

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫХОДНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА  
ПРИ МНОГООПЕРАЦИОННОМ  
ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 2003

Составители: *И.В. Лофицкий, Б.Н. Березков, А.В. Архипов, Г.П. Шопин*

УДК 621.396

**Исследование точности выходных параметров функционального узла при многооперационном процессе изготовления: Метод. указания к лаб. работе. / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *И.В. Лофицкий, Б.Н. Березков, А.В. Архипов, Г.П. Шопин*. Самара, 2003, 12 с.**

Статистическим методом анализа производственных погрешностей исследуется влияние технологических операций на точность выходных параметров функционального узла. Сообщаются краткие теоретические сведения, даются указания к проведению измерений и составлению отчета.

Предназначены для студентов специальности 200800 "Проектирование и технология РЭС" дневной и вечерней форм обучения.

Подготовлены на кафедре МиТРЭА

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент *А. В. Зеленский*

**Цель работы:** Статистическим методом анализа производственных погрешностей исследовать влияние операций подгонки резистивных элементов, монтажа навесных компонентов и нанесения защитного покрытия на точность выходных параметров функционального узла.

### Задание

1. Построить гистограммы и полигоны распределения погрешностей выходных параметров партии функциональных узлов после операций подгонки резистивных элементов, монтажа навесных компонентов и нанесения защитного покрытия. Определить среднее значение и среднеквадратические отклонения выходного параметра, сравнить экспериментальные распределения погрешностей с предполагаемыми теоретическими.

2. Оценить точность и стабильность технологического процесса, сравнивая среднее значение и поле отклонений выходного параметра с заданными по ТУ номинальным значением и полем допуска на этот параметр.

### Теоретические сведения

#### *Общие положения*

При изготовлении функциональных узлов на всех основных операциях технологического процесса (подгонка резистивных элементов, монтаж навесных компонентов, нанесение защитного покрытия и т. д.) действует множество систематических и случайных факторов, которые влияют на распределение выходных параметров партии изделий. Если все случайные факторы взаимонезависимы и по своему влиянию на общую погрешность выходного параметра являются величинами одного порядка, то погрешность выходного параметра распределяется по нормальному закону:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[x-M(x)]^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где  $\varphi(x)$ ,  $\sigma$ ,  $M(x)$  и  $x$  - соответственно плотность распределения, среднеквадратическое отклонение, математическое ожидание и текущее значение измеряемого параметра. При большом числе измерений считают, что  $M(x)$  совпадает со средним арифметическим значением параметра  $\bar{x}$ .

Для оценки точности и стабильности технологического процесса экспериментально снятые кривые распределения выходного параметра сравнивают с номинальным значением  $x_{ном}$  и полем допуска по ТУ на этот параметр. При этом вычисляют коэффициент относительной асимметрии  $\alpha_i$ , характеризующий отклонение среднего значения от номинального по сравнению с полем допуска на параметр по ТУ:

$$\alpha_i = \frac{\bar{x} - x_{ном}}{\delta_{ТУ}}, \quad (2)$$

где  $\delta_{ТУ}$  - половина поля допуска по ТУ.

Степень расхождения между величинами поля допуска и поля отклонений производственных погрешностей оценивают коэффициентом относительного рассеивания погрешностей  $K_i$ , иногда называемым коэффициентом точности. Его величину при нормальном законе распределения рассчитывают по формуле

$$K_i = \frac{3\sigma(x)}{\delta_{ТУ}}. \quad (3)$$

Если коэффициент  $\alpha_i$  близок к нулю и сохраняет свое значение при выпуске ряда партий, то это свидетельствует о настроенности технологического процесса. При  $K_i > 1$  точность технологического процесса неудовлетворительна, поскольку параметры части изделий будут не соответствовать ТУ. В случае  $K_i \ll 1$  имеется значительный избыток точности, что экономически не оправдано.

