УДК 621.396.6.017:004.942

Огренич Е. В.

Ассистент Запорожского национального технического университета

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЧАТО-РЕБРИСТЫХ РАДИАТОРОВ МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ

Описывается тепловая модель пластинчато-ребристого радиатора. Получены соотношения и предложен алгоритм оптимизации массы радиатора. Проведено сравнение массогабаритных показателей ребристых и пластинчато-ребристых радиаторов.

Ключевые слова: пластинчато-ребристый радиатор, тепловая модель, оптимизационные соотношения, минимизация массы, массогабаритные показатели.

ВВЕДЕНИЕ

Заданный тепловой режим в радиоэлектронной аппаратуре может быть обеспечен с помощью радиаторов. Существует различные конструкции радиаторов [1–3], которые отличаются как формой, так и технологией изготовления. Размеры и масса радиаторов обычно значительно превышает массогабаритные показатели охлаждаемых устройств. Улучшение этих показателей при проектировании радиаторов осуществляется оптимизацией с использованием средств инженерного анализа.

Проведенное ранее исследование [4] показало, что толщина ребер в оптимизированных ребристых радиаторах оказывается слишком малой для организации традиционных технологических процессов. Поэтому одним из путей решения данной проблемы является реализации ребристого радиатора в виде набора пластин, изготовленных методом штамповки с последующей гибкой.

Целью работы является оптимизация и исследование массогабаритных показателей пластинчато-ребристых радиаторов с использованием средств инженерного анализа. Для решения этой задачи необходимо:

– сформировать тепловую модель пластинчато-ребристого радиатора;

– получить оптимальные соотношения размеров элементов конструкции радиатора для стратегии минимальной массы;

– разработать алгоритм минимальной массы и исследовать массогабаритные показатели пластинчато-ребристого радиатора;

– провести сравнение массогабаритных показателей ребристого и пластинчато-ребристого радиаторов.

1. ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ РАДИАТОРА

Пластинчато-ребристый радиатор представляет собой конструкцию, собранную из П-образных пластин, соединенным методом сварки или клепки. Модель была построена в среде инженерного анализа. При построении модели приняты следующие допущения:

– не учитывается шероховатость поверхности радиатора;

– тепловой контакт между пластинами принимается идеальным;

– в области контакта основания полупроводникового прибора и радиатора задается постоянный тепловой поток;

– не учитывается зависимость коэффициента теплопроводности материала радиатора от температуры.

Принятые допущения значительно упрощают задачу исследования. Тепловая модель пластинчато-ребристого радиатора с принятыми допущениями показана на рис. 1, где d – толщина пластин радиатора, l_p – расстояние между ребрами, l_r – высота ребра, L – высота радиатора, Ω – область крепления полупроводникового прибора.

Математическая модель области работоспособности создавалась путем аппроксимации ее границ эллипсоидом в граничной точке [4]:

$$R_T = \sum_{i=1}^{4} c_i x_i^2 , \tag{1}$$

где R_T – входное тепловое сопротивление радиатора; c_j коэффициенты модели; $x_1 = \frac{1}{d}$; $x_2 = \frac{1}{l_p}$; $x_3 = \frac{1}{l_r}$; $x_4 = \frac{1}{L}$ преобразованные размеры радиатора.

2. ОПТИМИЗАЦИЯ МАССЫ РАДИАТОРА

Оценивание массогабаритных параметров пластинчато-ребристых радиаторов обычно проводят по показателям массы, объема и массогабарита. Минимальная масса может интерпретироваться как показатель минимальной стоимости, поскольку она определяет расход материала. Объем радиатора можно использовать для оценки качества теплоотвода считая, что качество теплоотвода обратно пропорционально объему. Тогда можно определять и показатель цена/качество путем использования массогабаритного показателя в виде произведения массы радиатора на его объем.

При оптимизации массы пластинчато-ребристого радиатора используется целевая функция:

$$m = \rho L \left[nd\left(l_p + d\right) + 2ndl_r \right] \to \min ,$$

где ρ – плотность материала; n – количество пластин.

