

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

В. В. МЕНЬШИНОВ, Б. С. ЭЛЬКИН

МЕТОД РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ
 В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТАХ С ЕСТЕСТВЕННОЙ
 КОНВЕКЦИЕЙ

В исследовании температурных режимов радиоэлектронных аппаратов (РЭА) кассетной конструкции на интегральных схемах (ИС) с герметичным кожухом [1] предполагалось, что источники тепла (ИТ) распределены по всем платам равномерно, зазоры между платами и скорости воздуха во всех каналах одинаковы. При определении скорости воздуха взаимное влияние каналов не учитывалось, а также предполагалось, что зазор между нагретой зоной и корпусом РЭА достаточно велик. В данной работе предполагается, что расходы и температурные

поля воздуха в каналах различны, а расположение ИТ является произвольным.

Нагрев ИС вызывает движение воздуха (рис.). Предположим, что переток тепла по плате и корпусу отсутствует. Пусть число плат равно $N+2$, из них первая и последняя не имеют источников тепла и служат для эффективной организации движения воздуха. Соответственно, число вертикальных каналов равно $N+3$, а верхних горизонтальных каналов равно нижним: $N+2$. Предполагаем течение воздуха в каждом из каналов ламинарным и установившимся,

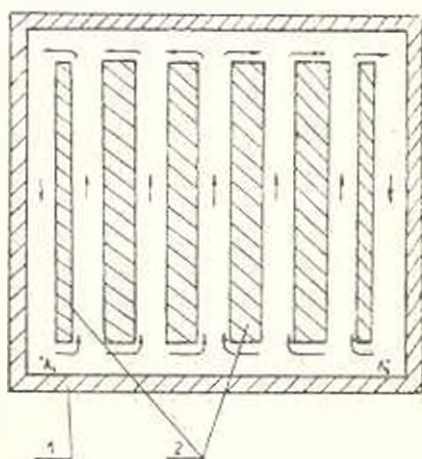


Рис. 1 — корпус РЭА, 2 — плата.

направление вектора скорости параллельным оси канала, давление в любой точке заданного поперечного сечения канала одним и тем же, а местные сопротивления пропорциональными скорости течения.

Решение краевой задачи $v'' = -1$, $v(0) = v(\delta) = 0$ пропорционально полю скоростей в канале толщиной δ , т. е. поле скоростей определяется по формуле $V_i = K_i v$, ($i = 1, \dots, 3N+7$), где K_i — не-

известные коэффициенты. Положительным для скорости в вертикальных каналах примем направление вверх, а в горизонтальных — слева направо. Уравнения неразрывности при введенных выше допущениях сводятся к системе из $2N + 5$ линейных алгебраических уравнений для K_i . С учетом сделанных предположений уравнения Навье-Стокса в каждом из каналов заменяются одним уравнением [2]:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu(T(z)) \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + K_z, \quad (1)$$

где x, z — соответственно, координата, перпендикулярная оси канала и совпадающая с положительным направлением вектора скорости; μ — коэффициент динамической вязкости; K_z — проекция массовой силы на ось z ; V — скорость воздуха. В горизонтальных каналах $K_z = 0$, а в вертикальных — $K_z = \pm \rho(T(z))g$. Здесь T — температура воздуха, g — ускорение силы тяжести.

Предположим, что нам известны температурные поля воздуха в каналах. Интегрируя (1) по $N + 2$ замкнутым контурам, получим еще $N + 2$ линейных алгебраических уравнений для K_i . Преобразуя полученные уравнения и исключая ряд неизвестных, приходим к системе:

$$\begin{cases} K_1 = \chi_1 K_2 + v_1; \\ K_{N+2} = \chi_2 K_{N+1} + v_2; \\ A_i K_{i-1} - C_i K_i + B_i K_{i+1} = -F_i \quad (i = 2, \dots, N+1), \end{cases} \quad (2)$$

причем

$$0 < \chi_1 < 1, \quad 0 < \chi_2 < 1, \quad A_i > 0, \quad B_i > 0, \quad C_i > A_i + B_i. \quad (3)$$

Получена система $N + 2$ линейных алгебраических уравнений с $N + 2$ неизвестными. Элементы матрицы системы (2) удовлетворяют условиям (3), поэтому для ее решения можно использовать метод прогонки, являющийся прямым и наиболее эффективным способом для решения систем подобного вида.

