

МИНИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАГРЕТЫХ ЗОН РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

НЕВЛЮДОВ И.Ш., СИНОТИН А.М.

Приводятся результаты исследований влияния теплопроводности на максимальный перегрев аппарата и пути её конструктивного изменения.

Для проектирования надёжных и компактных радиоэлектронных аппаратов наряду с созданием электрических схем необходимы всесторонний учёт температурного режима элементов будущей конструкции, а также умение разработчика с помощью различных конструктивных параметров влиять на температурное поле прибора или системы в целом. Неправильное размещение одного элемента можно легко выявить и устранить в процессе температурных испытаний (поверочных расчётов).

Устранение ошибок в общей компоновке элементов требует дорогостоящей переработки всего блока, т.е. ошибки, допущенные на первых этапах конструирования, ведут к дополнительным затратам. Поэтому теплофизическое конструирование следует осуществлять на всех стадиях разработки и создания надёжной малогабаритной экономичной конструкции аппарата. Существенное влияние на минимизацию радиоэлектронных аппаратов оказывает эффективная теплопроводность нагретой зоны, выраженная через относительный параметр теплопроводности:

$$F_{\lambda} = \frac{1}{1 + \frac{\delta_M}{\lambda_0} \cdot \frac{\delta_m}{\Delta + \delta_m}} \cdot \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{(\mu_{X_s} \cdot \xi_{X_0})^2 + (\mu_{Y_s} \cdot \xi_{Y_0})^2 + (\mu_{Z_s} \cdot \xi_{Z_0})^2}{(\mu_{X_2} \cdot \xi_{X_0})^2 + (\mu_{Y_2} \cdot \xi_{Y_0})^2 + (\mu_{Z_2} \cdot \xi_{Z_0})^2}$$

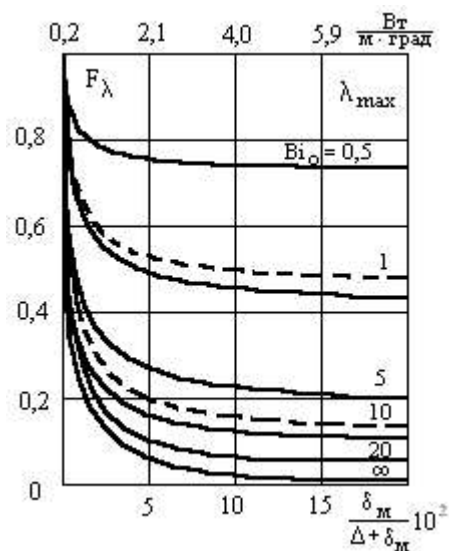
где λ_0 , λ_m — эффективная теплопроводность нетеплопроводных и теплопроводных плат; δ — толщина плат; Δ — расстояние между платами; A_s, μ_i — амплитуды и собственные значения при Bi_0 ; ξ_i — относительные размеры сторон аппарата;

$$Bi_1 = Bi_0 \cdot \frac{\sqrt{\xi_{X_0} \cdot \xi_{Y_0} \cdot \xi_{Z_0}}}{\xi_{i_0}} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_{max}}, \quad i = X, Y, Z.$$

Зависимость параметра F_{λ} графически представлена на рисунке в функции максимальной эффективной теплопроводности нагретой зоны для различных форм параллелепипеда при изменении начального критерия Bi_0 от 0,5 до ∞ , где сплошной линией обозначена зависимость для значений куба при $\xi_{X_0} = \xi_{Y_0} = \xi_{Z_0} = 1$, пунктирной — для квадратного “бруса” при $\xi_{X_0} = \xi_{Y_0} = 1$, $\xi_{Z_0} = 0,1$.

Анализ данных рисунка показывает, что форма параллелепипеда практически не влияет на харак-

тер минимизации параметра F_{λ} изотропных нагретых зон ($\lambda_X = \lambda_Y = \lambda_Z = \lambda_{max}$). С увеличением λ_{max} параметр F_{λ} минимизируется. При этом эффективность минимизации существенно возрастает с ростом интенсивности охлаждения на поверхности нагретой зоны. При увеличении значений Bi_0 от 0,5 до 20 параметр F_{λ} соответственно минимизируется с 1 до 0,7 - 0,07.



Зависимость параметра F_{λ} от максимальной эффективной теплопроводности нагретой зоны λ_{max} и относительной толщины теплопроводящих слоев $\delta_m / \Delta + \delta_m$.

Достижение определенных уровней минимизации наблюдается при соответствующих значениях эффективной теплопроводности для каждого Bi_0 . Дальнейшее увеличение λ_{max} практически не вызывает существенного изменения F_{λ} . Предельные значения λ_{max} для различных условий охлаждения приведены в таблице.

Предельные значения эффективной теплопроводности нагретой зоны

Bi_0	0,5	1	5	10	20	∞
λ_{max} Вт/м·град	1,0	1,5	4	4	4	4

Значения параметра F_{λ} для всех форм при $Bi_0 = \infty$ выражается зависимостью

$$F_{\lambda_{\infty}} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{max}} = \frac{1}{1 + \frac{\delta_m}{\Delta + \delta_m}}$$

где λ_0 — эффективная теплопроводность при нетеплопроводных платах, Вт/м·град; λ_{max} — максимальная теплопроводность, Вт/м·град; δ_m — толщина сплошных металлических плат, м; Δ — расстояние между платами.

