарата.

### Постановка задачи и методы решения

Исследование влияния конструктивных параметров аппарата на минимизацию параметра анизотропии и количественному установлению его пределов.

Параметр анизотропии теплопроводности  $F_{a\lambda}$  определяется равенством:

$$F_{a\lambda} = \zeta^2 \cdot \frac{A_3}{A_2} \cdot \frac{(\mu_{x_1} \cdot \xi_{x_0})^2 + (\mu_{y_1} \cdot \xi_{y_0})^2 + (\mu_{z_1} \cdot \xi_{z_0})^2}{(\mu_{x_2} \cdot \xi_{x_0})^2 + (\mu_{y_2} \cdot \xi_{y_0})^2 + (\mu_{z_2} \cdot \xi_{z_0})^2}, \quad (1)$$

$$B_{i_{i_3}} = B_{i_0} \cdot \frac{\sqrt{\xi_{x_0} \cdot \xi_{y_0} \cdot \xi_{z_0}}}{\xi_{i_0}} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} \cdot \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_i}, \quad i = x, y, z, \quad (2)$$

$$A_3 = A_{x_3}^* \cdot A_{y_3}^* \cdot A_{z_3}^*; \quad A_{i_3}^* = A_{i_3} - (A_{i_3} - 1) \cdot (1 - \xi_{i_3}), \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{i^{\min} \left( \ell_i \sqrt{\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_i}} \right)}{\ell_{\min}}, \quad \xi_i = \xi_{i_0} \frac{\zeta}{\sqrt{\lambda_{\max}/\lambda_i}}, \quad (4)$$

где  $A_{i_3}, \mu_{i_3}$  – значения амплитуд и собственные значения при критерии  $B_{i_3}$ . В таблице приведены значения этого параметра и расчётные формулы для предельных значений критерия  $B_{i_0}$ , когда  $B_{i_0} \leq 1$  или  $B_{i_0} = \infty$ . Значения параметра  $F_{a\lambda}$  для всех форм при  $B_{\lambda_0} = \infty$  определялись из зависимости

$$F_{a\lambda_\infty} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{1 + \frac{\delta_M}{\Delta + \delta_M}}. \quad (5)$$

Из выражения 
$$B_{i_0} = \frac{K_0}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{2} \sqrt[3]{V} \quad (6)$$

следует, что малые значения  $B_{i_0}$  соответствуют аппаратам с линейными размерами  $\sqrt[3]{V} < 0,1$  м при слабом поверхностном охлаждении (естественная конвекция в воздухе  $K_0 = 4 \div 5$  Вт/(м<sup>2</sup>·град)). Большие значения критерия  $B_{i_0}$  соответствуют аппаратам с  $\sqrt[3]{V} > 0,1$  м, а также РЭА с интенсивным охлаждением, [1].

Общее выражение для  $F_{a\lambda}$ , согласно (1) – (4), при  $V_{i_0} < 1$  и  $V_{i_0} = \infty$  принимает вид:

$$F_{a\lambda} = \begin{cases} 1 & \text{при } V_{i_0} < 1, \\ \frac{\xi_{x_0}^2 + \xi_{y_0}^2 + \xi_{z_0}^2}{\frac{\lambda_x}{\lambda_{\max}} \cdot \xi_{x_0}^2 + \frac{\lambda_y}{\lambda_{\max}} \cdot \xi_{y_0}^2 + \frac{\lambda_z}{\lambda_{\max}} \cdot \xi_{z_0}^2} & \text{при } V_{i_0} = \infty. \end{cases} \quad (7)$$

Т а б л и ц а

№	$V_i$	Вид теплостоков	Форма						
			Куб		Квадратный брус		Квадратная пластина		
			$F_{a\lambda}$	$F_{a\lambda}$ пред.	$F_{a\lambda}$	$F_{a\lambda}$ пред.	$F_{a\lambda}$	$F_{a\lambda}$ пред.	
1	1	Произвольный	1	1	1	1	1	1	
2	$\infty$	Объёмные ( $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda_{\max}$ )	1	1	1	1	1	1	1
3	$\infty$	Плоские $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_{\max}; \lambda_z = \lambda_0$	$\frac{3}{2 + F_{\lambda_{\infty}}}$	1,5	$\frac{2 + \xi_{y_0}^2}{2 + F_{\lambda_0} \cdot \xi_{z_0}^2}$	1	$\frac{1 + 2\xi_{y_0}^2}{1 + (1 + F_{\lambda_{\infty}}) + \xi_{z_0}^2}$		
4	$\infty$	Линейные $\lambda_x = \lambda_{\max}; \lambda_y = \lambda_0$	$\frac{3}{1 + 2 \cdot F_{\lambda_{\infty}}}$	3,0	$\frac{2 + \xi_{y_0}^2}{1 + F_{\lambda_{\infty}} \left( 1 + \xi_{z_0}^2 \right)}$	$\frac{2}{1 + F_{\lambda_{\infty}}}$	$\frac{1 + 2\xi_{z_0}^2}{1 + 2F_{\lambda_{\infty}} \xi_{z_0}^2}$	$\frac{1}{F_{\lambda_{\infty}}}$	
5	$\infty$	Плоские $\lambda_x = \lambda_0; \lambda_y = \lambda_z = \lambda_{\max}$	$\frac{3}{2 + F_{\lambda_{\infty}}}$	1,5	$\frac{2 + \xi_{z_0}^2}{F_{\lambda_{\infty}} + 1 + \xi_{z_0}^2}$	$\frac{2}{1 + F_{\lambda_{\infty}}}$	$\frac{1 + 2\xi_{z_0}^2}{F_{\lambda_{\infty}} + 2\xi_{z_0}^2}$	$\frac{1}{F_{\lambda_{\infty}}}$	
6	$\infty$	Линейные $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_0; \lambda_z = \lambda_{\max}$	$\frac{3}{1 + 2F_{\lambda_{\infty}}}$	3	$\frac{2 + \xi_{y_0}^2}{2F_{\lambda_{\infty}} + \xi_{y_0}^2}$	$\frac{1}{F_{\lambda_0}}$	$\frac{1 + 2\xi_{z_0}^2}{F_{\lambda_{\infty}} + (F_{\lambda_{\infty}} + 1)\xi_{z_0}^2}$	$\frac{1}{F_{\lambda_{\infty}}}$	