При многооперационном процессе изготовления функционального узла каждая операция вызывает смещение центров группирования и изменение величины рассеивания выходных параметров. Величины коэффициентов  $K_j$  и  $\alpha_j$  при этом также меняются. На рис. 1 в качестве примера показана динамика изменения погрешности длительности импульса мультивибратора. Из рисунка видно, что отбраковка изделий по допускам ТУ на предварительных операциях технологического процесса может привести к неоправданным потерям "потенциально годной" продукции.

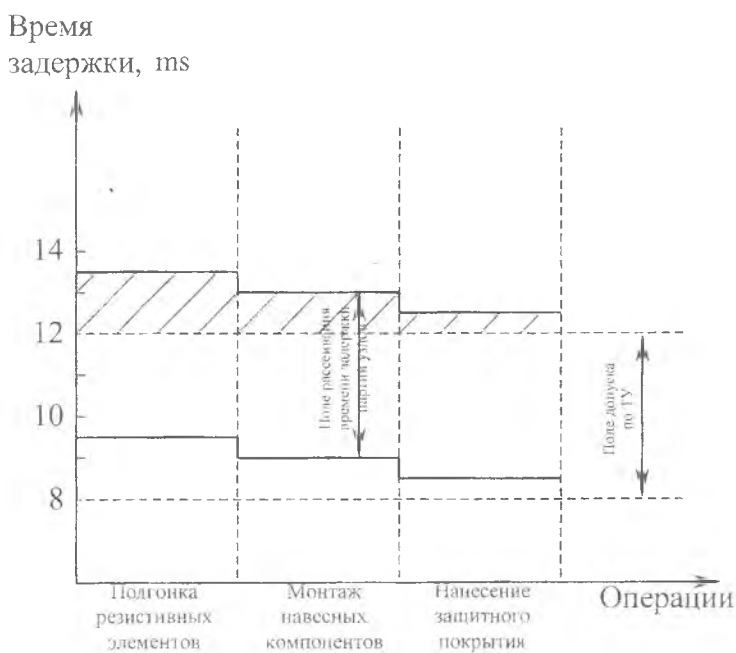


Рис. 1. Диаграмма изменения времени задержки в процессе изготовления мультивибратора

## *Построение экспериментальных кривых распределения производственных погрешностей*

Для построения экспериментальных кривых распределения производственных погрешностей из протокола измерений находят крайнее значение параметра  $X_{min}$  и  $X_{max}$  и выбирают ширину интервала  $\Delta X$  так, чтобы в интервал в среднем приходилось не менее 7-10 значений. Результаты представляются в виде таблицы.

| № интервала | Границы интервалов                               | Середина интервала | Частота | Частость |
|-------------|--|--------------------|---------|----------|
| 1           | $x_{мин}-0,5\Delta x$<br>$x_{мин}+0,5\Delta x$   | $x_{мин}$          | $n_1$   | $n_1/N$  |
| 2           | $x_{мин}+0,5\Delta x$<br>$x_{мин}+0,5\Delta x$   | $x_{мин}+\Delta x$ | $n_2$   | $n_2/N$  |
| ...         | ...  | ...                | ...     | ...      |
| m           | $x_{макс}-0,5\Delta x$<br>$x_{макс}+0,5\Delta x$ | $x_{макс}$         | $n_m$   | $n_m/N$  |

Для наглядности интервальный ряд распределения изображают графически гистограммой и полигоном распределения погрешностей (рис. 2).

