

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

РАДИОЕЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 621.396.6.017:004.942

Н. П. Гапоненко, Е. В. Огренич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОФРИРОВАННЫХ ТЕПЛОТВОДОВ

Исследуются процессы теплоотдачи в гофрированных теплоотводах. Получены зависимости коэффициентов теплоотдачи конвекцией и излучением от угла гофрирования. Показана возможность оптимизации массогабаритных показателей. Предложен алгоритм проектирования.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловой режим теплонагруженных элементов в радиоэлектронной аппаратуре в большинстве случаев обеспечивается применением теплоотводящих устройств или вынужденным охлаждением. Оба эти пути влияют на массогабаритные показатели радиоаппаратуры, требуют ресурсных затрат и оптимизации конструкций теплоотводящих устройств.

Одним из наиболее распространенных теплоотводящих устройств является радиатор. Существует большое количество конструкций радиаторов [1, 2], что не позволяет в общем виде решить задачу оптимизации их массогабаритных показателей. Исследованы только простые элементы конструкций [3], для которых показана возможность уменьшения массы в несколько раз. Оптимизация таких элементов при использовании комплексных массогабаритных критериев рассмотрена в [4]. В большинстве случаев это значительно увеличивает

площадь, которую занимают теплоотводящие элементы на печатных платах.

Уменьшение площади может осуществляться переходом к пространственным формам теплоотводящих элементов, например с гофрированными поверхностями. Расчет тепловых процессов в таких теплоотводах может проводиться средствами инженерного анализа [5, 6], которые позволяют учитывать нелинейные свойства теплоотдачи конвекцией и излучением. К сожалению, решение задач теплопереноса этими средствами требует значительных временных ресурсов, что затрудняет их использование в алгоритмах оптимизации.

Целью работы является сокращение времени проектирования гофрированных теплоотводов с помощью средств инженерного анализа. Для решения этой задачи, в первую очередь, необходимо значительно уменьшить время анализа тепловых режимов программными средствами. Такая возможность представляется, если известны аналитические соотношения для коэффициентов теплоотдачи. Эти соотношения могут быть получены обработкой результатов моделирования тепловых процессов компьютерными средствами инженерного анализа, которые позволяют отказаться от трудоемких и дорогостоящих экспериментальных исследований.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОТДАЧИ

При переходе от плоских форм к гофрированным поверхностям можно обеспечить различные формы гофр. Наиболее простыми из них являются поверхности с прямоугольными и треугольными гофрами (рис. 1), где 1 – источник тепла; 2 – поверхность теплоотвода.

Теплоотводы с прямоугольными гофрами (рис. 1, а) могут применяться при значительных расстояниях между теплоотводящей поверхностью и другими элементами в электронных аппаратах, когда отсутствует ограничение на межплатное расстояние. При наличии таких ограничений на высоту радиатора более эффективно использование теплоотводящих поверхностей с треугольным профилем (рис. 1, б).

Исследование влияния параметров теплоотвода на коэффициенты теплоотдачи проводилось программными средствами [5] для гофрированных теплоотводов с треугольным профилем. Основными параметрами таких конструкций являются ширина пластины B и толщина d пластины, высота гофр h , угол гофрирования γ . Эти параметры связаны с шагом гофрирования и длиной развертки соотношениями:

$$\gamma = \arctg \frac{s}{2h}; \quad l = 2h \cos \frac{\gamma}{2},$$

где s – шаг гофрирования; l – длина развертки одного гофра.

В качестве модели использовалась одна секция гофр с толщиной $d = 1$ мм, шириной $B = 40$ мм. Через внешние поверхности теплоотвод отсутствовал, поверхность гофр была изотермической. Угол гофрирования изменялся от $7,5^\circ$ до 180° . Температура поверхности гофр задавалась постоянной 60°C и 80°C , температура окружающей среды составляла $t_{\text{ат}} = 40^\circ\text{C}$. Движение

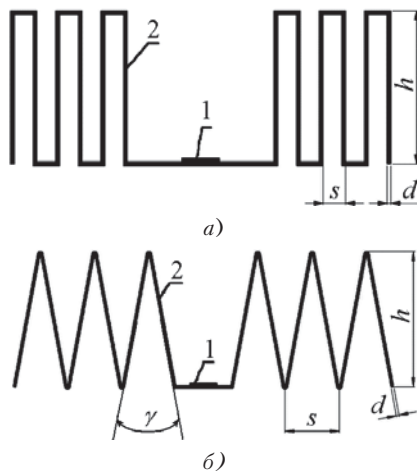


Рисунок 1 – Гофрированные теплоотводы с прямоугольными и треугольными гофрами

теплоносителя осуществлялось в каналах, формируемых гофрами, что соответствует вертикальному расположению теплоотвода.

Зависимости коэффициента теплоотдачи конвекцией при естественном охлаждении и длине развертки $l = 120$ мм имеют вид, показанный на рис. 2, где α_c – коэффициент теплоотдачи конвекцией, t_g – температура гофрированной поверхности.

