

ТЕПЛОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА

Е.Н. Васильев, В.А. Дервянко, В.М. Садовский
ВЦ СО РАН, Россия, Красноярск, Академгородок
С.Б. Сунцов, П.К. Трутнев
НПО ПМ, Россия, Железногорск

Одной из основных проблем, определяющих эксплуатационную надежность и ресурс радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), является проблема создания в приборе таких температур, при которых температурный режим всех используемых в нем элементов был бы в пределах, предусмотренных техническими условиями (ТУ). Основной сложностью теплового проектирования РЭА является наличие большого количества радиоэлементов и тепловых стыков, взаимное тепловое влияние элементов друг на друга и сложная конфигурация теплоотводящей системы.

Разработанные программные средства теплового проектирования предназначены для расчета и оптимизации тепловых режимов РЭА, работающей в условиях вакуума, когда в отсутствие конвекции механизмами передачи теплоты являются излучение и теплопроводность. Под РЭА в данном рассмотрении понимается прибор, конструктивно выполненный в виде двух сплошных стенок, к которым крепятся блоки (платы) с двухсторонним расположением радиоэлементов. Блоки к стенкам могут крепиться как вертикально (Рис.1), так и горизонтально (Рис.2). Полагается, что прибор установлен на посадочном месте, имеющем фиксированное значение температуры.

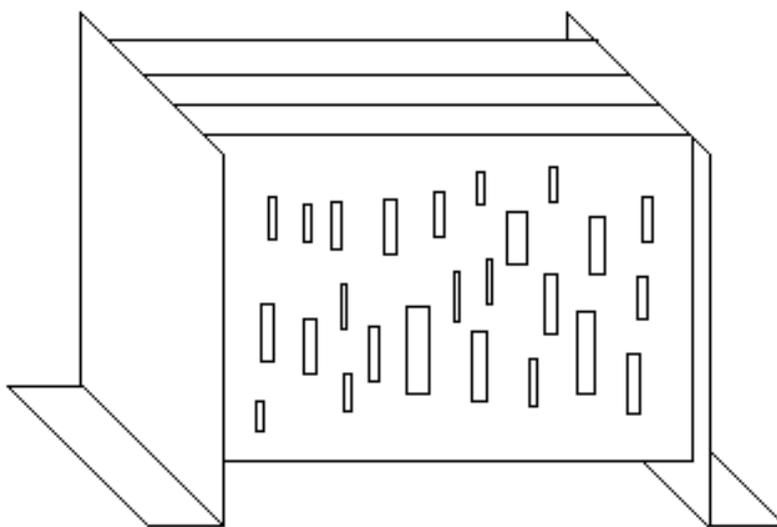


Рис.1. Схема прибора с вертикальным расположением блоков

Для удобства проектирования и снижения требуемых ресурсов персонального компьютера программные средства теплового проектирования РЭА реализованы на основе двухуровневой математической модели.

Модель первого уровня включает в себя систему нестационарных двумерных уравнений теплопроводности с граничными условиями третьего рода и условиями сопряжения на тепловых стыках и предназначена для моделирования процесса распространения теплоты в составной конструкции прибора без детализации расположения тепловых источников на блоках. Параметрами модели являются геометрические размеры

блоков и стенок, мощности тепловыделения, теплофизические свойства материалов, значения тепловых сопротивлений стыков “блок - стенка” и “стенка - посадочное место”, температура посадочного места. Тепловыделение на блоке задается однородным с величиной, равной отношению суммы мощностей всех расположенных на нем радиоэлементов к площади блока. При построении математической модели полагалось, что испускаемые и падающие лучистые потоки блоков и других внутренних элементов прибора взаимно компенсируют друг друга, поэтому излучение в приближении серого тела учитывалось только для внешних поверхностей прибора.

