

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ВЫХОДНОГО ПАРАМЕТРА РЭУ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

7.1. Цель работы

Цель работы: исследование вероятностного рассеивания выходного параметра РЭУ с учетом производственных погрешностей параметров элементов и назначение на основе этого производственного допуска на выходной параметр.

Для достижения цели в работе реализуется метод Монте-Карло с использованием математического моделирования, при котором случайным изменениям подвергаются первичные параметры математической модели РЭУ.

7.2. Теоретические сведения

При использовании математического моделирования методом Монте-Карло исходными данными должны быть: вероятностное описание первичных параметров x_1, x_2, \dots, x_n или их относительных производственных погрешностей $\Delta x_1/x_1, \Delta x_2/x_2, \dots, \Delta x_n/x_n$ и хотя бы приближенный вид математической модели

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (7.1)$$

где y — выходной параметр;

x_1, x_2, \dots, x_n — первичные параметры;

n — общее число учитываемых первичных параметров.

При моделировании РЭУ (процесса) методом Монте-Карло можно выделить следующие этапы [1]:

1. Получение случайной комбинации значений первичных параметров x_1, x_2, \dots, x_n для j -й реализации процесса, $j = 1, 2, \dots, N$, где N — общее число реализаций процесса. Это осуществляется с учётом средних (номинальных) значений и допусков первичных параметров, а также законов их распределения в пределах полей допусков.

Реализации первичных параметров получают, используя характеристики (параметры) законов их распределения, например при нормальном законе это m и σ , при равномерном — a и b , при экспоненциальном — λ [1]. Поэтому, чтобы смоделировать первичный параметр, распределённый по тому или иному закону, надо вначале найти характеристики закона распределения, которые определённым образом связаны со средним значением $M(x)$ и средним квадратическим отклонением (СКО) $\sigma(x)$ рассматриваемого параметра x (табл. 7.1).

2. Подставление полученной случайной комбинации значений x_1, x_2, \dots, x_n в математическую модель вида (7.1) и определение значения y для j -й реализации РЭУ.

3. Проведение N реализаций РЭУ и получение ряда значений y_1, y_2, \dots, y_N .

Таблица 7.1

Закон распределения	Параметры закона	Связь параметров закона с $M(x)$ и $\sigma(x)$	Определение $\sigma(x)$ по значению $\delta(x)$
Нормальный	m, σ	$m = M(x),$ $\sigma = \sigma(x)$	$\sigma(x) \approx \frac{\delta(x)}{3}$
Равномерный	a, b	$a = x_{iH}, b = x_{iB};$ $M(x) = \frac{x_{iH} + x_{iB}}{2}$	$\sigma(x) = \frac{\delta(x)}{\sqrt{3}}$

Требуемое число реализаций N может быть определено по формуле [1, 2]

$$N \geq \frac{4[\sigma(y)]^2}{\Delta^2}, \quad (7.2)$$

где $\sigma(y)$ – СКО выходного параметра;

Δ – заданная (до начала моделирования) аб-

солютная погрешность определения среднего значения выходного параметра.

СКО $\sigma(y)$ вначале определяют приближенно по результатам некоторого числа реализаций РЭУ ($N \approx 1000$), затем по мере накопления числа реализаций его уточняют. Когда условие (7.2) выполняется, моделирование заканчивают.

4. Статистическая обработка ряда y_1, y_2, \dots, y_N . Используют классические формулы

$$M(y) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j; \quad \sigma(y) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N [y_j - M(y)]^2}{N-1}}, \quad (7.3)$$

где y_j – значение выходного параметра в j -й реализации РЭУ;

N – общее число реализаций РЭУ.

Среднее значение $M(y)$ обычно принимается за номинальное значение выходного параметра. Основываясь на значениях СКО $\sigma(y)$, назначают допуск на выходной параметр (см. лаб. работу № 5, с. 39 – 40).

7.3. Исследуемое РЭУ и его математическая модель

Исследуемым РЭУ является неинвертирующий источник опорного напряжения. Его электрическая схема приведена на рис. 7.1.