Полученные зависимости нормировались коэффициентами теплоотдачи теплоотвода при $\gamma = 180^\circ$. В результате аппроксимации получено выражение для коэффициента теплоотдачи конвекцией:

$$\alpha_c = \alpha_{c0} \cdot \left[1 + \frac{1}{l} \cdot \left(1,68 \cdot 10^{-3} + \frac{0,284}{\gamma} \right) \right], \quad (1)$$

где α_{c0} – коэффициент теплоотдачи конвекцией при $\gamma = 180^\circ\text{C}$.

Для расчета α_{c0} использовались известные соотношения [1]. Выражение (1) обеспечивает точность расчета коэффициента теплоотдачи не хуже $0,5\%$.

Зависимость коэффициента теплоотдачи излучением α_r от угла гофр представлена на рис. 3. Полученные зависимости нормировались относительно угла $\gamma = 180^\circ$ и аппроксимировались выражениями:

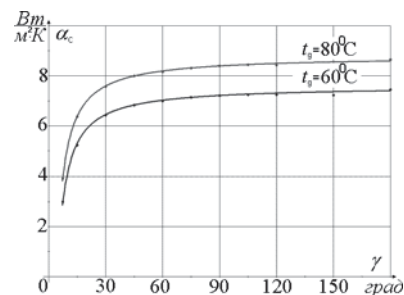


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплоотдачи конвекцией от угла гофра

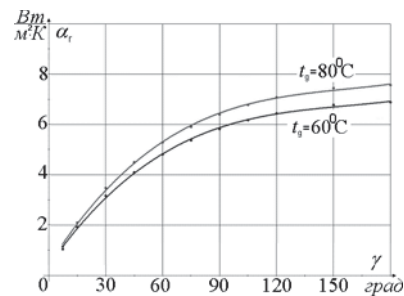


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплоотдачи излучением от угла гофра

$$\alpha_r = \alpha_{r0} \cdot \left[\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + \left[\sin^{-1} \frac{\gamma}{2} - \left(1 - \sqrt{1 + \left(\frac{2B}{l} \right)^2} - \frac{2B}{l} \right)^{-1} \right] \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \left(\frac{2B}{l} \right)^2} - \frac{2B}{l} \right)^{-1} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где α_{r0} – коэффициент теплоотдачи излучением при $\gamma = 180^\circ$; ε – коэффициент черноты поверхности теплоотвода.

Для расчета α_{r0} использовались известные соотношения [1]. Выражение (2) обеспечивает точность расчета α_r не хуже 2 %. При необходимости увеличения точности расчет радиационной составляющей теплоотвода может проводиться инженерными средствами проектирования, в которых эта составляющая рассчитывается значительно быстрее, чем конвективная. Соотношения (1) и (2) позволяют значительно сократить время вычислений и использовать для оптимизации гофрированных теплоотводов обычные компьютерные средства.

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОФРИРОВАННОГО ТЕПЛОТВОДА

Тепловая модель гофрированного теплоотвода может быть представлена в виде ребра с различными коэффициентами теплоотдачи в центре и на краях теплоотвода (рис. 4), где P – мощность источника тепла, α_{ext} , α_{int} – коэффициенты теплоотдачи на краях и в центре теплоотвода, L – длина развертки теплоотвода. Коэффициент α_{int} определяется с помощью соотношений (1) и (2). Коэффициент α_{ext} определяется как сумма коэффициентов теплоотдачи с гофрированной поверхности и поверхности в неограниченном пространстве.

Тепловая модель, изображенная на рис. 4, пересчитывается к однородной модели при усредненном коэффициенте теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{2}{n} \alpha_{ext} + \frac{n-2}{n} \alpha_{int}, \quad (3)$$

где n – количество граней радиатора.

В этом случае распределение температуры в теплоотводе имеет вид:

$$\theta(x) = \frac{P}{\lambda b S} \cdot \frac{\text{ch}[b(L-x)]}{\text{sh}(bL)}; \quad b^2 = \frac{\alpha U}{\lambda S}, \quad (4)$$

где $\theta(x)$ – перепад температуры между теплоотводом и окружающей средой; λ – коэффициент теплопроводности материала; $S = dB$ – площадь поперечного сечения теплоотвода; $U = 2(d+B)$ – периметр поперечного сечения теплоотвода.

Итерационный алгоритм проектирования теплоотвода с минимальными массогабаритными показателями (MS-стратегия), учитывающий нелинейную зависимость коэффициентов теплоотдачи, имеет вид:

Шаг 1. Уточняется значение угла γ ;

Шаг 2. Уточняется значение толщины теплоотвода $d^{(i)}$;

Шаг 3. Уточняется L из условия обеспечения теплового режима:

$$L = \frac{1}{b} \text{acth} \left(\theta_m \frac{\lambda b S}{P} \right),$$

где $\theta_m = \theta(0)$;

Шаг 4. Рассчитывается критерий $m^{(i)} \cdot S^{(i)}$;

Шаг 5. Проверяется условие:

$$m^{(i)} \cdot S^{(i)} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Если условие (5) не выполняется, то переход на шаг 2;

Шаг 6. Проверяется условие:

$$\left| \frac{d^{(i)} - d^{(i-1)}}{d^{(i-1)}} \right| \leq \varepsilon, \quad (6)$$

где ε – точность вычислений.