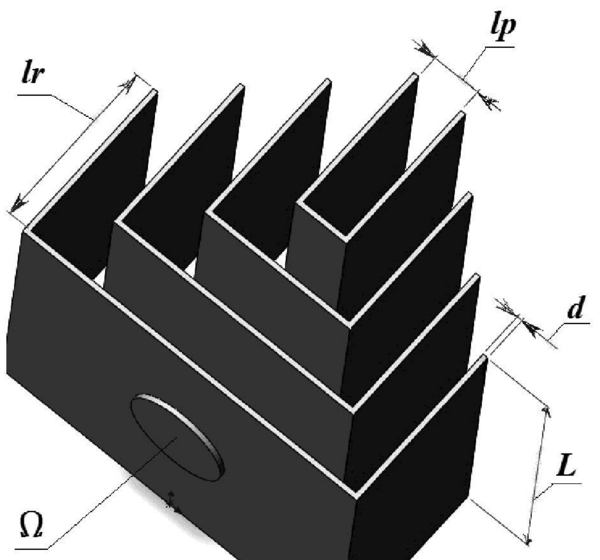

Рис. 1. Пластинчато-ребристый радиатор (разнесенный вид)

С учетом преобразования размеров (1) целевая функция приобретает вид:

$$m = \rho \frac{1}{x_4} \left(\frac{n}{x_1} \left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_3} \right) + \frac{2n}{x_1 x_2} \right) \to \max . \tag{2}$$

Оптимизационная задача решается при ограничении:

$$R_T \le R_{Tb} , \tag{3}$$

где R_{Tb} – максимально допустимое тепловое сопротивление радиатора.

Решение оптимизационной задачи проводится методом множителей Лагранжа. Необходимость использования в этом методе выражений (2) приводит к сложной системе нелинейных уравнений. Для упрощения процедуры оптимизации используется гиперболическая модель весовой функции:

$$G_a(x) = g_0 + \sum_{i=1}^{4} \frac{g_i}{x_i} , \tag{4}$$

где g_i – коэффициенты гиперболической модели.

Коэффициенты модели (4) определяются на основе тождественности касательных гиперплоскостей к гиперповерхностям (2) и (4):

$$b_i = \left. \frac{\partial G_a(x)}{\partial x} \right|_{X_b} , \quad g_i = -b_i \cdot x_{bi}^2 ,$$

где $X_b = \{x_{b1}, \ldots, x_{bn}\}$ множество координат точки касания гиперповерхностей (2) и (4).

Вспомогательная функция в методе множителей Лагранжа для M-стратегии записывается в виде:

$$L(\lambda) = \sum_{i=1}^{4} \frac{g_i}{x_i} + \lambda \sum_{i=1}^{4} c_i x_i^2 , \tag{5}$$

где λ – множитель Лагранжа.

Оптимальное значение параметров достигается при выполнении условий:

$$\frac{\partial L(\lambda)}{\partial x_i} = 0 , \quad (i = 1..n) .$$

В результате составляется система n уравнений:

$$-\frac{g_i}{x_i^2} + 2\lambda c_i x_i = 0 , \quad (i = 1..n) . \tag{6}$$

Решение системы уравнений, составленной из уравнений (1) и (6), приводит к оптимальным параметрам пластинчато-ребристого радиатора при минимизации массы:

$$x_i = \left(\frac{g_i}{c_i} \right)^{1/3} \cdot \sqrt{\frac{R_{Tb}}{\sum_{i=1}^{4} \left(c_i \cdot g_i^2 \right)^{1/3}}} , \quad (i = 1..n) . \tag{7}$$

В связи с нелинейной зависимостью входного теплового сопротивления радиатора от его размеров решение оптимизационной задачи проводится с помощью итерационного алгоритма, описанного в [4].

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИАТОРА

Оптимизация массы проводилась для двух типов радиаторов: ребристого, рассмотренного в [4], и пластинчато-ребристого, показанного на рис. 1. Для ребристого использовался сплав АД31, а для пластинчато-ребристого – АМс. Задавалась мощность $P = 10$ Вт, температура окружающей среды $t_c = 40°$ С, допустимое входное тепловое сопротивление $R_b = 3$ К/Вт, коэффициент черноты поверхности теплоотвода $\varepsilon = 0{,}91$.

В качестве начального приближения при оптимизации выбирались размеры стандартных радиаторов. Выбранный стандартный ребристый радиатор имел 8 ребер, а пластинчато-ребристый изготовлялся из 4 пластин, что соответствовало также 8 ребрам. Результаты оптимизации радиаторов приведены в табл. 1 и табл. 2, где m масса радиатора, V объем, mV массогабаритный показатель.