Конструктивно теплопроводность нагретой зоны можно изменить двумя путями. Первый состоит в применении высокотеплопроводных наполнителей.

В этом случае $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda_{\max}$, т. е. нагретая зона удовлетворяет всем рассмотренным выше закономерностям минимизации параметра F_1 . Параметр анизотропности при этом равен единице ($I_a = 1$).

Второй путь – использование плоских теплопроводов, выполненных в виде сплошных металлических плат (медь, дюралюминий и др.) либо в форме теплопроводных пластин по размеру [1-3]. При этом имеет место анизотропия по теплопроводности ($\lambda_x = \lambda_y = \lambda_{\max} \neq \lambda_z$), что требует исследовать влияние параметра анизотропности. В случае оптимальной формы квадратного “бруса”, когда платы (тепlostоки) располагаются параллельно основанию, т.е. перпендикулярно к большой оси, все рассмотренные выше закономерности минимизации параметра остаются в силе.

Таким образом, степень минимизации параметра теплопроводности зависит от интенсивности системы охлаждения и линейного размера аппарата. При линейных размерах аппарата больше 0,5 м или интенсивном поверхностном охлаждении наблюдается предельная минимизация параметра теплопроводности. Установлено:

– увеличение эффективной теплопроводности свыше 2-4 Вт/(м.град) не вызывает дальнейшей минимизации. Значит, не следует стремиться к увеличению теплопроводности заполнителей (компанудов) свыше этих значений;

– аппараты в форме “квадратного бруса” позволяют получить оптимальный тепловой режим;

– для изотропных нагретых зон ($\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z$) никакие ограничения на размещение монтажных плат не накладываются. Они могут иметь форму либо большой, либо малой грани “квадратного бруса”;

– в случае анизотропных нагретых зон РЭА наименьший размер нагретой зоны должен совпадать с направлением максимальной теплопроводности и лежать в плоскости монтажных плат. В случае плоских теплопроводов ($\lambda_x = \lambda_y \geq \lambda_z$) это требование совпадает с требованием оптимальной формы “квад-

ратного бруса” и лишь накладывает ограничение на характер размещения монтажных плат. В случае линейных теплопроводов ($\lambda_x \geq \lambda_y = \lambda_z$) оптимальной формой становится ограниченная пластина;

– при применении теплопроводов практически целесообразно увеличивать эффективную теплопроводность свыше 3-4 Вт/м.град. В случае медных теплопроводов это соответствует относительной толщине 0,01 – 0,015 по отношению к расстоянию между платами Δ и удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными [1];

– конструктивное совмещение кожуха аппарата с нагретой зоной (при обеспечении хороших тепловых связей между платой и стенкой кожуха) позволяет в 2 раза повысить коэффициент теплопередачи в условиях естественной конвекции. Дальнейшее увеличение коэффициента теплоотдачи может быть достигнуто применением специальных систем вынужденного воздушного охлаждения.

Литература: 1. Майко И. М., Синотин А. М. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности нагретых зон радиоэлектронных аппаратов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. 1972, №. 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. № 1. С. 80-87. 3. Дульнев Г. Н., Тарновский Н. Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1971. 248 с.

Поступила в редколлегию 01.02.2002

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

Невлюдов Игорь Шакирович, д-р техн. наук, зав. кафедрой ТАПР ХНУРЭ. Научные интересы: технология, автоматизация и производство радиоэлектронной аппаратуры. Адрес: Украина, 61128, Харьков, пр. 50-летия 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.

УДК 621.37.01

О ПОТЕРЯХ УСИЛЕНИЯ АНТЕНН В СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВЕТРА

ПЕТРОВ В.А., ШЕЙКО С.А.

Рассматриваются условия работы приемных антенн в радиолокационных системах измерения профиля ветра, законы распределения амплитуды и фазы поля, рассеянного в заданном объеме турбулентной среды. Показывается, что сумма дисперсий флуктуаций уровня амплитуды и фазы не зависит от опорного уровня и находится в пределах 3,43,7. Потери усиления антенн при таких флуктуациях в плоскости апертуры составляют более 5 дБ.

Приемные антенны систем дистанционного зондирования атмосферы и измерения профиля ветра находятся в существенно неоднородном поле. Флук-

туации амплитуды A и фазы ϕ поля в плоскости апертуры настолько велики, что говорить о диаграмме направленности f и коэффициенте направленного действия (КНД) D в этом случае можно лишь в терминах статистической теории антенн. Детальный анализ характеристик антенн и потерь усиления при неоднородном поле в плоскости раскрытия выполнен Я.С. Шифриным [1]. Для оценки среднего КНД \bar{D} приемной антенны системы радиолокационного зондирования атмосферы можно воспользоваться полученным в работе [1] соотношением:

$$\frac{\bar{D}}{D_0} = e^{-\alpha} \left[1 + \frac{1}{16} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\alpha^m}{m!} I^2(c_m, 0, 0) \right], \quad (1)$$

где $I(c, 0, 0) = 2c\sqrt{\pi} \cdot \Phi(2/c) - c^2(1 - e^{-4/c^2})$;

$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ – интеграл вероятности; D_0 – максимальный КНД в отсутствие флуктуаций поля в раскрытии;