

Минимум этой функции достигается при таких  $a_0^{(j)}$ ,  $a_1^{(j)}$ ,  $a_2^{(j)}$ , при которых её частные производные обращаются в нуль. Для определения  $U_{min}^{(j)}$  получаем систему из трёх уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U(a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})}{\partial a_0^{(j)}} &= 0; \\ \frac{\partial U(a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})}{\partial a_1^{(j)}} &= 0; \\ \frac{\partial U(a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})}{\partial a_2^{(j)}} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Решение данной системы будет иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} a_0^{(j)} &= f_0[t_1, t_2, \dots, t_n, y^{(j)}(t_1), y^{(j)}(t_2), \dots, y^{(j)}(t_n)]; \\ a_1^{(j)} &= f_1[t_1, t_2, \dots, t_n, y^{(j)}(t_1), y^{(j)}(t_2), \dots, y^{(j)}(t_n)]; \\ a_2^{(j)} &= f_2[t_1, t_2, \dots, t_n, y^{(j)}(t_1), y^{(j)}(t_2), \dots, y^{(j)}(t_n)]. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Таким образом, решением системы (6) являются коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , КД модели. Подставив полученные значения  $a_0^{(j)}$ ,  $a_1^{(j)}$ ,  $a_2^{(j)}$  в (2), получим оценку значения параметра  $y^{*(j)}$  в момент времени  $t_{np}$ .

e-mail: [kipres@ssau.ru](mailto:kipres@ssau.ru)

УДК 621.396

## ТЕПЛОВЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ РЭС

М.А. Панина

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Изделия электронной техники стремительно миниатюризируются. С увеличением функциональной плотности интегральных микросхем (ИМС) размеры проводящих дорожек уменьшаются, что приводит к увеличению плотности тока, увеличению доли отказов ИМС в изделиях, особенно при нарушении температурных режимов.

Микросхемы высокой степени интеграции не всегда надежны и стабильны, поэтому необходимо решать задачи отвода тепла от работающих изделий, обеспечивать неразрушение внутренних контактов интегральных схем при технологическом воздействии и испытаниях. Эти

требования приводят к изменению методов конструирования, обеспечивающих нормальный тепловой режим.

В настоящее время все большее распространение получают конструкции устройств, состоящие из скрепленных между собой ячеек, установленных на общем основании, а основание, в свою очередь, соединяется с термоплатой с применением теплопроводящей пасты. С помощью термоплаты производится отвод тепла от ячеек.

Задачей расчета является оценка эффективности теплоотвода конструкции. Для этого определяются температуры тепловыделяющих элементов в наиболее жестком температурном режиме, когда максимальная температура термоплаты не должна превышать 40 градусов по Цельсию.

Тепловой расчет производится методом тепловых сопротивлений. Участки тепловой цепи, представляющие собой тепловые сопротивления, в свою очередь эквивалентны электрическим сопротивлениям, тепловая мощность эквивалентна электрическому току, а температура в точках цепи - электрическому потенциалу.

Рассмотрим в качестве примера тепловую модель и эквивалентную схему чип-резистора,

где  $t_R$  – температура корпуса резистора, К;

$R_{\text{выв}}$  – тепловое сопротивление вывода резистора, К/Вт;

$R_{\text{пп}}$  – тепловое сопротивление печатной платы под резистором, К/Вт;

$R_{\text{экв R}}$  – эквивалентное тепловое сопротивление, К/Вт;

$P_R$  – мощность, рассеиваемая резистором, Вт.

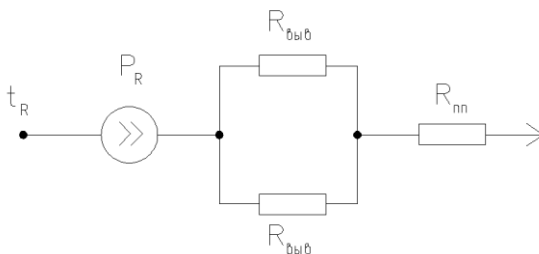


Рисунок 1 – Тепловая модель

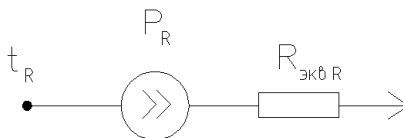


Рисунок 2 – Эквивалентная схема

Согласно схемы можно найти  $R_{\text{экв } R}$ :

$$R_{\text{экв } R} = \frac{R_{\text{ВЫВ}}}{2} + R_{\text{ПП}} = \frac{1}{2S_R} + \left( \frac{h_{\text{припоя}}}{\lambda_{\text{припоя}}} + \frac{h_{\text{ПП}}}{\lambda_{\text{ПП}}} \right),$$

где  $h_{\text{припоя}}$  – толщина слоя припоя;

$\lambda_{\text{припоя}}$ ,  $\lambda_{\text{ПП}}$  – соответственно, теплопроводности припоя и материала печатной платы;

$S_R$  – площадь контактной площадки резистора.

e-mail: [kipres@ssau.ru](mailto:kipres@ssau.ru)

УДК 621.382

## **МЕТОДИКА ОБУЧАЮЩЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА РЭС**

С.А. Яковлева

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Качество и надежность радиоэлектронной аппаратуры зависит от многих факторов, в том числе от качества паяных соединений. Особую остроту вызывает этот вопрос при поверхностном монтаже BGA, NB-BGA, MC-BGA и чип-компонентов с малыми размерами. Следовательно, для достижения высококачественного производства с высоким уровнем выхода годных изделий необходимым условием является повышение надежности паяных соединений выводов компонентов с контактными площадками печатных плат. При этом целесообразно прогнозировать изменение свойств и параметров паяных соединений после монтажа, а также возможность использования аппаратуры по окончании указанного или назначенного срока службы. Для космической аппаратуры наибольшую эффективность дает индивидуальное прогнозирование. Наиболее ответственным этапом прогнозирования является обучающий эксперимент. Он определяет точность прогнозных модели и достоверность последующего рабочего прогнозирования.

Обучающий эксперимент – это испытание в заданном режиме определенного количества изделий в течение требуемого времени, обычно равного времени последующего прогнозирования  $t_{\text{пр}}$ , и определение фактического состояния каждого экземпляра выборки к моменту окончания испытания. Цель обучающего эксперимента состоит в получении необходимого массива исходных данных, т.е. такого массива, который требуется для последующего обучения. Методические основы обучающего эксперимента для электрорадиоизделий и электронных узлов космических радиоэлектронных средств (РЭС) разработаны слабо.