Если условие (6) не выполняется, то переход на шаг 1. Иначе – конец алгоритма.

Методика применялась для проектирования алюминиевого теплоотвода при $B = 40$ мм. Мощность источника тепла задавалась 2 Вт. Полученные зависимости приведены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что применение гофрированных поверхностей позволяет уменьшить MS-критерий теплоотводов примерно в 2 раза. При этом длина теплоотвода уменьшается в 6 раз по сравнению с первоначальной. Масса теплоотвода увеличилась всего в 1,7 раза.

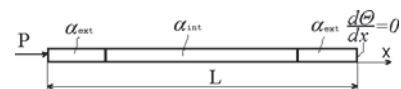


Рисунок 4 – Тепловая модель

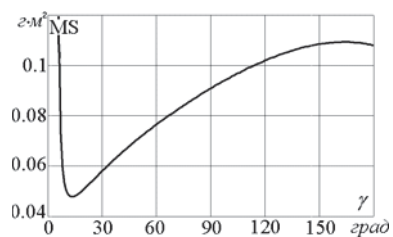


Рисунок 5 – Зависимость MS-критерия от угла гофр γ

ВЫВОДЫ

Анализ процессов теплоотдачи в гофрированных теплоотводах показал, что зависимости коэффициентов теплоотдачи от угла гофрирования легко нормируются относительно соответствующих значений для плоских поверхностей. Результаты аппроксимации представлены простыми выражениями, что позволяет использовать их в алгоритмах оптимизации массогабаритных параметров без применения инженерных средств проектирования.

Применение процедур оптимизации показало, что в гофрированных теплоотводах возможно уменьшение массогабаритных показателей более чем в 2 раза. При этом площадь, занимаемая теплоотводом на плате, уменьшается почти в 6 раз. Изменение массы обратно пропорционально изменению MS-критерия.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Дульнев Р. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Высш. шк., 1984. – 247 с.

УДК 621.372.011.72

С. П. Гулин

АНАЛИЗ СПЕКТРА ОТКЛИКА НЕЛИНЕЙНОСТИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ ФУНКЦИЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО НАСЫЩЕНИЯ, ПРИ МНОГОЧАСТОТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Предложен метод анализа спектра установившегося отклика нелинейности, представленной аналитической трансцендентной функцией, при многочастотном воздействии на основе гипергеометрической функции Гаусса. Полученные результаты позволяют моделировать поведение широкого класса электронных устройств и компонентов в режимах малого и большого сигналов с произвольным спектром.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При анализе электронных систем в целом часто возникает необходимость исследовать работу отдельных функциональных узлов, работающих в нелинейных режимах при многочастотном воздействии в широком диапазоне изменения его нормы.

Для моделирования режимов работы указанных объектов исследования применяются математические модели с использованием функций, которые позволяют решать поставленную задачу с различной степенью

2. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Советское радио, 1976. – 232 с.
3. Ройзен Л. И., Дулькин И. Н. Теловой расчет оребренных поверхностей. под. ред. В. Г. Фастовского. – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
4. Garonenko N., Ogrenich E. Strategy of flanged radiators design // Proceedings of the International Conference TCSET'2006. – P. 554–556.
5. Алямовский А. А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
6. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

Надійшла 12.09.07
Після доробки 15.10.07

Досліджуються процеси тепловіддачі в гофрованих тепловідводах. Отримані залежності коефіцієнтів тепловіддачі конвекцією та випромінюванням в залежності від кута гофрування. Показана можливість оптимізації массогабаритних показників. Запропонован алгоритм проектування.

Heat transfer in goffered heat sink are studied. Dependencies of heat transfer coefficients on goffered angle are obtained. The possibility of optimizing mass and size characteristics is shown. A new design algorithm is proposed.

точности, однако не обладают достаточной степенью гибкости для изменения их формы. В последние годы при решении подобных задач наметилось новое направление, связанное с концепцией «управляемого динамического насыщения» (КУДН) [1–5]. В одной из работ указанного направления А. Д. Канном [1] была предложена модель динамического насыщения безынерционного усилителя, которая описывается функцией вида

$$Y(X) = A \cdot \operatorname{sgn}(X) \cdot [1 + (B/|X|)^S]^{-1/S}, \quad (1)$$

где X и Y – входное и выходное напряжения, а B и A – их уровни насыщения; S – параметр, регулирующий кривизну годографа (1).

Необходимо отметить, что модель А. Д. Канны (1) не является пионерской в использовании и развитии принципа «динамического насыщения». Достаточно

© Гулин С. П., 2007