

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПРИ ТЕПЛОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЕРМЕТИЧНЫХ БЛОКОВ

В. Н. Крищук, Г. Н. Шило, Ю. А. Лопатка, Н. П. Гапоненко

*Запорожский национальный технический университет,
69063, Запорожье, Украина
E-mail: emiliax@mail.ru*

Рассматривается влияние принципа размещения печатных плат на тепловой режим герметичных блоков этажерочной конструкции. Описаны особенности теплоотвода в герметичных блоках. Предложен метод оптимизации размещения плат с учетом различной мощности рассеяния теплоты функциональными узлами, разработанный с использованием программных средств инженерного анализа для моделирования тепловых процессов.

Ключевые слова: *тепловое проектирование, размещение печатных плат, герметичный блок, оптимизация, программные средства.*

Важной задачей при проектировании радиоэлектронной аппаратуры является обеспечение максимальной плотности компоновки электрорадиоэлементов с сохранением высокой степени надежности [1]. Увеличение плотности компоновки и мощности рассеяния теплоты электрорадиоэлементами существенно ухудшает тепловой режим и, как следствие, приводит к увеличению массогабаритных показателей радиоэлектронной аппаратуры. Вопрос минимизации объема и массы особенно важен для бортовой авиационной аппаратуры, где используются герметичные блоки этажерочной конструкции [2].

Улучшить тепловой режим герметичных блоков этажерочной конструкции возможно за счет уменьшения перепада температуры между поверхностью корпуса и внешней средой, а также перепада температуры в блоке, который определяется как сумма перепадов температур плат и внутренних теплоотводящих элементов. На перепад температуры на внутренних теплоотводящих элементах влияет взаимное расположение источников тепла в блоке, что при нерациональном размещении функциональных узлов может привести к значительному перегреву блоков.

Задача размещения функциональных узлов в блоке до настоящего времени рассматривалась только с точки зрения оптимизации связей между ними [3, 4]. Разработка методов размещения функциональных узлов для оптимизации тепловых режимов затруднена в связи с тем, что традиционные методы расчета тепловых режимов основываются на модели трех тел и статистической обработке результатов измерения температур реальных блоков. Для повышения точности теплового проектирования необходимо в тепловых моделях учитывать конструкции блоков. Такие расчеты могут проводиться с использованием средств инженерного анализа [5, 6], которые в последнее время применялись, в частности, для оптимизации тепловых режимов радиаторов [7, 8]. Известны результаты исследования массогабаритных и тепловых характеристик герметичных блоков этажерочной конструкции [9]. Однако вопросы оптимизации размещения печатных плат в блоках с учетом мощности рассеяния теплоты каждой платой ранее не рассматривались.

В настоящей статье предложен метод оптимизации размещения печатных плат в герметичных блоках этажерочной конструкции с учетом мощности рассеяния каждой из них, разработанный с применением программных средств моделирования тепловых процессов.

Реализация предлагаемого метода предусматривает выполнение следующих задач:

- создание тепловой модели герметичного блока этажерочной конструкции;
- анализ особенностей теплоотвода в герметичных блоках;
- разработка алгоритма оптимизации размещения печатных плат в блоке;
- обсуждение особенностей применения метода.

Исследования тепловых режимов герметичных блоков этажерочной конструкции проводились с использованием тепловой модели, при этом учитывалось, что блок содержит большое количество конструктивных элементов, в том числе: печатные платы с электрорадиоэлементами, элементы крепления печатных плат, соединители, элементы объемного монтажа и т.д. Размеры этих элементов могут различаться в сотни и тысячи раз. Достаточная точность моделирования тепловых процессов в таких конструкциях не может быть описана современными компьютерными средствами. Поэтому при создании тепловой модели были исключены:

- конструктивные элементы, которые не влияют на распределение температур в блоке;
- локальные возмущения температур в печатных платах вблизи электрорадиоэлементов;
- элементы крепления блоков в аппаратуре.

