

УДК 658.51.011.56

А.М. Синотин, Т.А. Колесникова

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАГРЕТЫХ ЗОН РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ ОТ ЕГО КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Приведены результаты исследований влияния эффективной теплопроводности нагретых зон радиоэлектронных аппаратов на его максимальный перегрев и возможности её повышения эффективности за счёт конструктивных изменений аппарата.

**Ключевые слова:** анизотропность, нагретая зона, эффективная теплопроводность, относительный параметр теплопроводности, коэффициент теплоотдачи, форма квадратного бруса.

### Актуальность

При проектировании радиоэлектронных аппаратов (РЭА), специалисты, занимающиеся их созданием, всё больше обращают внимание на их тепловые режимы. Это вызвано следующими причинами. Значительная часть различных форм энергии в радиоэлектронном аппарате превращается в тепловую, что приводит к повышению температуры, в конечном итоге, всего радиоэлектронного аппарата. Известно, что надёжность деталей аппарата падает с повышением их температуры. Повышение температуры в аппарате вызывает ухудшение изоляционных свойств отдельных материалов, изменение плотности и подвижности носителей тока в полупроводниках, общее увеличение интенсивности старения материалов, снижение индуктивности насыщения в сердечниках и т. д. Все это, в конечном итоге, оказывает влияние на точностные характеристики аппарата в целом и даже может привести к выходу аппарата из строя.

Умение рассчитать в процессе проектирования температуры отдельных частей аппарата позволяет более точно проводить расчёты электрических и магнитных цепей, а также открывает возможности экономического обоснования того или иного варианта конструкции проектируемого аппарата [1].

Поэтому теплофизическое конструирование следует осуществлять на всех стадиях разработки при создании надёжной малогабаритной экономической конструкции аппарата.

**Цель исследования.** Установление характера влияния эффективной теплопроводности на перегрев нагретой зоны радиоэлектронного аппарата и выявление различных конструктивных факторов на этапе проектирования для повышения её эффективности.

**Постановка задачи.** Исследование выявления влияния различных конструктивных параметров радиоэлектронного аппарата оказывающих существенное влияние на минимизацию эффективной теплопроводности нагретой зоны аппарата на этапе его проектирования.

### Основной материал

Эффективная теплопроводность нагретой зоны радиоэлектронного аппарата, выраженная через относительный параметр теплопроводности принимает, следующий вид

$$F_{\lambda} = \frac{1}{1 + \frac{\delta_M}{\lambda_0} \cdot \frac{\delta_m}{\Delta + \delta_m}} \cdot \frac{A_2}{A_1} \times \frac{(\mu_{X_s} \cdot \xi_{X_0})^2 + (\mu_{Y_s} \cdot \xi_{Y_0})^2 + (\mu_{Z_s} \cdot \xi_{Z_0})^2}{(\mu_{X_2} \cdot \xi_{X_0})^2 + (\mu_{Y_2} \cdot \xi_{Y_0})^2 + (\mu_{Z_2} \cdot \xi_{Z_0})^2},$$

где  $\lambda_0$ ,  $\lambda_m$  – эффективная теплопроводность нетеплопроводных и теплопроводных плат;  $\delta$  – толщина плат;  $\Delta$  – расстояние между платами;  $A_s, \mu_i$  – амплитуды и собственные значения при  $V_{i_0}$ ;  $\xi_i$  – относительные размеры сторон аппарата;

$$V_{I_1} = V_{I_0} \cdot \frac{\sqrt{\xi_{X_0} \cdot \xi_{Y_0} \cdot \xi_{Z_0}}}{\xi_{I_0}} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}}, \quad I = X, Y, Z.$$

Графически зависимость параметра  $F_{\lambda}$  представлена на рис. 1 в функции максимальной эффективной теплопроводности нагретой зоны для различных форм параллелепипеда при изменении начального критерия  $V_{i_0}$  от 0,5 до  $\infty$ , где сплошной линией обозначена зависимость для значений куба при

$$\xi_{X_0} = \xi_{Y_0} = \xi_{Z_0} = 1,$$

пунктирной – для квадратного “бруса” при

$$\xi_{X_0} = \xi_{Y_0} = 1, \quad \xi_{Z_0} = 0,1.$$

Анализ данных рис. 1 показывает, что форма параллелепипеда практически не влияет на характер минимизации параметра  $F_{\lambda}$  изотропных нагретых зон ( $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda_{\max}$ ).

