

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.В. Бандяева, А.А. Денисюк

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

1. Актуальные сферы применения математических моделей индивидуального прогнозирования

Одним из направлений повышения надёжности и увеличения срока активного функционирования бортовых радиотехнических систем является индивидуальное прогнозирование (ИП) их основных параметров. Был проведен анализ отказов элементов бортовых радиотехнических систем, который показал, что для многих элементов операторы прогнозирования и математические модели отсутствуют.

2. Определения методики построения математических моделей индивидуального прогнозирования

Для построения модели был проведён обучающий эксперимент. Поскольку выявить информативные параметры с приемлемым значением коэффициента корреляции не удалось, для дальнейшего анализа был использован метод экстраполяции.

Для оценки значения параметра каждого экземпляра выборки на момент времени прогноза $t_{\text{пр}}$ на основании совокупности значений параметра $y^{(j)}(t)$, измеренных в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n , использовалось уравнение вида:

$$y^{*(j)}(t_{\text{пр}}) = H_y [y_j(t_1), y_j(t_2), \dots, y_j(t_n)], \quad (1)$$

где $t_n < t_{\text{пр}}$.

Таким образом, задача сводилась к выбору квазидетерминированной (КД) модели $f_{\text{кд}}$ и определению её коэффициентов $a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, \dots, a_m^{(j)}$ для каждого экземпляра выборки. В этом случае оценка значения параметра $y^{*(j)}(t_{\text{пр}})$ может быть определена следующим образом:

$$y^{*(j)}(t_{\text{пр}}) = f_{\text{кд}} [t_{\text{пр}}, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, \dots, a_m^{(j)}] \quad (2)$$

Анализ экспериментальных данных обучающей выборки показал, что флуктуационная составляющая случайного процесса $\tilde{y}_{\text{фл}}(t)$ незначительна по сравнению с монотонной составляющей $y_{\text{мон}}^{(j)}(t)$ этого процесса. Поэтому для данного случая можно ограничиться тремя дополнительными аргументами квазидетерминированной функции $a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)}$. Тогда моделью случайного процесса будет функция вида:

$$f_{\text{кд}}(t_{\text{пр}}, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)}) = y^{*(j)}(t_{\text{пр}}) \quad (3)$$

Для определения коэффициентов a_0, a_1, a_2 следует воспользоваться методом наименьших квадратов. В данном случае сущность метода сводится к нахождению таких значений a_0, a_1, a_2 выбранной зависимости $f_{\text{кд}}$, при которых сумма квадратов отклонений значений параметров j -го экземпляра, вычисленная по КД модели $y^{*(j)}(t_i)$, от фактических значений $y^{(j)}(t_i)$, будет минимальной, то есть:

$$\sum_{i=1}^k [y^{(j)}(t_i) - f_{\text{кд}}(t_i, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})]^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

Сумма (4) представляет собой функцию трёх переменных (трёх коэффициентов КД модели)

$$U(a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)}) = \sum_{i=1}^k [y^{(j)}(t_i) - f_{\text{кд}}(t_i, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})]^2 \quad (5)$$

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 $U_{\min}^{(j)}$ получают 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:

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

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) получают оценку значения параметра $y^{*(j)}$ в момент времени $t_{\text{пр}}$.

3. Способ описания временной зависимости дрейфа сопротивления исследуемых выборок

Для описания временной зависимости дрейфа сопротивления исследуемых выборок резисторов была подобрана логарифмическая модель

$$y^{*(j)}(t_{\text{пр}}) = a_0^{(j)} \ln[a_1^{(j)}(t_{\text{пр}} - t_n) + e],$$

где t_n – время, соответствующее номеру измерения (соответствует времени старения элемента) в процессе наблюдения за дрейфом.

Особенностью данной модели является то, что функция $f_{\text{кд}}$ в начальный момент времени равна:

$$f_{\text{кд}}(t_1, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}) = a_0^{(j)}$$

и зависит только от двух коэффициентов a_0 и a_1 . Таким образом, для прогнозирования необходимо будет определить лишь коэффициент a_1 . Так как $a_0^{(j)} = y^{(j)}(t_0)$, а для логарифмических моделей $a_0^{(j)} = y^{(j)}(t_1)$, то сумма (4) будет представлять собой функцию одной переменной – $g(a_1^{(j)})$. Она может быть записана в виде:

$$g(a_1^{(j)}) = \sum_{i=1}^n [y^{(j)}(t_i) - f_{\text{кд}}(t_i, y^{(j)}(t_1), a_1^{(j)})]^2,$$

где $i=1,2,\dots, n$ – количество измерений. Для логарифмической модели минимум функции будет в следующем случае

$$\frac{\partial g(a_1^{(j)})}{\partial a_1^{(j)}} = 2 \left[\sum_{i=1}^k \frac{(a_0^{(j)})^2 (t_i - t_1) \ln\{a_1^{(j)}(t_i - t_1) + e\}}{a_1^{(j)}(t_i - t_1) + e} - \sum_{i=0}^k \frac{a_0^{(j)}(t_i)(t_i - t_1)}{a_1^{(j)}(t_i - t_1) + e} \right] = 0$$

4. Проверка полученной модели на адекватность

Способ проверки полученной модели на адекватность заключается в определении ошибки прогнозирования по формуле:

$$\Delta^{(j)} = \tilde{y}^{(j)}(t_{\text{пр}}) - y^{*(j)}(t_{\text{пр}}).$$

Бандяева Елена Владимировна, аспирант каф. РЭС, ismagilova.ev@ssau.ru
Денисюк Алина Алексеевна, инженер каф РЭС, mikki90210@yandex.ru

УДК 621.396

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЦЕССУ МОНТАЖА КОМПОНЕНТОВ

Д.С. Богданов, А.А. Лупцов, И.С. Бобров

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

В данной работе предложены основные технические требования к проведению монтажно-сборочных операций при изготовлении электронных модулей первого уровня и первой группы жёсткости, содержащих тороидальные трансформаторы, при установке электрорадиоизделий в отверстия печатной платы. Основной акцент производителей аппаратуры был направлен на технологию поверхностного и смешанного, а внимание к монтажу в отверстия было ослаблено. Это привело к снижению качества изготовления изделий. Однако во многих случаях без использования «устаревших» технологий (монтаж отверстия) обойтись нельзя. В связи с этим необходима модернизация таких технологий. И важное место здесь занимает грамотная и актуализированная формулировка технических требований.

Для разработки технических требований к монтажу конкретных электронных модулей был проведён их конструктивно-технологический