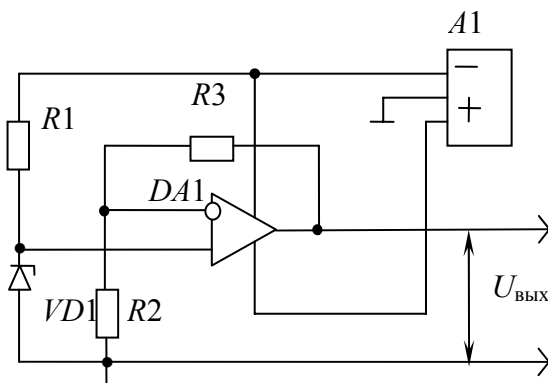


Рис. 7.1. Электрическая схема источника опорного напряжения

В качестве выходного параметра y рассматривается выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ (см. рис. 7.1), в качестве первичных параметров – сопротивления резисторов $R1 - R3$, напряжение стабилизации $U_{\text{ст}}$ элемента $VD1$ и напряжение питания $U_{\text{пит}}$ источника питания $A1$.

Математической моделью РЭУ является уравнение регрессии, построенное для выходного параметра $U_{\text{вых}}$ в лабораторной работе № 4, или выражение, приводимое в литературе [5]:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{ст}} \frac{R2 + R3}{R2}, \quad (7.4)$$

если лабораторная работа № 4 не выполнялась.

7.4. Задание на экспериментальную часть лабораторной работы

Рекомендуемая последовательность выполнения работы:

1. Ознакомиться со схемой исследуемого РЭУ.
2. Уточнить математическую модель РЭУ: выяснить, что рассматривается в качестве выходного параметра, какие параметры являются первичными и каковы их номинальные значения и производственные допуски.

Если в качестве математической модели РЭУ используется уравнение регрессии, построенное в лабораторной работе № 4, то интересующая информация должна заимствоваться из этой лабораторной работы. При использовании в качестве математической модели выражения (7.4)

следует воспользоваться данными табл. 7.2.

3. Подготовить информацию, необходимую для получения на ЭВМ случайных реализаций первичных параметров. При выполнении этого пункта следует руководствоваться табл. 7.1.

4. Определить требуемое число реализаций РЭУ, пользуясь формулой (7.2).

Примерное значение $\sigma(y)$ определяется по результатам обработки начального числа (N_1) реализаций. На требуемое число реализаций N заметно влияет допустимая ошибка Δ (см. формулу (7.2)). Значение Δ , как правило, не известно. Его выбор может быть сделан следующим образом. Принимая во внимание функциональное назначение РЭУ и физический смысл выходного параметра $y \rightarrow U_{\text{вых}}$, определяют, какое значение половины поля допуска $\delta(y)$, устанавливаемое на этот параметр, может быть приемлемым для практики. В качестве Δ следует взять такое значение, которое как минимум в 20 ... 100 раз меньше $\delta(y)$:

$$\Delta \leq (0,01 \dots 0,05) \delta(y).$$

Значение $\delta(y)$ принять исходя из производственного допуска на выходной параметр $U_{\text{вых}}$, приемлемого для практики: $\Delta_{\text{пр}} = \pm 5 \%$.

5. Используя программу моделирования РЭУ на ЭВМ (**lab5-7** в папке **ТОКТиН**), выполнить требуемое число реализаций. Общее число реализаций должно быть не менее, чем значение N , найденное по формуле (7.2) в п. 4.

Таблица 7.2

Элемент электрической схемы	Первичный параметр	Номинальное значение и допуск	Закон распределения
$R2$	$R2$	10 кОм $\pm 10 \%$	Устанавливается путём анализа
$R3$	$R3$	5,1 кОм $\pm 5 \%$	То же
$VD1$	$U_{\text{ст}}$	3,3 В $\pm 10 \%$	Нормальный

6. С помощью программы **lab5-7** выполнить статистическую обработку всех N реализаций РЭУ: получить значения $M(y)$ и $\sigma(y)$, просмотреть гистограммы распределения выходного параметра $y \rightarrow U_{\text{вых}}$ при сопоставимом числе интервалов и выбрать её рабочий вид. Пользуясь критерием Пирсона (критерием согласия χ^2), определить правомерность использования на практике гипотезы о нормальном законе распределения выходного параметра.

Рекомендации. 1. При числе наблюдений выходного параметра (реализаций РЭУ), превышающем значение $N > 500 - 1000$, количество интервалов k , используемых для построения гистограммы, примерно берут из диапазона $k = 15 - 25$.

2. Из нескольких гистограмм, полученных при сопоставимом числе интервалов, лучшей является та, которая имеет меньшее число инверсий (кроме равномерного распределения). Инверсией считают смену закономерности изменения высот прямоугольников гистограммы.