С увеличением  $\lambda_{\max}$  параметр  $F_{\lambda}$  минимизируется.

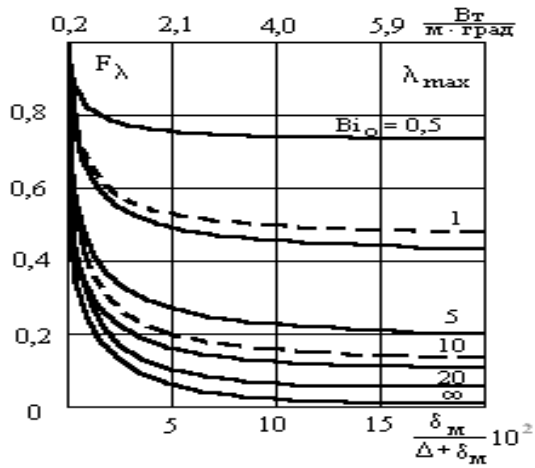


Рис. 1. Зависимость параметра  $F_\lambda$  от максимальной эффективной теплопроводности нагретой зоны  $\lambda_{max}$  и относительной толщины теплостоков  $\delta_m / \Delta + \delta_m$

— куб ( $\xi_{x_0} = \xi_{y_0} = \xi_{z_0} = 1$ ;  
 - - - квадратный "брус" ( $\xi_{x_0} = \xi_{y_0} = 1, \xi_{z_0} = 0,1$ )

При этом эффективность минимизации существенно возрастает с ростом интенсивности охлаждения на поверхности, нагретой зоны. При увеличении значений  $Bi_0$  от 0,5 до 20 параметр  $F_\lambda$  соответственно минимизируется с 1 до 0,7 - 0,07.

Достижение определённых уровней минимизации наблюдается при определённых значениях эффективной теплопроводности для каждого  $Bi_0$ . Дальнейшее увеличение  $\lambda_{max}$  практически не вызывает существенного изменения  $F_\lambda$ . Предельные значения  $\lambda_{max}$  для различных условий охлаждения приведены ниже в табл. 1.

Таблица 1

Предельные значения эффективной теплопроводности нагретой зоны

$Bi_0$	0,5	1	5	10	20	$\infty$
$\lambda_{max}$ Вт/м·град	1,0	1,5	4	4	4	4

Значения параметра  $F_\lambda$  для всех форм радиоэлектронных аппаратов при  $Bi_0 = \infty$  выражается зависимостью

$$F_{\lambda_\infty} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{max}} = \frac{1}{1 + \frac{\delta_m}{\Delta + \delta_m}},$$

где  $\lambda_0$  – эффективная теплопроводность при нетеплопроводных платах, Вт / м·град;  $\lambda_{max}$  – максимальная теплопроводность, Вт/м·град;  $\delta_m$  –

толщина сплошных металлических плат, м;  $\Delta$  – расстояние между платами.

Конструктивно теплопроводность нагретой зоны можно изменить двумя путями.

Первый путь состоит в применении высокотеплопроводных заполнителей. В этом случае

$$\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda_{max},$$

т.е. нагретая зона удовлетворяет всем рассмотренным выше закономерностям минимизации параметра  $F_\lambda$ . Параметр анизотропности при этом равен единице:

$$\lambda_{a\lambda} = 1.$$

Второй путь – использование плоских теплостоков, выполненных в виде сплошных металлических плат (медь, дюралюминий и др.) либо в форме теплопроводных пластин по размеру [1 – 3].

При этом имеет место анизотропия по теплопроводности

$$\lambda_x = \lambda_y = \lambda_{max} \neq \lambda_z,$$

что требует исследовать влияние параметра анизотропности. В случае оптимальной формы квадратного «бруса», когда платы (тепlostойки) располагаются параллельно основанию т.е. перпендикулярно большой оси, все рассмотренные выше закономерности минимизации параметра остаются в силе.

Таким образом, степень минимизации параметра теплопроводности зависит от интенсивности системы охлаждения и линейного размера аппарата. При линейных размерах аппарата больше 0,5 м. или интенсивном поверхностном охлаждении наблюдается предельная минимизация параметра теплопроводности.