Принятые допущения позволяют в тепловой модели не учитывать элементы объемного монтажа и соединители и рассматривать равномерное распределение мощности по поверхности печатной платы. Габариты электрорадиоэлементов компенсируются соответствующим расстоянием между печатными платами. В конструкции также отражено, что все платы имеют одинаковые размеры. Влияние металлизации печатной платы на тепловые процессы учитывается анизотропным коэффициентом теплопроводности. При моделировании теплообмен между блоком и внешней средой задавался только конвекцией и излучением. Предполагалось, что влияние на распределение температур внутри блока оказывала также теплопередача теплопроводностью по элементам крепления функциональных узлов.

Модель герметичного блока с принятыми допущениями приведена на рис. 1, где 1 — крышка корпуса, 2 — печатные платы, 3 — стойка, 4 — основание корпуса; стрелками показаны основные направления отвода тепла.

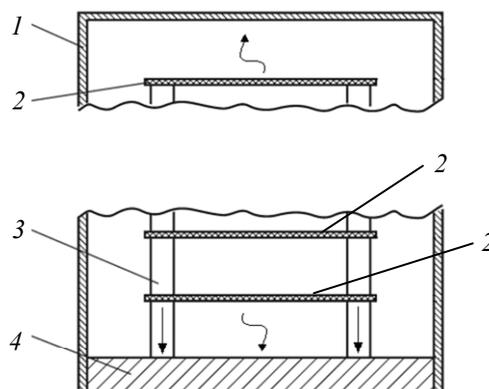


Рис. 1

Исследование тепловых режимов проводилось с помощью программного комплекса SolidWorks, модуль Flow Simulation. В результате анализа температуры плат установлено, что ее максимальное значение зависит от мощности рассеяния и принципа размещения плат. Теплопередача от верхней (наружной) поверхности платы происходит конвекцией и излучением к поверхности корпуса со значительно меньшей температурой, что улучшает теплоотвод и, как следствие, способствует снижению температуры верхней платы. Теплоотдача конвекцией и излучением от внутренней поверхности плат осуществляется в пространстве с более высокой температурой, что обуславливает повышение температуры плат. Также установлено, что температура корпуса практически одинакова при любом варианте размещения плат в блоке.

Поэтому для оптимизации их размещения целесообразно учитывать лишь перепад температуры в блоке, который определяется разностью его максимальной температуры и температуры основания корпуса.

Задача оптимизации размещения плат в блоке с учетом их теплового режима может быть решена методом перебора, что приводит, однако, к значительным временным затратам на проектирование блока. Для сокращения времени проектирования следует учитывать особенности теплопередачи в блоке: в частности, платы с повышенной мощностью рассеяния следует располагать в верхней и нижней частях блока. Этот метод используется в алгоритме сортировки [10], который адаптирован к задаче размещения функциональных узлов. Для оптимизации размещения могут использоваться также алгоритмы сортировки с последующим исключением плат, для которых оптимальное расположение определено с помощью критерия

$$T_{\max j} = \min \{T_{\max ji}\},$$

где $T_{\max ji}$ — максимальное значение температуры в блоке при i -м варианте размещения плат в j -м наборе.

С учетом особенностей распределения температур в блоке и выбранного критерия предлагаемый алгоритм оптимизации размещения печатных плат с учетом мощности рассеяния имеет следующий вид.

Шаг 1. Производится ранжирование печатных плат по мощности рассеяния.

Шаг 2. Задается вариант размещения наиболее мощного элемента в верхней части ранжированного ряда и определяется максимальная температура в блоке.

Шаг 3. Анализируются максимальные температуры в блоке при последовательной установке следующих мощных элементов на верхнюю позицию ряда. Если анализ максимальных температур в блоке при последовательном изменении элемента, располагаемого на верхней позиции, не завершен, то осуществляется переход к шагу 2. Иначе — в соответствии с вышеприведенным критерием — выбирается плата и устанавливается на верхнюю позицию ранжированного ряда.

Шаг 4. Из ряда печатных плат исключаются платы, для которых выбрано оптимальное расположение. Если установка всех элементов не завершена, то осуществляется переход к шагу 2, иначе — окончание работы алгоритма.