7. С учётом значения $\sigma(y)$, найденного в п. 6, и гипотезы о нормальном распределении выходного параметра $y \rightarrow U_{\text{вых}}$ определить половины полей производственного разброса $\delta(y)$ и $\delta(\Delta y/y)$, соответствующие вероятности 0,9973.

8. Назначить производственный допуск на выходной параметр РЭУ. Если назначаемый допуск не отвечает требованию заказчика, то необходимо принять $\Delta_{\text{пр}} = \Delta_{\text{пр}}^{(\text{зак})}$ и выяснить, какой процент РЭУ сразу будет отвечать требованию.

Примечания. 1. Этот пункт выполняется только в случае указания преподавателем.

2. При выполнении пункта пользоваться тем, что, исходя из служебного назначения РЭУ, заказчика устраивает допуск $\Delta_{\text{пр}}^{(\text{зак})} = \pm 5 \%$.

3. Для определения процента РЭУ, сразу отвечающих требованию к производственному допуску на выходной параметр, следует воспользоваться указаниями лаб. работы № 5 (см. с. 39 – 40).

9. С учётом производственных допусков первичных параметров определить аналитическим вероятностным методом характеристику $\delta(\Delta y/y)$, соответствующую вероятности 0,9973. Эта часть задания лабораторной работы может выполняться во внеурочное время.

Приёмы определения производственных допусков на выходные параметры вероятностным методом подробно рассмотрены в [1, 3, 4].

10. Сравнить значения характеристик $\delta(\Delta y/y)$, полученных методом Монте-Карло с использованием математического моделирования РЭУ и аналитическим вероятностным методом. Объяснить причину расхождения.

11. Написать отчёт по работе.

7.5. Содержание отчёта

1. Формулировка цели исследования.

2. Электрическая схема исследуемого РЭУ, его математическая модель с указанием номинальных значений и предельных отклонений первичных параметров.

3. Информация, используемая для моделирования на ПЭВМ случайных реализаций первичных параметров. Привести в виде табл. 7.3.

Таблица 7.3

Элемент электрической схемы	Первичный параметр	Номинальное значение и допуск	Закон распределения	Параметры закона распределения
...

4. Результаты математического моделирования РЭУ для j -й реализации: случайные реализации первичных параметров и значение выходного параметра, полученное с помощью математической модели РЭУ для этой реализации. Информацию привести в виде табл. 7.4 для первых пяти реализаций РЭУ.

5. Результаты статистической обработки на ПЭВМ всех N реализаций РЭУ: среднее значение $M(y)$ и СКО $\sigma(y)$ выходного параметра, а также гистограмму его распределения.

Таблица 7.4

Номер реализации РЭУ	Значения первичных параметров в j -й реализации			Значение выходного параметра, соответствующего j -й реализации, [разм]
	$x_1 \rightarrow R2,$ [разм]	...	$x_n \rightarrow \dots,$ [разм]	
1
...

6. Обоснованное заключение о значении производ-

ственного допуска на выходной параметр, выраженное как размерностью выходного параметра, так и относительным отклонением в процентах. Если производственный допуск придётся устанавливать исходя из требований заказчика, то необходимо указать процент РЭУ, который сразу будет отвечать требованию к производственному допуску. Указанный процент РЭУ подтвердить расчётом.

Примечание. Этот пункт приводится только в случае выполнения п.8 рубрики «7.4. Задание на экспериментальную часть лабораторной работы».

7. Значения характеристик $\delta(y)$ и $\delta(\Delta y/y)$ выходного параметра $y \rightarrow U_{\text{вых}}$, найденных с использованием результатов математического моделирования РЭУ, и значение характеристики $\delta(\Delta y/y)$, рассчитанной вероятностным методом. Значения характеристик должны соответствовать вероятности 0,9973.

8. Выводы по работе. В выводах обязательно привести объяснение причин расхождения характеристик $\delta(\Delta y/y)$, полученных методом Монте-Карло с использованием математического моделирования РЭУ и аналитическим вероятностным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности: Учеб. для студ. инж.-техн. спец. вузов. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.
2. Фролов А.Д. Теоретические основы конструирования и надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Высш. шк., 1970. – 488 с.
3. Боровиков С.М., Погребняков А.В. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. Сборник задач: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: БГУИР, 2001. – 124 с.
4. Фомин А.В., Борисов В.Ф., Чермошенский В.В. Допуски в РЭА. – М.: Сов. радио, 1973. – 129 с.
- Нестеренко Б.К. Интегральные операционные усилители: Справ. пособие по применению. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80 с.