

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ СЕТОК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Горбач А. П., Серeda А. С., Голубов Н. А.

Алексеев В. Ф. – канд. техн. наук, доцент

Данная статья объясняет суть метода конечных разностей и его возможности для проведения моделирования тепловых процессов и последующего анализа радиоэлектронных устройств.

Процесс построения тепловых моделей является первым этапом расчета тепловых режимов РЭС с помощью ЭВМ. Под тепловой моделью понимается топологический ненаправленный граф, узлы которого соответствуют поверхностям или объемам элементов, или конструктивных узлов РЭС, а ветви графа отражают тепловые потоки между узлами. Переменными узлов графа φ_i являются температуры поверхностей (объемов) элементов РЭС, а переменными ветвей ψ_{ij} – величины тепловых потоков в конструкции. Параметры k_{ij} ветвей – тепловые сопротивления. Т.е. тепловая модель – это идеализированная схема путей распространения тепловых потоков в конструкции. В зависимости от степени идеализации процесса теплообмена структура модели может меняться. Степень идеализации в свою очередь зависит от требуемой точности расчета. Этап идеализации конструкции должен предшествовать этапу построения тепловой модели, т.к. на этапе идеализации закладывается основная погрешность расчета картины температурного поля РЭС.

Рассмотрим в качестве примера металлическую пластину малой толщины с пленочным нагревателем на одной из сторон, расположенную в воздухе с температурой t_b (рисунок 1, а). Площадь торцевых поверхностей пластины значительно меньше площади ее боковых поверхностей, следовательно, теплоотдача с торцевых поверхностей незначительна. Идеализацию можно провести следующим образом: пренебрегаем теплоотдачей с торцевых поверхностей пластины; считаем левую (1) и правую (2) поверхности пластины изотермическими; не учитываем тепловое излучение с пластины в окружающую среду. При этих предположениях тепловая модель пластины будет иметь вид, показанный на рисунке 1 (б) [1].

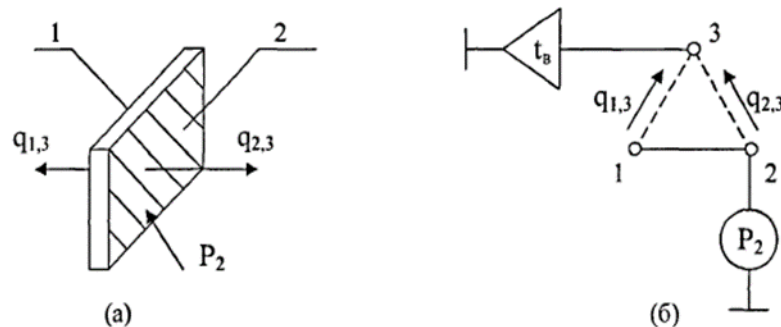


Рисунок 1 - Металлическая пластина (а) и ее тепловая модель (б)

Ветвь, изображенная сплошной линией, отображает кондуктивный теплоперенос через пластину, пунктирными линиями изображены ветви, описывающие теплоотдачу конвекцией с поверхности пластины в окружающую среду.

При построении тепловых моделей некоторых устройств удобно использовать метод сеток или метод конечных разностей (МКР). Основная идея метода базируется на аналогии конечно-разностных уравнений, описывающих процессы теплопереноса в твердом теле (рисунок 2, а), и уравнений токов для электрической цепи (рисунок 2, б) [1].

Уравнение токов, составленное на основании 1-го закона Кирхгофа, для электрической RC-цепи, изображенной на рисунке 2 (б), полностью совпадает с дифференциальным уравнением, описывающим теплообмен в элементарном объеме.

На этом основании можно сделать заключение о возможности замены расчетов процессов теплопереноса в РЭС расчетами электрических процессов в соответствующих RC-цепях. В более общем случае можно представить электрическую цепь (рисунок 2, б) в виде графа (рисунок 2, в).