Объем вычислений может быть уменьшен, если на шаге 2 проводить сравнение температур в блоке при каждом этапе перемещения плат на верхнюю позицию ряда. В случае когда температура в блоке при последующем варианте перемещения плат превышает температуру при предыдущем варианте, необходимость в перемещении оставшихся плат отсутствует. Определение оптимального расположения плат в блоке осуществляется в соответствии с шагом 3. Позиции плат, находящихся ниже платы, для которой определено оптимальное расположение, устанавливаются как оптимальные, и эти платы также исключаются из ряда печатных плат, подлежащих оптимизации.

Реализация алгоритма рассмотрена на модели герметичного блока этажерочной конструкции при следующих заданных параметрах: количество печатных плат $n = 5$; расстояние между платами $l_{\text{п}} = 20$ мм; диаметр стоек $d = 10$ мм; толщина основания корпуса $h_0 = 7$ мм, толщина крышки корпуса и плат $h_{\text{к}} = h_{\text{п}} = 2$ мм; расстояние от края платы до крышки корпуса $l = 10$ мм; общая монтажная площадь электрорадиоэлементов $S = 0,04$ м²; коэффициент черноты поверхностей $\varepsilon = 0,91$; коэффициент теплопроводности стоек и корпуса $\lambda_{\text{к}} = 140$ Вт/м·К, коэффициент теплопроводности печатных плат $\lambda_{\text{п}} = 3(40)$ Вт/м·К в аксиальном и радиальном направлениях соответственно; мощность рассеяния $P_1 = 3,0$ Вт, $P_2 = 2,5$ Вт, $P_3 = 2,0$ Вт, $P_4 = 1,5$ Вт, $P_5 = 1,0$ Вт. Температура окружающей среды $T = 50$ °С.

Результаты применения предложенного алгоритма приведены на рис. 2, где показано распределение мощности по блоку (рис. 2, а) и соответствующее ему распределение температуры в блоке (рис. 2, б), а обозначения 1, 2 и 3 соответствуют наихудшему, ранжированному и оптимальному варианту расположения плат. Перепад температуры в блоке относительно температуры корпуса при варианте 1 составляет 21,5 °С, при варианте 2 — 15,2 °С, при варианте 3 — 14,0 °С. Оптимальный вариант размещения плат в блоке позволяет уменьшить перепад температуры по сравнению с наихудшим вариантом на 7,5 °С (54 %), а ранжированный вариант — на 6,3 °С (41 %).