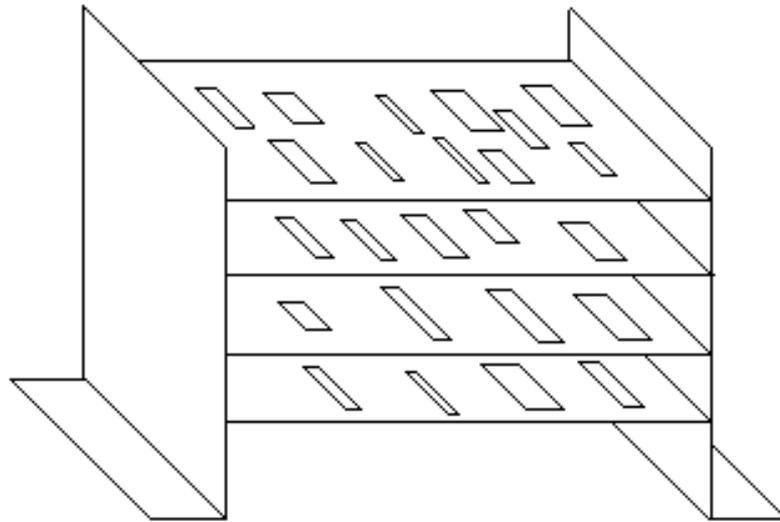


Рис.2 Схема прибора с горизонтальным расположением блоков

Для решения системы уравнений использовался алгоритм расщепления по пространственным координатам с применением неявной локально-одномерной разностной схемы. На основе математической модели первого уровня были написаны на языке C++ две автономных программы для приборов с вертикальным и горизонтальным расположением блоков. Разработанные программные средства предусматривают графический и цифровой вывод температурных полей всех блоков. По результатам расчета определяются блоки с интегральным тепловым режимом, не удовлетворяющим ТУ, проводится перераспределение мощности блоков и перекомпоновка прибора с последующим перерасчетом теплового режима. Данная процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнут оптимальный тепловой режим каждого отдельного блока. После завершения тепловой оптимизации производится запись граничных условий для каждого блока, используемых моделью второго уровня, и протокола с рассчитанными данными теплового режима прибора.

Тепловое поле блока, сбалансированного по осредненным потокам, тем не менее при реальном размещении радиоэлементов может иметь локальные зоны, в которых радиоэлементы могут иметь отклонения от допустимой температуры. Математическая модель второго уровня предназначена для расчета и оптимизации теплового режима отдельного блока с учетом координат, размеров, мощностей тепловыделения и допустимых температурных диапазонов каждого радиоэлемента, считываемых из файла, подготовленного с помощью пакета PCAD и дополненного с помощью разработанных программных средств тепловыми характеристиками радиоэлементов. Предусмотрено двухстороннее размещение радиоэлементов на блоке. Граничными условиями стационар-

ной задачи теплопроводности являются распределения температуры на боковых стенках прибора, полученные в модели первого уровня.

Численный алгоритм модели второго уровня основан на применении дискретного преобразования Фурье для каждой координаты, что приводит к серии одномерных задач, решаемых методом прогонки. Программные средства, разработанные на основе данной модели, реализованы на языке C++. Они позволяют производить перестановку и перемещение отдельных радиоэлементов, работающих за пределами допустимого температурного диапазона, причем предусмотрена возможность определения направлений перемещения и перестановки радиоэлементов. Алгоритм расчета направлений основан на минимизации целевой функции температуры радиоэлементов, работающих за пределами допустимого температурного диапазона. Средства визуализации обеспечивают вывод на экран изображение обеих сторон блока с расположенными на них радиоэлементами, вывод изолиний температуры, выделение цветом элементов, работающих в неблагоприятном тепловом режиме, отображение стрелок-указателей направлений перемещения элементов для улучшения их теплового режима, вывод по запросу значения температуры любого радиоэлемента.

В процессе теплового проектирования блока программные средства дают возможность многократных перекомпоновки и перерасчета теплового режима блока. В случае, если полученный тепловой режим отдельных элементов блока не отвечает ТУ, то производится перекомпоновка блока, после чего производится новый расчет и проверка теплового режима. При завершении оптимизации теплового режима блока производится запись файла с новым расположением элементов и протокола с данными расчета.

Таким образом, разработанные программные средства теплового проектирования позволяют проводить двухэтапные расчет и оптимизацию теплового режима РЭА на уровне компоновки блоков в приборе и отдельных радиоэлементов на каждом блоке и добиться работы всех радиоэлементов прибора в оптимальном тепловом режиме.