

ВЛИЯНИЕ ОБЪЁМА НАГРЕТОЙ ЗОНЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА МАКСИМАЛЬНЫЙ ПЕРЕГРЕВ АППАРАТА

НЕВЛЮДОВ И. Ш., СИНОТИН А. М.

Приводятся результаты исследования влияния объёма нагретой зоны и интенсивности системы поверхностного охлаждения на максимальный перегрев аппарата.

Для создания надежных и компактных радиоэлектронных аппаратов, наряду с созданием электрических схем, необходимо учитывать температурный режим элементов будущей конструкции.

Влияние объёма аппарата на максимальный перегрев прибора можно выразить через начальный параметр F_0 :

$$F_0 = \frac{P_0}{\vartheta_0} \cdot \frac{1}{4\lambda \cdot \sqrt[3]{V}} \cdot \frac{0,82A_0^3}{3\mu_0^2}; \quad (1)$$

$$Bi_0 = \frac{K_0}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{V}, \quad (2)$$

где P_0 — суммарная мощность источников тепла, Вт; ϑ_0 — максимальный допустимый перегрев прибора, град; λ_0 — эффективная теплопроводность при отсутствии теплостоков при газовом заполнителе, Вт/м·град; V — объём нагретой зоны, м³; A_0, μ_0 — амплитуда и собственные значения характеристического уравнения при Bi_0 ; K_0 — средний поверхностный коэффициент теплопередачи, Вт/м²·град.

Начальный параметр F_0 характеризует тепловой режим следующей конструкции РЭА:

— нагретая зона имеет форму куба

$$\xi_{X_0} = \xi_{Y_0} = \xi_{Z_0} = 1,$$

где $\xi_{I_0} = 2l_{\text{min}} / 2l_i, i = X, Y, Z;$ (3)

— анизотропность по теплопроводности в объёме и теплообмену на поверхностях отсутствует:

$$\lambda_X = \lambda_Y = \lambda_Z = \lambda_0; K_X = K_Y = K_Z = K_0;$$

— кондуктивные теплостоки отсутствуют $\lambda_{\text{max}} = \lambda_0$;

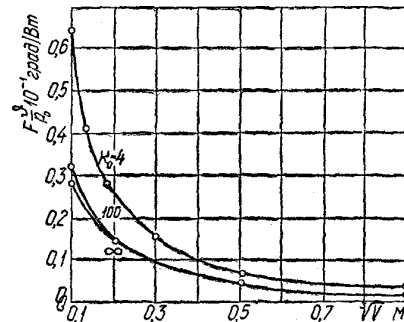
— мощность источников тепла распределена равномерно.

На рисунке приведена зависимость параметра $F_0 \cdot \vartheta_0 / P_0 \cdot 10^2$ от объёма нагретой зоны прибора и коэффициента теплопередачи K_0 , характеризую-

щего систему поверхностного охлаждения для аппаратов с эффективной теплопроводностью $\lambda_0 = 0,2$ Вт/м·град [1]. Из графиков следует, что начальный параметр F_0 можно минимизировать путем уменьшения отношения P_0 / ϑ_0 , увеличения объёма нагретой зоны V и интенсивности поверхностного теплообмена K_0 .

Рассмотрим каждый фактор в отдельности.

Уменьшение отношения P_0 / ϑ_0 вызывает определенные требования к разработке электрической схемы аппарата.



Зависимость начального параметра F_0 от объёма нагретой зоны ($\sqrt[3]{V}$) и интенсивности поверхностного теплообмена K_0 при $\lambda_0 = 0,2$ Вт/м·град

Для реализации схемных решений целесообразно выбирать элементную базу с наименьшей потребляемой мощностью и материалы с высокой температуростойкостью. В случае необходимости использования отдельных элементов с малой допустимой температурой перегрева ϑ_0 желательно выделять эти элементы в самостоятельную группу, чтобы не усложнять обеспечение заданного теплового режима конструкции прибора в целом. Это замечание очень важно учитывать при выборе элементной базы электрической схемы, так как после задания конструктору электрической схемы он лишен возможности влиять на фактор рассеиваемой мощности и температуростойкости элементов схемы.

Анализ зависимостей (см. рисунок) показывает, что для одноблочных кубических конструкций аппаратов с размером $\sqrt[3]{V} \geq 0,5$ м минимизация начального параметра F_0 из-за увеличения объёма нагретой зоны (плотности размещения элементов) и перехода к более интенсивной системе поверхностного охлаждения $K_0 = \infty$ становится практически невозможной.

Наоборот, для конструкций размером $\sqrt[3]{V} \leq 0,5$ м увеличение объёма и рост K_0 приводят к уменьшению F_0 в три раза при $\sqrt[3]{V} = 0,1$ м и в два раза при $\sqrt[3]{V} = 0,3$ м за счет изменения K_0 от 4 Вт/м²·град до ∞ . Практически уже при $K_0 \geq 100$ Вт/м²·град наступает предельный случай, т. е. для аппаратов с газовым заполнением (с малой эффек-

тивной теплопроводностью $\lambda_0 = 0,2$ Вт/м.град) целесообразно использовать жидкостные и другие более эффективные системы поверхностного охлаждения.

Предельная минимизация F_0 может быть осуществлена с помощью вынужденного конвективного воздушного охлаждения ($\alpha = 10-100$ Вт/м.град) [3].