Предположим, что задано поле скоростей в каналах, т. е. известны коэффициенты K_i ($i = 1, \dots, 3N + 7$) и по ним определяются расходы воздуха в каналах b_i . Если коэффициент $K > 0$, то направление движения воздуха в соответствующем канале совпадает с принятым выше положительным направлением, в случае $K < 0$ движение осуществляется в противоположном направлении. Температурное поле в каналах описывается решением задачи (4), (5) в каналах, граничащих с корпусом:

$$a_i T_i'(z) + \phi_{cp}^i T_i(z) = a_{cp}^i u_{cp} + Q_i(z); \quad T_i(0) = T_i^0, \quad (4)$$

и во внутренних вертикальных каналах:

$$a_i T_i(z) = Q_i(z); \quad T_i(0) = T_i^0. \quad (5)$$

Здесь $a_i = b_i c_i$; c_i — удельная теплоемкость воздуха при средней температуре воздуха в канале; T^0 — температура воздуха на входе в канал; z — координата, совпадающая с направлением движения воздуха; α'_p — приведенный коэффициент теплоотдачи от воздуха в канале к окружающей среде, учитывающий теплоотдачу от воздуха к корпусу, от корпуса к окружающей среде и тепловое сопротивление корпуса; $Q_i(z)$ — тепловой поток к воздуху в канале от соседней платы; t_{cp} — температура окружающей среды.

В рассматриваемых задачах неизвестны температуры T^0 , поэтому задачи (4), (5) не могут быть решены без состыковки температур на входах и выходах из каналов. Предположим, что направления воздушных потоков совпадают с направлениями, изображенными на рис. В этом случае смена направлений движения воздуха в вертикальных каналах происходит два раза. Под системой опорных точек будем понимать точки, обладающие следующим свойством: задавшись произвольными значениями температур в этих точках и решая задачи (4), (5), можно однозначно определить температурные поля в каналах. Число опорных точек равно числу смен направлений движения воздуха в вертикальных каналах. В рассматриваемом варианте в качестве опорных точек можно использовать, например, пару A_1, A_2 . Температура воздуха в местах слияния потоков из двух каналов определяется как среднееарифметическая

Зададимся температурами $T_{A_1} = T_{A_2}$. Решая задачи (4), (5), последовательно найдем температурные поля во всех каналах — $\bar{T}$. Зададимся температурами $\bar{T}_{A_1} = 1$, $\bar{T}_{A_2} = 0$ и $\bar{T}_{A_1} = 0$, $\bar{T}_{A_2} = 1$. Решая однородные уравнения (4), (5), последовательно найдем температурные поля во всех каналах — $\bar{T}_1$ и $\bar{T}_2$. В силу линейности искомого температурного поля в каналах можно представить в виде

$$\bar{T} = T + r_1 \bar{T}_1 + r_2 \bar{T}_2, \quad (6)$$

где r_1 и r_2 определяются из условия непрерывности поля в точках A_1 и A_2 .

Построим алгоритм задачи. Зададимся начальными значениями $K_i^{(0)}$ ($i = 1, \dots, 3N + 7$) и средними температурами воздуха в каналах для нахождения c_i . Выбрав систему опорных точек, найдем температурные поля во всех каналах. Затем находим коэффициенты $K^{(1)}$ во всех каналах. Положим в качестве первого приближения к искомым коэффициентам K в каналах

$$K^{(1)} = (1 - \epsilon) \bar{K}^{(1)} + \epsilon K^{(0)} \quad (0 \leq \epsilon < 1), \quad (7)$$

где параметр ϵ служит для стабилизации итерационного процесса. Далее вычислительный процесс проводится рекуррентно и продолжается

до достижения необходимой точности. Сходимость предложенного итерационного процесса аналитически доказана на простых контурах для движущегося воздуха. В случае системы каналов, изображенной на рис. , сходимость процесса проверена путем численного эксперимента на ЭВМ. Из структуры алгоритма очевидно, что сходящийся итерационный процесс может приводить лишь к решению исходной задачи.

В случае нестационарного температурного поля на платах и корпусе рассматривается нестационарное уравнение теплопроводности. Выбираются узлы сетки по времени. Переход от n -го к $(n + 1)$ -му узлу по времени осуществляется следующим образом. Вначале определяется температурное поле плат и корпуса, используя температурное поле воздуха в n -й момент времени. По вышеописанному итерационному процессу определяется температурное поле воздуха, используя температурное поле плат и корпуса в $(n + 1)$ -й момент времени.

По предложенному методу были проведены расчеты. Для РЭА из 8 тепловыделяющих плат, на каждой из которых выделялась одинаковая суммарная мощность, неравномерно распределенная по плате, при обычных теплофизических характеристиках были получены различные расходы воздуха в вертикальных каналах. Отношение наибольшего расхода к наименьшему равно 1,169.

ХГУ им. А. М. Горького

18 IV 1982

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дульнев Г. Н., Тарновский Н. Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры.— М.: Энергия, 1971.— 248 с.
2. Горбунцов Д. А., Меньшиков В. В., Элькин Б. С. Об одном методе решения систем алгебраических уравнений специального вида с большим числом неизвестных — Библиографический указатель ВИНТИ «Депонированные рукописи», № 7, 6/о 120, 1979, 21 с.