Вычисление среднего значения и среднеквадратичного отклонения для интервального ряда распределений производят по следующим формулам:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j m_j}{N} \quad (4)$$

$$\delta(x) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})^2 n_j} \quad (5)$$

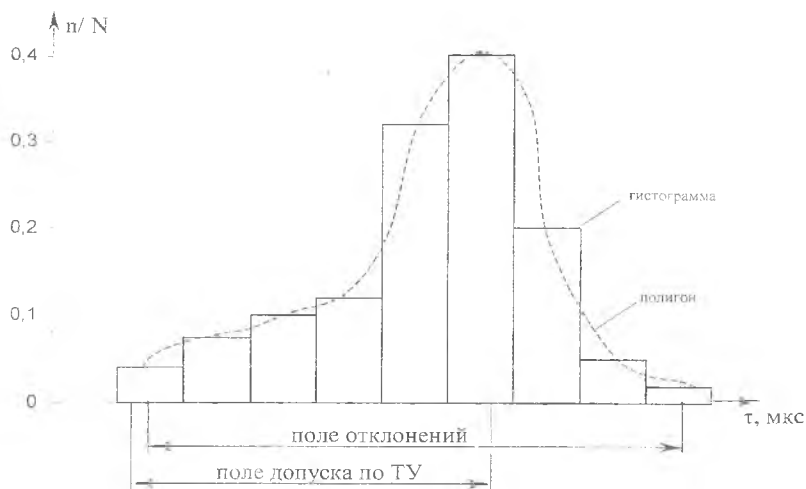


Рис. 2. Гистограмма и полигон распределения погрешностей  
длительности импульса мультивибратора

Для оценки степени соответствия практических распределений теоретически обычно пользуются критерием А.Н. Колмогорова. В основе этого критерия лежит сравнение двух функций распределения. Первая -  $W_n(x)$  представляет собой функцию пиклонных частостей опытной кривой распределения. Накопленную частость получаем, суммируя к частости  $j$ -того интервала частости всех предыдущих интервалов. Вторая функция -  $F_n(x)$  представляет собой интегральную функцию предполагаемого теоретического распределения. В случае нормального закона распределения

$$F_n(x) = \int_0^x \varphi(x) dx . \quad (6)$$

Для нахождения интервала (6) пользуются табулированными значениями интеграла вероятностей [1].

По результатам сравнения указанных функций находим наибольшее значение разности:

$$P_{\max} = W_H(x) - F_H(x). \quad (7)$$

Далее рассчитывают  $\lambda = P_{\max} \cdot \sqrt{N}$ , где  $N$  — число значений параметра, и по таблицам [2] определяют соответствующее значение вероятности  $P(\lambda)$ , по величине которой делается заключение о степени соответствия практической кривой распределения теоретическому закону.

## **Влияние технологических факторов на выходные параметры функционального узла**

### ***1. Подгонка резистивных элементов***

Получение резистивных элементов микросборок на платах осуществляется групповым способом. В результате действия различных технологических факторов точность получаемых номиналов отличается от заданной. С целью повышения процента выхода годных плат применяют процесс подгонки резистивных элементов. Процесс подгонки заключается в удалении части материала с поверхности резисторов. Это позволяет свести к минимуму разброс параметров резистивных элементов на плате, но приводит к снижению номинальной мощности рассеивания.

### ***2. Монтаж навесных компонентов***

Монтаж навесных компонентов на толстопленочные платы микросборок осуществляется пайкой. При монтаже навесных компонентов с жесткими (балочными) выводами используют групповую пайку с применением паяльной пасты. Монтаж компонентов с гибкими выводами осуществляется с использованием полуавтоматических и автоматических установок пайки. Влияние пайки на параметры функционального узла обусловлено главным образом тепловым воздействием на элементы, интенсивность которого зависит от следующих факторов:



- температуры и продолжительности пайки;
- величины и характера температурного коэффициента линейного расширения материалов;
- количества элементов на плате и расстояний между ними;
- температурных коэффициентов параметров комплектующих элементов.

Перегрев при пайке вызывает изменение параметров резисторов, конденсаторов и особенно полупроводниковых приборов. Отклонение сопротивления резисторов от номинального значения достигает в отдельных случаях 20%.

