

На основі рішення рівняння теплопровідності для прямокутного паралелепіпеда з аналогічними джерелами тепла, пропонується інженерна методика проектування конструкції радіоелектронної апаратури, виходячи з заданого температурного режиму виробів

Ключові слова: моделювання, тепловий режим, оптимізація теплообміну

На основе решения уравнения теплопроводности для прямоугольного параллелепипеда с аналогичными источниками тепла, предлагается инженерная методика проектирования конструкции радиоэлектронной аппаратуры, исходя из заданного температурного режима изделия

Ключевые слова: моделирование, тепловой режим, оптимизация теплообмена

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ И ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЭА ОПТИМИЗАЦИЕЙ ТЕПЛООБМЕНА КОНСТРУКЦИИ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

В. И. Азаренков

Старший преподаватель*

Контактный тел.: 050-524-84-84

E-mail: azarnikov@ukr.net

А. С. Куценко

Доктор технических наук, заведующий кафедрой*

Контактный тел.: (057) 707-61-03

E-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua

*Кафедра системного анализа и управления

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

1. Введение

В основу конструирования технических устройств положен поиск оптимального решения, т.е. таких значений параметров конструкции, выполнение которых позволило бы спроектировать без принципиальных доработок изделия, отвечающие заданным требованиям.

Под оптимальными параметрами конструкции мы будем подразумевать минимальные значения последних, при которых тепловой режим или параметры надежности (стоимости) не превышают допустимого или заданного значения при произвольном (или определенном другими критериями, например, электромагнитной совместимостью) размещении источников тепла в нагретой зоне.

2. Анализ последних исследований

Авторам неизвестны работы с подобной постановкой и решением аналогичных задач при проектировании ЭА.

3. Цель работы

Получить оптимальное распределение суммарного коэффициента теплообмена между стенками корпуса

РЭА с целью получения заданного перегрева активных элементов (источников тепла) в изделии при предварительной реализации других важных критериев конструкции: надежности, габаритов, стоимости и пр.

4. Методика и результаты исследований

Рассмотрим в качестве примера задачу определения оптимальных коэффициентов теплообмена между гранями нагретой зоны и окружающей средой разрабатываемой конструкции изделия. Заметим, что численные значения полученных коэффициентов теплообмена косвенно содержат в себе информацию о способе теплообмена (системе охлаждения) конструкции (см. табл. 1 [1]).

Окончательный выбор метода охлаждения определяется следующими факторами: численными значениями коэффициентов теплообмена, интенсивностью теплового потока, условиями теплообмена с окружающей средой, условиями эксплуатации, нормами эксплуатации, условиями работы, затратами электроэнергии, надежностью способа охлаждения и пр.

Для тепловой модели конструкции ЭА формы прямоугольного параллелепипеда с источником тепла аналогичной формы (см. рис.) методом Фурье получено решение уравнения теплопроводности [2]:

$$v(x,y,z) = \sum_{a_x=1}^{\infty} \sum_{a_y=1}^{\infty} \sum_{a_z=1}^{\infty} PG_{a_{x,y,z}} T_{a_{x,y,z}}(\tau) \prod_{i=x,y,z} M_{a_i}, (*)$$

где P – мощность источника, Вт;
 τ – время, с;

$$G_{a_{x,y,z}} = \frac{1}{\sum_{i=x,y,z} R_{a_i}};$$

$$T_{a_{x,y,z}}(\tau) = 1 - \exp(-c^{-1} \gamma^{-1} G_{a_{x,y,z}}^{-1} \tau);$$

$$M_{a_i} = \frac{4 \sin 0,5 \mu_{ai} \bar{l}_i^* \left[\cos \mu_{ai} (\bar{r}_i^* - b_{ai}) \cos \mu_{ai} (\bar{i} - b_{ai}) \right]}{\bar{l}_i^* \left[\mu_{ai} + \sin \mu_{ai} \cos \mu_{ai} (1 - 2b_{ai}) \right]};$$

Таблица 1

Значения коэффициентов теплообмена k

Метод отвода тепла	$k, \frac{Вт}{м^2К}$
Естественная конвекция в воздухе и газах	2-10
Принудительная конвекция в воздухе и газах	10-100
Естественная конвекция в масле	200-300
Принудительная конвекция в масле	300-1000
Естественная конвекция в воде	200-600
Принудительная конвекция в воде	1000-3000
Изменение агрегатного состояния вещества	500-1200000

