

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ГРАДИЕНТОВ В СВЧ ПЛАТЕ МАКЕТА АВТОМОБИЛЬНОГО РАДАРА

Журавлёв В. И., Наумович Н. М., Стежко И. К.

Центр 1.6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: vadh@bsuir.by

Рассмотрено построение тепловой модели для оценки распределения температуры в печатных модулях автомобильных радаров. Результаты моделирования показывают возникновение значительных градиентов температуры, влияющих на выходные параметры.

ВВЕДЕНИЕ

Использование компактных фазированных решёток миллиметровых волн быстро развивается в таких областях как автомобильные радары, спутниковая и транзитная связь, сканирование систем безопасности и формирование изображений. Технология «антенна в корпусе» (AiP) стала основным вариантом интегрированного корпуса с антенной и приёмопередатчиком для применения в автомобильных радаров на частоте от 72 ГГц [1]. При её использовании может быть достигнуто значительное уменьшение габаритных размеров, и уменьшение потерь и повышение эффективности передатчика. Однако для применения в диапазоне миллиметровых волн требует применения дополнительных мер по отводу тепла. Это обусловлено возникновением градиентов температуры в ограниченном пространстве вследствие использования многослойной компоновки печатных плат с теплонагруженными компонентами и технологии AiP. Анализ тепловых характеристик позволяет оптимизировать конструкцию корпуса и систему охлаждения.

1. ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ

Поскольку технология AiP на одной плате с приёмопередатчиком представляет собой неоднородную структуру, включающую компоненты с разными тепловыми свойствами. Задача представляет собой процесс распространения теплоты в анизотропном теле, содержащим некоторое количество слоёв. Имеется некоторая сложность получения аналитического решения для многослойной структуры и громоздкости применяемого математического аппарата, поэтому требуется применить некоторые допущения.

В используемых на практике моделях полагают, что слои, сформированные в объёме кристалла, имеют одинаковые теплофизические параметры и различаются только по электрическим характеристикам. Ряд моделей позволяет определить закон теплопереноса в структурах со строго ограниченным количеством слоёв, другие модели рассматривают только процесс постоянного нагрева [2]. В рассматриваемом случае достаточно

определить закон распространения избыточной температуры T в заданном слое структуры при воздействии импульсного теплового источника.

Рассмотрим модель многослойной структуры, на поверхности которой действует импульсный источник тепла P_0 (рис. 1). Каждый слой однороден, но имеет собственное постоянное значение теплопроводности K .

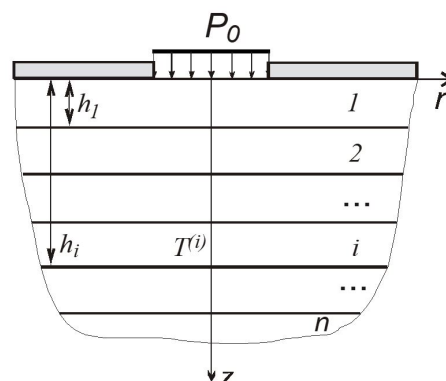


Рис. 1 – Модель многослойной структуры с импульсным источником тепла на поверхности

Двумерное уравнение теплопереноса в структуре можно записать в виде:

$$K_{11} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + 2K_{12} \frac{\partial^2 T}{\partial r \partial z} + K_{22} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

Выражение (1) представляет собой линейное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами. Для i -слоя структуры можно выполнить линейное преобразование координат [3]:

$$\begin{bmatrix} R \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_i \\ 0 & b_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ z \end{bmatrix} + \sum_{k=1}^{i-1} h_k \begin{bmatrix} a_i - a_{i+1} \\ b_i - b_{i+1} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где

$$a_i = -\frac{K_{12}^{(i)}}{K_{22}^{(i)}}, \quad b_i = \frac{K_i}{K_{22}^{(i)}}, \quad K_i = \sqrt{K_{11}^{(i)} K_{22}^{(i)} - K_{12}^{(i)^2}}$$

Физический смысл (2) заключается в том, что задача анизотропного теплопереноса представляется эквивалентной задачей изотропного

теплопереноса. Преобразование через (2) является линейным и непрерывным, а также не имеет деформации граничных условий на рассматриваемом участке структуры.

Соответственно,

$$K_{i+1} \left(\frac{\partial^2 T^{(i+1)}}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 T^{(i+1)}}{\partial Z^2} \right) + K_1 \left(\frac{\partial^2 T^{(1)}}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 T^{(1)}}{\partial Z^2} \right) = 0 \quad (3)$$

Уравнение (3) при заданных граничных условиях можно аналитически решать поэтапно двунаправленными преобразованиями Фурье [4]. Использование численных методов позволяет значительно сократить затраты на поиск решения для произвольного слоя.

II. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТА В ТЕПЛОТВОДЯЩЕМ СЛОЕ

Моделирование распределение температур в AiP плате макета автомобильного радара (рисунок 2) выполнялось с применением численного метода конечных элементов с открытыми граничными условиями второго рода для нормальных условий эксплуатации при температуре окружающей среды (воздух) 35 °С [5]. Однотипные материалы заменялись аналогичными, но с отличающимися нетепловыми свойствами во избежание пропуска границ тепловых сопротивлений при однородной сетке.

Результаты моделирования для платы приёмопередающего модуля (СВЧ) наиболее важны, так как возникновение больших перепадов температуры в ней наиболее критично. Вид её полученного теплового профиля в составе корпуса приведён на рисунке 3 (корпус не показан).

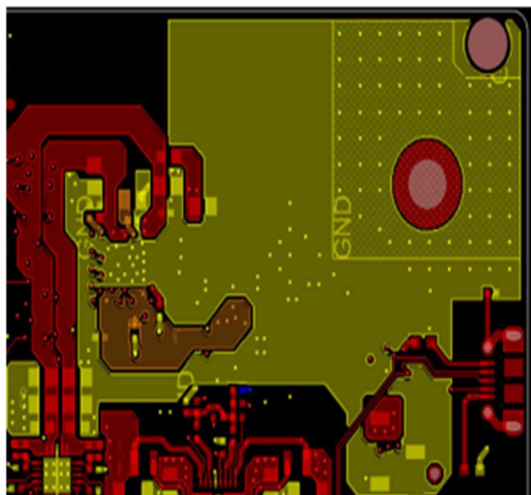


Рис. 2 – Теплоотвод металлизацией на нижней стороне платы СВЧ

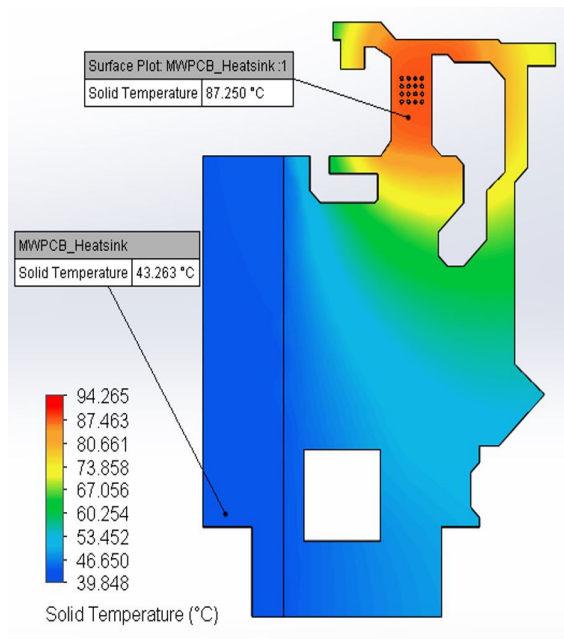


Рис. 3 – Расчётное распределение температуры по теплоотводящему слою

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование теплового профиля в многослойных структурах автомобильных радаров указывает на возникновение довольно больших градиентов температур. Это следует учитывать в дальнейшем при возможном проектировании дополнительного теплоотвода, так как может привести возникновению к термомеханическим напряжениям и ухудшить параметры передающей антенны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Han, Y. AiP component and board level heat dissipation analysis for automotive radar / Y. Han, T.C. Chai and S.S. H. Lim // 2021 IEEE 71st Electronic Components and Technology Conference (ECTC). – 2021. – P.1850–1857.
2. D'Alessandro, V. A critical review of thermal models for electro-thermal simulation / V. d'Alessandro, N. Rinaldi // Solid-State Electronics. – 2002. – №46. – P.487–496.
3. Ma, C.C. Analytical exact solutions of heat conduction problems for anisotropic multi-layered media / C.C. Ma, S.W. Chang // International J. of Heat and Mass Transfer. – 2004. – №47. – P.1643–1655.
4. Dwyer, V.M. Thermal failure in semiconductor devices. / V.M. Dwyer, A.J. Franklin, D.S. Campbell // Solid-State Electronics. – 1990. – Vol.33, №5. – P. 553–560.
5. Журавлёв, В.И. Моделирование теплового режима образца автомобильного радара / В.И. Журавлёв, Н.М. Наумович, С.А. Корневский // «Приборостроение-2022»: материалы 15-й Международной научно-технической конференции, – Минск : БНТУ, 2022. – С.253-254.