### *3. Нанесение защитного покрытия*

Наиболее широкое распространение для герметизации толсто- пленочных плат микросборок получили компаунды на основе эпоксидных смол. Достоинствами эпоксидных смол являются:

- отверждение без повышенного давления и при допустимых температурах;
- хорошая адгезия почти к любым поверхностям;
- хорошая совместимость с неорганическими порошкообразными наполнителями;
- хорошие механические и диэлектрические характеристики, относительно малая усадка.

К недостаткам можно отнести следующее:

- токсичность;
- большая удельная масса (2,5-3 г/см<sup>3</sup>);
- длительность технологического цикла.

При нанесении защитного покрытия происходят следующие изменения свойств функциональных узлов, сказывающихся на выходных параметрах:

- 1.Повышение механической прочности.
- 2.Повышение влагостойкости.

3.Повышение электрической прочности в связи с заменой воздуха полимером с высоким объемным сопротивлением.

4.Повышение собственной емкости.

5.Изменение условий теплоотвода.

6.Увеличение массы.

7.Внутренние механические напряжения. Во-первых, они вызваны первичной усадкой при полимеризации в связи с переходом сравнительно низкомолекулярной смолы в высокомолекулярное соединение более компактной структуры. Во-вторых, температурный коэффициент линейного расширения компонентов меньше, чем у компаунда. При циклическом изменении температуры возникают большие усилия деформации, в результате которых накапливаются внутренние механические напряжения.

### Порядок выполнения работы

1.После проверки готовности к работе получить у преподавателя партию плат микросборок мультивибратора.

2.Провести измерение сопротивлений резисторов, полученных после операции подгонки согласно карте измерений.

3.Провести измерения длительности импульса мультивибраторов после операции монтажа навесных компонентов.

4.Провести измерения длительности импульса мультивибратора после операции герметизации. Построить гистограмму и полигон распределения длительности импульса, найти  $\tau$ ,  $\delta(\tau)$ ,  $\alpha_i$ ,  $k_j$ .

5.Сравнить результаты распределения длительности импульса функциональных узлов и сделать выводы о динамике ее изменения по сравнению с номинальным значением и полем допуска по ТУ на этот параметр.

## Контрольные вопросы

1. Когда имеет место нормальный закон распределения производственных погрешностей? Запишите его математическое выражение и объясните основные величины, входящие в это выражение.

2. Как определяются и что характеризуют коэффициенты относительной асимметрии  $\alpha_j$  и относительного рассеивания погрешностей  $k_j$ ?

3. Каковы должны быть значения коэффициентов  $\alpha_j$  и  $k_j$  в случае настроенного, стабильного и достаточно точного технологического процесса?

4. Как построить кривую распределения производственных погрешностей?

5. Как определяется соответствие экспериментального закона распределения нормальному теоретическому закону?

6. Как меняются свойства функционального узла в результате нанесения защитного покрытия?

## Список использованных источников

1. Митропольский А.К.. Интеграл вероятностей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1972.

2. Лунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В.. Теория вероятностей и математической статистики в технике. М.: Гостехиздат, 1955.

*Учебное издание*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫХОДНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА ПРИ  
МНОГООПЕРАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

*Методические указания к лабораторной работе*

Составители: *Лофицкий Игорь Вадимович*  
*Березков Борис Николаевич*  
*Архипов Алексей Владимирович*  
*Шопин Геннадий Павлович*

Редактор Т. К. К р е т и н и н а  
Компьютерная верстка О. А. А н а н ь е в

Подписано в печать 10.07.03. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ л. 0,69.Усл.кр.-отт. 0,74.Уч.-изд.л. 0,75

Тираж 100 экз. Заказ **66** Арт. С-49/2003.

Самарский государственный аэрокосмический  
университет им.акалемика С.П.Королева.  
443086 Самара , Московское шоссе, 34

---

РИО Самарского государственного аэрокосмического  
университета. 443001 Самара. ул. Молодогвардейская, 151.