Интересующий нас объём нагретой зоны может быть получен суммированием элементарных объёмов всех элементов

$$v = \sum_{i=1}^n \Delta v_{z_i}.$$

Для случая, когда нагретая зона собирается из нескольких подпоследовательностей однотипных по размерам элементов

$$v = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \Delta v_{z_i},$$

где  $m_i$  – количество однотипных элементов в подпоследовательности;  $n$  – количество подпоследовательностей.

Соответственно, с учётом коэффициента плотности монтажа [2, 3] объёмы нагретой зоны будут определяться по формулам:

– монтаж высокой плотности  $\eta$

$$v = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \ell_{max_i}^3;$$

– монтаж средней плотности  $\eta_m > 1$ :

$$v = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \ell_{\max_i}^3 \cdot f(\eta_m) .$$

### Выводы

1. Увеличение эффективной теплопроводности свыше 2 - 4 Вт / (м.град ) не вызывает дальнейшей минимизации. Значит, не следует стремиться к увеличению теплопроводности заполнителей (компаундов) свыше этих значений.

2. Аппараты в форме “квадратного бруса” позволяют получить оптимальный тепловой режим.

3. Для изотропных нагретых зон ( $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z$ ) никакие ограничения на размещение монтажных плат не накладываются. Они могут иметь форму либо большой, либо малой грани “квадратного бруса”.

4. В случае анизотропных нагретых зон РЭА наименьший размер нагретой зоны должен совпадать с направлением максимальной теплопроводности и лежать в плоскости монтажных плат. В случае плоских теплостоков ( $\lambda_x = \lambda_y \geq \lambda_z$ ) это требование совпадает с требованием оптимальной формы “квадратного бруса” и лишь накладывает ограничение на характер размещения монтажных плат. В случае линейных теплостоков ( $\lambda_x \geq \lambda_y = \lambda_z$ ) оптимальной формой становится ограниченная пластина.

5. При применении теплостоков, практически, нецелесообразно увеличивать эффективную теплопроводность свыше 3 - 4 Вт./ м. · град. В случае медных теплостоков это соответствует относительной толщине 0,01 – 0,015 по отношению к расстоянию между платами  $\Delta$  и удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными [2, 3].

6. Конструктивное совмещение кожуха аппарата с нагретой зоной (при обеспечении хороших тепловых связей между платой и стен кой кожуха) позволяет в 2 раза повысить коэффициент теплопередачи в условиях естественной конвекции. Дальнейшее увеличение коэффициента теплоотдачи может быть достигнуто применением специальных систем вынужденного воздушного охлаждения.

### Список литературы

1. Дульнев Г.Н. *Тепловые режимы электронной аппаратуры* / Г.Н. Дульнев, Н.Н. Тарновский.— Л.: Энергия, 1971. – 248 с.

2. Майко И.М. *Экспериментальное определение эффективной теплопроводности нагретых зон радиоэлектронных аппаратов* / И.М. Майко, А.М. Синотин // *Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО.* – 1972. – № 2. – С. 13-17.

3. Майко И.М. *О теплофизическом конструировании одноблочных радиоэлектронных аппаратов с заданным тепловым режимом* / И.М. Майко, Ю.М. Детинов, А.М. Синотин // *Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО.* – 1974. – № 1. – С. 80-87.

Поступила в редколлегию 7.02.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.П. Авраменко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ НАГРІТИХ ЗОН РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ ВІД ЙОГО КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ

А.М. Сінотін А.М., Т.А. Колеснікова

*Приведені результати досліджень впливу ефективної теплопровідності нагрітих зон радіоелектронних апаратів на його максимальний перегрів і можливості її підвищення ефективності за рахунок конструктивних змін апарату.*

**Ключові слова:** анізотропія, нагріта зона, ефективна теплопровідність, відносний параметр теплопровідності, коефіцієнт тепловіддачі, форма квадратного бруса.

### RESEARCH OF DEPENDENCE OF EFFECTIVE HEAT CONDUCTIVITY OF THE HEATED AREAS OF VEHICLES RADIO ELECTRONIC FROM HIS STRUCTURAL PARAMETERS

A.M. Sinotin A.M., T.A. Kolesnikova

*The results of researches of influencing of effective heat conductivity of the heated areas of vehicles radio electronic on his maximal overheat and possibilities of its rise of efficiency due to the structural changes of vehicle are resulted.*

**Keywords:** anisotropnost, heated area, effective heat conductivity, relative parameter of heat conductivity, coefficient of heat emission, form of the square squared beam.