Коэффициент теплопередачи

$$K_0 = \frac{K^1 S_K / S}{1 + K^1 S_K / \alpha S}, \quad (4)$$

где K_0 — коэффициент теплообмена через газовую прослойку от нагретой зоны к кожуху, Вт/м².град; α — коэффициент теплообмена между поверхностью кожуха и окружающей средой, Вт/м².град; S_K, S — площади поверхностей кожуха и нагретой зоны, м².

Анализ выражения (4) и значений коэффициентов теплообмена для различных типов систем охлаждения [3] позволяет наметить два пути увеличения K_0 для минимизации параметра F_0 и синтеза конструкции с заданным тепловым режимом по максимальному перегреву. Первый путь — чисто конструктивный при небольших значениях K_0 , т.е. для радиоэлектронных аппаратов, предназначенных функционировать в условиях естественного охлаждения воздухом.

Расчеты большого количества конструкций приборов [2] показали, что имеет место равенство проводимостей между нагретой зоной и кожухом, а также с окружающей средой:

$$K^1 \cdot S \approx \alpha \cdot S_K. \quad (5)$$

После подстановки (5) в (4) получим $K_0 = \alpha \cdot S_K$, т.е. применение кожуха практически в 2 раза снижает эффективность поверхностного охлаждения.

При совмещении кожуха аппарата с нагретой зоной ($S_K = S$), $K^1 \rightarrow \infty$ и $K_0 = K$.

Таким образом, чисто конструктивным путем, совмещая кожух прибора с нагретой зоной, можно увеличить K_0 в два раза.

При этом следует обеспечить хороший тепловой контакт между нагретой зоной и кожухом, например, применяя высокотеплопроводные пасты в стыках между платами (шасси), гранями кожуха и т.д. Рассмотренный метод наиболее эффективен тогда, когда требуется сохранить герметичность (пылезащищенность) аппаратуры.

Можно пойти и другим конструктивным путем: уменьшить влияние кожуха на интенсивность теплостокков за счет нарушения герметичности и обеспечения непосредственного контакта нагретой зоны с охлаждающим воздухом через перфорационные отверстия (жалюзи). Тогда выражение для K_0 в первом приближении примет вид

$$K_0 = K^* (1 + S_{пер} / S_K), \quad (6)$$

где $S_{пер}$ — площадь перфорационных отверстий, м²; K_0 — определяется выражением (6) при $S_{пер} = 0$. Отношение $S_{пер} / S_K$ называется коэффициентом перфорации. Более строгий учет ее приведен в работе [3]. Практически уже при $S_{пер} / S_K = 0,5-0,6$ значение K_0 близко к K_0^* , т.е. достигается предельный эффект минимизации F_0 .

Рассмотренные конструктивные методы не позволяют существенно изменять коэффициент теплопередачи K . Для существенного изменения интенсивности теплообмена на поверхности нагретой зоны необходим переход от естественного к вынужденному поверхностному охлаждению путем продувки воздуха, т.е. требуются дополнительные изменения в конструкции аппарата. При этом согласно равенству (2) необходимо либо одновременно увеличить интенсивность теплообмена между нагретой зоной и кожухом (K^1), кожухом и окружающей средой (α), либо предварительно совместить кожух с нагретой зоной ($K^1 \rightarrow \infty$). В противном случае рост K_0 будет незначительным, несмотря на существенное увеличение α . Таким образом, второй путь минимизации предусматривает переход к новой системе охлаждения с предварительным совмещением кожуха с нагретой зоной, особенно в конструкциях с плотным монтажом.

Увеличение объема нагретой зоны за счет уменьшения плотности размещения элементов находится в противоречии с требованием минимизации размеров конструкции, поэтому может быть применено только в том случае, когда отсутствуют жесткие ограничения на размеры конструкции в техническом задании.

Изменение объема в 8 раз (на участке $\sqrt[3]{V} < 0,5$ м) приводит к уменьшению F_0 в три раза при $K_0 = 4$ Вт/м.град и в два раза при $K_0 = \infty$ (см. рисунок). Такое изменение объема может быть осуществлено переходом от монтажа высокой плотности ($\eta_M \geq 1$) к монтажу малой ($\eta_M \approx 1$).

Литература: 1. Майко И. М., Синотин А. М. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности нагретых зон радиоэлектронных аппаратов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1972. Вып. 2. С. 13-17. 2. Майко И. М., Детинов Ю. М., Синотин А. М. О теплофизическом конструировании одноблочных радиоэлектронных аппаратов с заданным тепловым режимом // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. 1974. Вып. 1. С. 80-87. 3. Дульнев Г. Н., Тарновский Н. Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1971. 248 с.

Поступила в редколлегию 21.09.2002

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Алипов Н.В.

Невлюдов Игорь Шакирович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ТАПР ХНУРЭ. Научные интересы: технология, автоматизация и производство радиоэлектронной аппаратуры. Адрес: Украина, 61128, Харьков, пр. 50 СССР, 16, кв. 477, тел. 40-94-86.

Синотин Анатолий Мефодиевич, канд. техн. наук, доцент, методист профильного отдела НМУ. Научные интересы: проектирование, автоматизация и производство радиоэлектронной аппаратуры. Адрес: Украина, 61174, Харьков, пр. Победы, 57 "Г", кв.35, тел. 40-94-59.