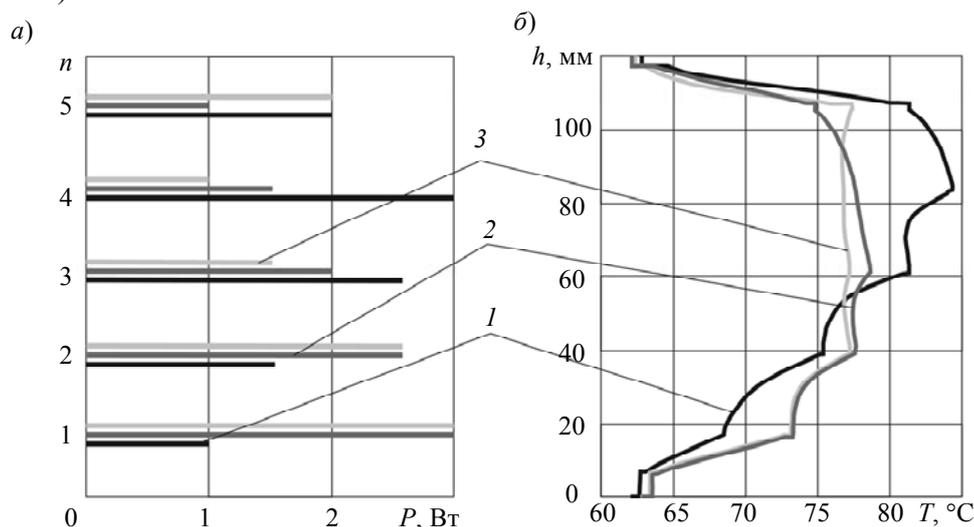


Рис. 2

Приведенный алгоритм может использоваться как один из этапов оптимизации объема блока в случае, когда распределение мощности в блоке неоднородно. Для оптимизации тепловых режимов блока необходимо учитывать локальные распределения температур вблизи электрорадиоэлементов, а также оптимизировать выбор расстояний между платами, диаметра стоек и количества печатных плат. Следует учитывать, что применение алгоритма может быть ограничено в связи с невозможностью изменить размещение плат в блоке вследствие увеличения длины межсоединений и увеличения электромагнитных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кольтюков Н. А., Белоусов О. А. Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009.
2. Белоусов Е. Л., Ушкар М. Н. Конструирование блоков бортовой авиационной аппаратуры связи. Нижний Новгород: НГТУ, 2005.
3. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат. М.: Форум, Инфра-М, 2005.
4. Меркухин Е. Н. Использование графовых моделей пространства допустимых решений в задаче размещения электронных элементов // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 5. С. 56—61.
5. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК-Пресс, 2010.
6. Lombard M. SolidWorks 2013 Bible. John Wiley & Sons Inc., 2013.
7. Гапоненко Н. П., Огренич Е. В. Проектирование пластинчатых радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. 2007. № 1. С. 32—35.
8. Шило Г. Н., Гапоненко Н. П., Огренич Е. В. Проектирование радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2011. № 1—2. С. 30—33.
9. Шило Г. М., Сиротюк О. В., Савелло О. С., Лопатка Ю. А., Арсикін Є. К., Гапоненко М. П. Дослідження массогабаритних і теплових характеристик герметичних блоків радіоелектронної апаратури // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. 2013. № 2. С. 42—47.

10. Седжвик Р. Элементарные методы сортировки // Алгоритмы на C++. М.: Изд. дом „Вильямс“, 2011. С. 246—247.

Сведения об авторах

- Владимир Николаевич Крищук** — канд. техн. наук, профессор; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств
- Галина Николаевна Шило** — канд. техн. наук, доцент; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств; E-mail: shilo.gn@gmail.com
- Юлия Анатольевна Лопатка** — аспирант; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств; E-mail: emiliax@mail.ru
- Николай Прокофьевич Гапоненко** — канд. техн. наук, доцент; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств

Рекомендована кафедрой
информационных технологий
электронных средств

Поступила в редакцию
26.03.15 г.

Ссылка для цитирования: Крищук В. Н., Шило Г. Н., Лопатка Ю. А., Гапоненко Н. П. Оптимизация размещения печатных плат при тепловом проектировании герметичных блоков // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 576—580.

PLACEMENT OPTIMIZATION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS IN THERMAL DESIGN OF HERMETICALLY SEALED UNIT

V. N. Krishchuk, G. N. Shilo, Yu. A. Lopatka, N. P. Gaponenko

Zaporizhian National Technical University,
69063, Zaporozhye, Ukraine
E-mail: emiliax@mail.ru

The influence of placing of printed circuit boards on thermal conditions of stack package is considered. Peculiarities of heat removal in hermetically sealed unit are described. A method for optimizing the boards placing with due regard for differences between heat power dissipated by separate functional units is developed with the use of a CAE system for simulation of thermal conditions.

Keywords: thermal design, placing printed circuit boards, hermetically sealed unit, optimization, software.

Data on authors

- Vladimir N. Krishchuk** — PhD, Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices
- Galina N. Shilo** — PhD, Associate Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices; E-mail: shilo.gn@gmail.com
- Yuliya A. Lopatka** — Post-Graduate Student; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices; E-mail: emiliax@mail.ru
- Nikolay P. Gaponenko** — PhD, Associate Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices

Reference for citation: Krishchuk V. N., Shilo G. N., Lopatka Yu. A., Gaponenko N. P. Placement optimization of printed circuit boards in thermal design of hermetically sealed unit // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 7. P. 576—580 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-576-580