Анализ таблицы показывает, что количественно параметр  $F_{a\lambda} \geq 1$ , то есть задача минимизации этого параметра, состоит в приведении его к единичному значению. При малых значениях  $V_{i_0} < 1$  параметр  $F_{a\lambda} \approx 1$ , то есть минимизирован.

При больших значениях  $V_{i_0} > 1$  минимизация параметра анизотропии для различных типов теплостоков может быть осуществлена за счёт их правильного размещения в объёме при заданной форме нагретой зоны [1–6], а именно теплостоки всегда должны размещаться вдоль наименьшего размера ( $\xi_{i_0} = 1$ ). Нарушение этого требования резко снижает эффективность использования теплостоков, так как параметр анизотропии  $F_{a\lambda}$  приближается к обратной величине предельного значения параметра эффективной теплопроводности  $F_{\lambda_{\infty}}$  (5), рис. 1.

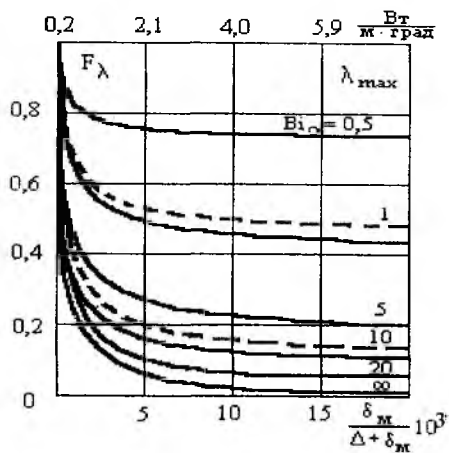


Рис. 1

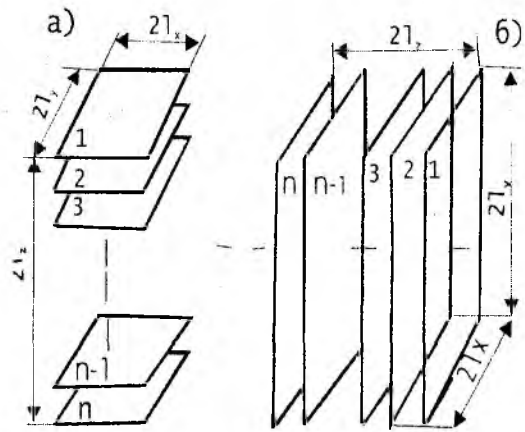


Рис. 2

Тогда произведения этих параметров будет близко к единице ( $F_\lambda \cdot F_{a\lambda} \approx 1$ ) то есть применение теплостоков становится нецелесообразным, так как не способствует минимизации параметра синтеза  $F_\lambda$ .

Форма квадратного бруса в случае плоских теплостоков и квадратной пластины в случае линейных теплостоков обеспечивают предельную минимизацию параметра анизотропии при размещении теплостоков вдоль линейных размеров.

Таким образом, применение плоских теплостоков, которые обычно технологически выполняются либо в виде сплошных теплопроводных плат (либо специальных теплопроводных пластин по форме плат), накладывает ограничения на размещение и форму монтажных плат в оптимальной форме квадратного бруса. Платы должны иметь квадратную форму с наименьшим линейным размером нагретой зоны и размещаться перпендикулярно большей оси бруса (рис. 2а). При размещении плат способом, показанном на рис. 2б, резко уменьшается эффективность использования теплостоков.

### Выводы

1. Минимизация параметра анизотропии теплопроводности требует такого расположения плат, чтобы минимальные размеры нагретой зоны аппарата совпадали с направлением действия максимальной теплопроводности.

2. Для оптимальной формы квадратного бруса и плоских теплостоков это условие требует размещения квадратных плат перпендикулярно большей оси бруса, что приводит к предельной минимизации параметра анизотропии по теплопроводности. Нарушение этого условия резко снижает эффективность применения кондуктивных теплостоков (см.табл.).

3. В аппарате с плоскими теплостоками в условиях естественной конвекции неравномерность распределения мощности практически не сказывается на максимальном перегреве.

**Список литературы:** 1. Дульнев Г.Н., Тарнавский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1971. 287 с. 2. Майко И.М., Синотин А.М. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности нагретых зон РЭА // Вопросы радиоэлектроники. ТРТО. 1972. №2. С. 12 – 17. 3. Майко И.М. Исследование нестационарных тепловых режимов РЭА // Автореф. дисс. канд. техн. наук., ЭНИН. 1971. 4. Майко И.М., Синотин А.М., Дитинов Ю.М. О теплофизическом конструировании одноблочных радиоэлектронных аппаратов с заданным тепловым режимом // Вопросы радиоэлектроники. ТРТО. 1974. № 1. С.80 – 87. 5. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Госэнергоиздат, 1952. 392 с. 6. Михеев М.А. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, 1956. 315 с.