Из табл. 1 и табл. 2 видно, что стандартный ребристый и, соответствующий ему пластинчато-ребристый радиатор, имеют примерно равные объемы, а масса пластинчато-ребристого меньше на 25 %. Оптимизация позволяет уменьшить массу радиаторов в 2–3 раза, при этом объем оптимизированных радиаторов увеличивается почти до 2 раз. Следует отметить, что обе оптимизированные конструкции имеют близкие показатели объема, но масса ребристого радиатора меньше на 10 %.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование показало, что предложенный ранее метод оптимизации радиаторов оказался эффективным и для пластинчато-ребристых радиаторов. Метод обеспечивает такую же сходимость и приводит к аналогичным массогабаритным показателям.

Сравнение массогабаритных параметров ребристого и пластинчато-ребристого радиаторов показало, что, хотя стандартные ребристые радиаторы имеют худшие показатели, но оптимизированные пластинчато-ребристые уступают ребристым. В первом случае это отличие составляет 30 %, во втором – 10 %. Преимуществом пластинчато-ребристого радиатора является более высокая технологичность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дульнев, Р.Н.* Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре / Р.Н. Дульнев. – М. : Высш. шк., 1984. – 247 с.
2. *Роткоп, Л.Л.* Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры / Л. Л. Роткоп, Ю. Е. Спокойный. – М. : Советское радио, 1976. –232 с.
3. Теловой расчет оребренных поверхностей / Л. И. Ройзен, И. Н. Дулькин ; под. ред. В. Г. Фастовского. – М. : Энергия, 1977. – 256 с. : ил.
4. *Шило, Г. Н.* Проектирование радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами / Г. Н. Шило, Е. В. Огренич, Н. П. Гапоненко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011. – № 1–2. – С. 30–33.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2012.

Огренич Є. В.

ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАСТИНЧАТО-РЕБРИСТИХ РАДІАТОРІВ МІНІМАЛЬНОЇ МАСИ

Описується теплова модель пластинчато-ребристого радіатора. Отримано співвідношення і запропоновано алгоритм оптимізації маси радіатора. Проведено порівняння масогабаритних показників ребристих і пластинчато-ребристих радіаторів.

Ключові слова: пластинчато-ребристий радіатор, теплова модель, оптимізаційні співвідношення, мінімізація маси, масогабаритні показники.

Ogrenich E.

PLATE-FINNED HEAT SINK DESIGN

The thermal model of plate-finned heat sink is formed and described. The mathematical model of operability domain ellipsoid is created by approximating its borders. The optimization problem of heat sink mass is solved by Lagrange multipliers method. Hyperbolic model of the target function is used. The ratios for optimum mass of heat sink are found. The algorithm of heat sink design is developed. The initial approximation of standardized heat sink parameters is used. Thermal resistance is found by the numerical simulation in the systems engineering analysis. The mass and size parameters of finned and plate-finned heat sinks are compared. It is found, the optimization of finned and plate-finned heat sinks allows to reduce their weight by 2–3 times, and the volume is increased by 2 times. Optimized heat sinks have similar values of volumes; the mass of finned heat sink is less on 10 %. The using of plate-finned heat sink allows to increase the thickness of the fins on 50 % and to improve manufacturability of heat sinks elements.

Key words: plate-finned heat sink, thermal model, optimization ratio, mass minimization, mass and size characteristics.

REFERENCES

1. Dulnev R. N. Teplo- i massoobmen v radioelektronnoi apparature. Moscow, Vissh.shk., 1984, 247 p.
2. Rotkop L. L., Spokoinii Yu.Ye. Obespechenie teplovikh rezhimov pri konstruirovanii radioelektronnoi apparaturi. Moscow, Sovetskoe radio, 1976, 232 p.
3. Roizen L. I., Dul’kin I. N., ed. Fastovskogo V. G. Teplovoi raschet orebrennikh poverkhnostei. Moscow, Energiia, 1977, 256 p.
4. Shilo G. N., Ogrenich E. V., Gaponenko N. P. Proektirovanie radiatorov s optimal’nimi massogabaritnimi parametrami, *Tekhnologiya i Konstruirovanie v Elektronnoi Apparature*, 2011, No. 1–2, pp. 30–33.

Таблица 1. Параметры ребристого радиатора

	d_p	l_p	d_r	l_r	L	m	V	mV
Стандартный	5	9	1	32	63	104,3	165,5	17,3
Оптимизированный	1,44	10	0,215	62	65	37,0	295,7	10,9

Таблица 2. Параметры пластинчато-ребристого радиатора

	d_p=d_r	l_p	l_r	L	m	V	mV
Стандартный	1	9	37	63	77,1	170,0	13,1
Оптимизированный	0,36	10	56,5	69	41,7	285,9	11,9