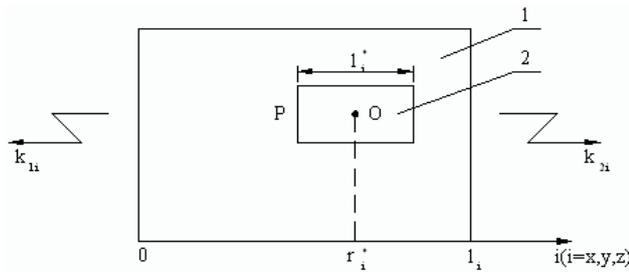


Рис. 1. Тепловая модель ЭА в виде прямоугольного параллелепипеда с источником тепла аналогичной формы: 1 - нагретая зона; 2 - источник тепла

$$\bar{l}_i^* = \frac{l_i^*}{l_i}; \quad \bar{r}_i^* = \frac{r_i^*}{l_i}; \quad \bar{i}_i^* = \frac{i_i^*}{l_i};$$

b_{ai}, μ_{ai} – корни характеристического уравнения $ctg \mu_i \frac{\mu_i^2 - Bi_{1i} Bi_{2i}}{\mu_i (Bi_{1i} + Bi_{2i})}$;

Bi_{1i}, Bi_{2i} – числа Био на противоположных гранях i-ой координаты;

$$R_{ai} = (\bar{\mu}_{ai})^2 \lambda;$$

λ_i – коэффициент теплопроводности нагретой зоны $\frac{Вт}{м^2К}$;
 $i=(x,y,z)$.

Воспользуемся первым членом суммы бесконечного ряда (*) и запишем данное решение для стационарного случая в виде [3]:

$$v(x,y,z) = a_x a_y a_z,$$

где

$$a_x = W_x R_{a_x}^{-1} M_{a_x}; \quad a_y = W_y (R_{a_x}^{-1} R_{a_y} + 1)^{-1} M_{a_y};$$

$$a_z = W_z \left[R_{a_x} (R_{a_x} + R_{a_y})^{-1} + 1 \right]^{-1} M_{a_z};$$

$$W_x W_y W_z = P.$$

Общий коэффициент теплообмена между ЭА и окружающей средой k_{Σ} складывается из составляющих коэффициентов на каждой грани изделия:

$$k_{\Sigma} = \sum_{i=x,y,z} k_i,$$

где $k_i = k_{1i} + k_{2i}$.

Итак, допустим, что конструкция разработана, обоснован способ охлаждения (определен интервал значений k [3, 4]). Необходимо решить одну из задач:

- определить оптимальные значения (минимальные) значения k_i для обеспечения заданного перегрева $v_{зад}$;

- определить минимально возможный перегрев в выбранной точке конструкции и оптимальные коэффициенты k_i при заданном значении k_{Σ} ;

$$k_{\Sigma} = \sum_{i=x,y,z} opt k_i; \quad v_{зад} \geq \prod_{i=x,y,z} a_i; \quad v \geq \min \prod_{i=x,y,z} a_i.$$

Нетрудно заметить, что данная задача может быть решена методом динамического программирования [5]. Для этого выбирается дискретизация значений k_i и заполняются табл. 2 – 4. Далее, используя табл. 2 и доминирующую последовательность из табл. 3, заполняют табл. 5. И, наконец, с помощью доминирующих последовательностей из табл. 4 и табл. 5 заполняют табл. 6, в которой находится окончательная доминирующая последовательность и интересующее решение. Для k_i задача решена. Распределение величины k_i между k_{1i} и k_{2i} может быть осуществлено аналогичным образом.