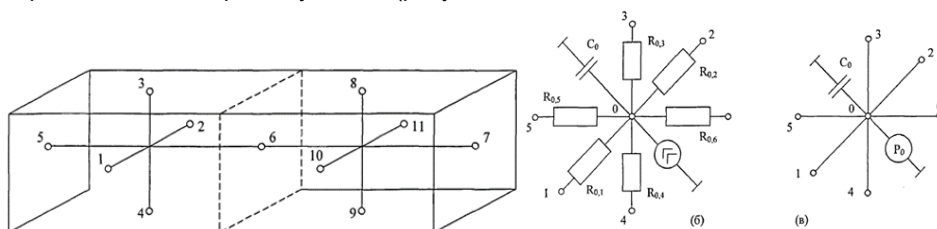


Рисунок 2 - а – сеточная модель блока твердого тел; б – электрическая цепь;

в – электрическая цепь в виде графа

Сеточный метод удобно применять для моделирования тепловых процессов в твердых телах, например, в блоках, залитых твердым диэлектриком. В этом случае тепловая модель может иметь регулярную структуру, что позволяет составить простое формализованное описание модели. Для перехода от описания тепловой модели элементарного объема РЭС к тепловой модели всей конструкции необходимо, разбив условно объем конструкции на ряд элементарных объемов, построить модель каждого из них. Соединяя эти модели граничными узлами, получим сеточную тепловую модель конструкции. Например, для залитого твердым диэлектриком блока, условно разбитого на два элементарных объема, сеточная тепловая модель будет иметь вид, представленный на рисунке 3 [3].

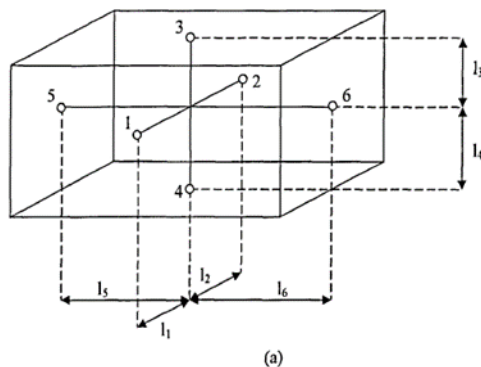


Рисунок 3 - Сеточная модель блока, разбитого на два элементарных объема

Значения коэффициентов теплопроводности материалов, применяемых в аппаратуре, слабо зависят от температуры, поэтому не имеет смысла учитывать эту зависимость в диапазоне рабочих температур большинства устройств. Это тем более справедливо для аппаратуры, основное значение в теплообмене которой играет конвективный и лучистый теплообмен. Эти виды теплообмена протекают по нелинейным законам, т.е. параметры ветвей тепловой модели нелинейным образом зависят от температурных градиентов в конструкции. Например, если грани 2 и 6 элементарного объема на рисунке 2 (а) омываются окружающей средой с температурой T_c , тепловая модель примет вид, показанный на рисунке 4 [4].

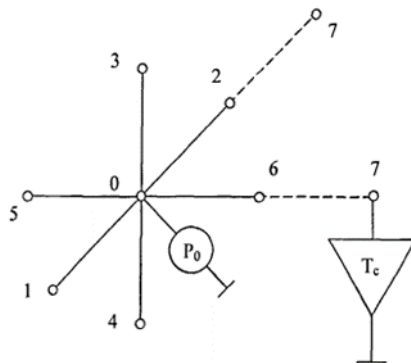


Рисунок 4 - Тепловая модель элементарного объема

Ветви $k_{2,7}$ и $k_{6,7}$ описывают теплоотдачу конвекцией в окружающую среду (узел 7) с граней 2 и 6. В данной модели применена сквозная нумерация узлов, при которой узлы модели, имеющие одинаковый номер, представляют один и тот же узел, условно разбитый на несколько частей.

Таким образом, применение метода сеток позволяет построить простые модели элементов и узлов РЭС, таких как полупроводниковые приборы, резисторы, реле, трансформаторы, радиаторы.

Список использованных источников:

- [1] Жаднов, В. В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств / В. В. Жаднов, А. В. Сарафанов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 264 с.
- [2] Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – М. : Атомиздат, 2009. – 416 с.
- [3] Коваленок, В. И. Математическое моделирование тепловых процессов в радио-электронной аппаратуре средствами программного комплекса ТРИАНА-2.00 / В.И. Кова-ленок, О.В. Межевов, С.В. Работай, А.В. Сарафанов, М.В. Тюкачев // Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. науч. тр. Ч. 2. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – С. 394 – 404.
- [4] Бесшейнов, А.В. Инновационный метод расчета тепловых режимов конструкций электронных приборов / А. В. Бесшейнов, С. У. Увайсов // Статья. Научно-технический и производственный журнал «Тяжелое машиностроение». – 3/3/2007. – с. 26 – 27.