

УДК 621.396.6

ОПТИМИЗАЦИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЛОКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С ЕСТЕСТВЕННЫМ ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

К. т. н. Г. Н. Шило, Е. К. Арешкин, к. т. н. Н. П. Гапоненко

Запорожский национальный технический университет
Украина, г. Запорожье
nvrevan@gmail.com

Созданы математические модели массогабаритных и тепловых характеристик блока. Получены соотношения для определения оптимального количества печатных плат. Разработан алгоритм оптимизации массогабаритных показателей блоков радиоэлектронной аппаратуры с естественным воздушным охлаждением. Моделируется распределение температуры в блоке средствами инженерного анализа.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, тепловое проектирование, математические модели, естественная конвекция, оптимизация массогабаритных показателей.

Активное развитие радиоэлектронных систем приводит к усложнению системотехнических и схемотехнических решений, росту количества электрорадиоэлементов и увеличению энергетических затрат на функционирование радиоэлектронных аппаратов. Эти особенности привели к значительному ужесточению требований к массогабаритным показателям аппаратов, которые определяются в процессе их компоновки с учетом условий обеспечения тепловых режимов всех электрорадиоэлементов [1].

До недавнего времени анализ тепловых режимов блоков при проектировании радиоэлектронной аппаратуры проводился с помощью коэффициентных методов, использующих результаты реальных экспериментальных исследований [2]. Такие методы не позволяют учесть реальную конструкцию блока, что приводит к значительным погрешностям. Повышения точности теплового проектирования удалось добиться с появлением компьютерных средств инженерного анализа, которые дают возможность проводить моделирование тепловых процессов в радиоэлектронной аппаратуре и позволяют отказаться от дорогостоящих и длительных экспериментальных исследований [3]. Применение этих средств позволило провести исследование тепловых характеристик блоков радиоэлектронных аппаратов с естественным воздушным охлаждением [4], однако для оптимизации их массогабаритных характеристик ранее такие методы не использовались.

Целью работы является разработка методов и алгоритмов оптимизации массогабаритных показателей блоков радиоэлектронных аппаратов с естественным воздушным охлаждением с использованием программных средств инженерного анализа. Для решения поставленной задачи необходимо:

- разработать упрощенную геометрическую и тепловую модели блоков;
- провести исследование массогабаритных и тепловых характеристик блоков;
- разработать математические модели массогабаритных и тепловых характеристик блока;
- разработать метод и алгоритм оптимизации массогабаритных показателей блока в соответствии с выбранной стратегией оптимизации.

При анализе массогабаритных и тепловых показателей блоков радиоэлектронной аппаратуры с естественным воздушным охлаждением использовалась упрощенная геометрическая модель блока, которая не учитывает массу и габариты электрорадиоэлементов, соединителей и элементов объемного монтажа. Была выбрана рама из уголкового алюминиевого профиля. Печатные платы имели одинаковые размеры и ориентированы в блоке вертикально. Перфорационные отверстия располагались на крышках и боковых стенках корпуса.

Для исследования тепловых процессов была создана тепловая модель блока, в которой использовались следующие допущения:

- отвод тепла от блока в окружающую среду происходит только конвекцией и излучением;
- плотность теплового потока по поверхности печатных плат распределена одинаково и равномерно на всех платах;
- наличие металлизации многослойных печатных плат учитывалось анизотропностью коэффициентов теплопроводности в аксиальном и радиальном направлениях.

Исследование массогабаритных характеристик проводилось для блока с общей монтажной площадью электрорадиоэлементов $S_3 = 0,038 \text{ м}^2$. Задавалась также толщина стенок и крышек корпуса $d_k = 1 \text{ мм}$, толщина плат $d_n = 2 \text{ мм}$, рамы $d_p = 5 \text{ мм}$, расстояние от стенки корпуса до платы $l_T = 5 \text{ мм}$. Высота направляющей составляла 5 мм. Пределы изменения расстояния между платами ограничивались минимальной компоновкой, которой соответствовало расстояние $h_n = 5 \text{ мм}$, и максимальной компоновкой с расстоянием $h_n = 40 \text{ мм}$.

Исследование тепловых процессов проводилось при количестве плат $n = 5$. Задавалась температура окружающей среды 50°C и коэффициент черноты всех поверхностей 0,91. Коэффициент теплопроводности рамы, направляющих, стенок и крышек корпуса принимался равным $140 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Коэффициент теплопроводности многослойных печатных плат составлял $3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ в аксиальном направлении и $40 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ в радиальном. Общая мощность, рассеиваемая всеми печатными платами, составляла $P_0 = 75 \text{ Вт}$.

При решении оптимизационной задачи использовались математические модели зависимости объема и теплового сопротивления блока от количества плат, расстояния между платами и ширины направляющих. Параметры, определенные с помощью оптимизационных соотношений, включают коэффициенты моделей, которые имеют нелинейную зависимость. Поэтому при оптимизации массогабаритных показателей блока необходимо использовать итерационный алгоритм.

На первом этапе алгоритма определяются начальные значения оптимизируемых параметров с помощью математических моделей массогабаритных и тепловых характеристик. Далее проводится моделирование тепловых режимов блока при начальных значениях конструктивных параметров и проверяется условие обеспечения тепловых режимов. Если условие не выполняется, то с помощью оптимизационных соотношений определяются новые значения количества плат, расстояния между платами и ширины направляющих. Проверяется условие близости максимальной температуры в блоке к максимально допустимой температуре. Если условие выполняется – алгоритм завершается с выводами об оптимальных значениях конструктивных параметров блока. Предложенный алгоритм оказался эффективным для оптимизации как объема, так и массы блока. Применение алгоритма позволило уменьшить объем блока примерно на 50%, а его массу более чем на 30% по сравнению с максимальной компоновкой.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Борисов Ю. И. Динамика радиоэлектроники. – Москва: Техно сфера, 2007.
2. Роткоп Л. Л. Спокойный Ю. Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – Москва: Советское радио, 1976.
3. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – Москва: ДМК, 2010.
4. Шило Г. Н., Арешкин Е. К., Гапоненко Н. П. Исследование массогабаритных и тепловых характеристик блоков радиоэлектронной аппаратуры с естественным воздушным охлаждением // Прикладная радиоэлектроника. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 419–424.

G. N. Shilo, E. K. Areshkin, N. P. Gaponenko

Optimization of weight-and-size characteristics of radio-electronic devices packages with natural air cooling.

Mathematical models of weight-and-size characteristics of radio-electronic devices are created. Equations to determine the optimal number of printed circuit boards are obtained. An algorithm for optimization weight-and-size characteristics of radio-electronic devices with natural air cooling is developed. Heat treatment of radio-electronic devices is modeled by CAE system.

Keywords: *radio-electronic devices, thermal design, mathematical models, natural convection, weight-and-size optimization.*