Таблица 2

k_x	a_x
k_{x1}	a_{x1}
k_{x2}	a_{x2}
...	...
k_{xm}	a_{xm}

Таблица 3

$k_x k_y$	a_y			
	k_{y1}	k_{y2}	...	k_{ym}
k_{y1}	a_{y11}	a_{y21}	...	a_{ym1}
k_{y2}	a_{y12}	a_{y22}	...	a_{ym2}
...
k_{ym}	a_{y1m}	a_{y2m}	...	a_{ymm}

Таблица 4.1

$k_x = k_{x1}$	a_z			
$k_y k_z$	k_{z1}	k_{z2}	...	k_{zm}
k_{y1}	a_{z11}	a_{z12}	...	a_{zm}
k_{y2}	a_{z21}	a_{z22}	...	a_{z2m}
...
k_{ym}	a_{zm1}	a_{zm2}	...	a_{zmm}

Таблица 5

	$a_x a_y$			
$k_x k_y$	k_{y1}	k_{y2}	...	k_{ym}
k_{x1}	$a_{x1} a_{y1}$	$a_{x1} a_{y2}$	...	$a_{x1} a_{ym}$
k_{x2}	$a_{x2} a_{y1}$	$a_{x2} a_{y2}$	...	$a_{x2} a_{ym}$
...
k_{xm}	$a_{xm} a_{y1}$	$a_{xm} a_{y2}$	...	$a_{xm} a_{ym}$

Таблица 4.2

$k_x = k_{x1}$	a_z			
$k_y k_z$	k_{z1}	k_{z2}	...	k_{zm}
k_{y1}	a_{z11}	a_{z12}	...	a_{zm}
k_{y2}	a_{z21}	a_{z22}	...	a_{z2m}
...
k_{ym}	a_{zm1}	a_{zm2}	...	a_{zmm}

Таблица 6

	$(a_x a_y) a_z$			
$k_{(x,y)} k_z$	k_{z1}	k_{z2}	...	k_{zm}
$k_{(x,y)1}$	$(a_x a_y)_1 a_{z1}$	$(a_x a_y)_1 a_{z2}$	...	$(a_x a_y)_1 a_{zm}$
$k_{(x,y)2}$	$(a_x a_y)_2 a_{z1}$	$(a_x a_y)_2 a_{z2}$	...	$(a_x a_y)_2 a_{zm}$
...
$k_{(x,y)m}$	$(a_x a_y)_m a_{z1}$	$(a_x a_y)_m a_{z2}$	...	$(a_x a_y)_m a_{zm}$

Таблица 4.m

$k_x = k_{x1}$	a_z			
$k_y k_z$	k_{z1}	k_{z2}	...	k_{zm}
k_{y1}	a_{z11}	a_{z12}	...	a_{zm}
k_{y2}	a_{z21}	a_{z22}	...	a_{z2m}
...
k_{ym}	a_{zm1}	a_{zm2}	...	a_{zmm}

5. Выводы

В результате решения поставленной задачи мы можем, реализуя конструктивно полученные значения коэффициентов теплообмена на каждой из граней изделия, обеспечить требуемый/оптимальный тепловой режим проектируемого изделия при предварительной реализации других важных критериев конструкции: надежности, габаритов, стоимости и пр.

Литература

1. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н.Б. Варгафтик - Физматгиз, 1963. - 708 с.
2. Азаренков, В.И. Исследование температурного поля радиоэлектронных устройств в стоечном исполнении [Текст] / В.И. Азаренков, И.М. Майко // В кн.: Локальные автоматизированные системы автоматики. Сб. науч. тр. - Киев, 1979. - С. 148-151.
3. Азаренков, В.И. Обеспечение заданного теплового режима при проектировании аппаратуры систем управления [Текст] / В.И. Азаренков // АСУ и приборы автоматики - 1980. - Вып. 56. - С. 126-131.
4. Азаренков, В. И. Методика инженерного расчета конструктивных и теплофизических параметров конструкции радиоэлектронной аппаратуры заданной надежности [Текст] / В. И. Азаренков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - 2008. - Вып. 3/2 (33). - С. 27-31.
5. Беллман, Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман – М., 1960. – 324 с.

Abstract

Based on the solution of the heat equation for a rectangular parallelepiped with similar heat sources and taking into account specified thermal condition of a product, an engineering method for radio-electronic equipment structural design is presented. Allowable or maximum operating temperature, cooling method, reliability, weight, geometric construction or the final cost of the product may all act as limiting factors. A dynamic programming method was used to determine the optimal heat transfer coefficients between the faces of the heated zone and the surrounding medium. The search for ultimate solution gives ground for technical devices design, i.e. the construction design values, which would allow to create products that meet the specified thermal criteria requirements without major rework

Keywords: modeling, thermal condition, heat exchange optimization