МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

Методические указания
по выполнению контрольной работы по дисциплине
«Моделирование в РЭС» для студентов
специальности 210201 всех форм обучения

Тамбов
Издательство ТГТУ
2007

УДК 621.396.6
ББК ←844-02я73-5
Ч497

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
А.А. Чуриков

Составители:

Т.И. Чернышова,
В.А. Тётушкин

Ч497 Моделирование в радиоэлекронных средствах : методические указания по выполнению контрольной работы / сост. : Т.И. Чернышова, В.А. Тётушкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 12 с. – 100 экз.

Даны методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Моделирование в РЭС» и список рекомендуемой литературы.
Издание предназначено для студентов специальности 210201 всех форм обучения

УДК 621.396.6
ББК ←844-02я73-5

Учебное издание

МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

Методические указания

Составители: ЧЕРНЫШОВА Татьяна Ивановна,
ТЁТУШКИН Владимир Александрович

Редактор Е.С. Мордасова
Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 26.06.2007.
Формат 60 × 84/16. 0,7 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 430

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Моделирование в радиоэлектронных средствах» (РЭС) имеет своей целью формирование и развитие фундаментальных знаний при подготовке специалистов в области моделирования в РЭС, применяемого на всех этапах жизненного цикла радиоэлектронных средств и в управлении производством.

Основными задачами дисциплины являются следующие: изучение основ, принципов и методологии моделирования в РЭС; овладение техническими и программными средствами, математическим аппаратом, используемыми в моделировании; получение представлений об автоматизированных системах подготовки производства, технологиях проектирования микропроцессорных средств, интегрированных системах автоматизации проектных работ и управления производством.

Комплекс всех вышеперечисленных вопросов и задач позволяет сформировать инженерное мышление и кругозор конструктора-технолога, необходимые ему как в практической работе, так и на завершающих этапах обучения – при выполнении курсовых работ и дипломного проекта.

Курс «Моделирование в радиоэлектронных средствах» базируется на знаниях, полученных студентами при изучении следующих специальных дисциплин: «Математика», «Физика», «Основы радиоэлектроники», «Информатика и языки программирования» и предусматривает выполнение контрольной работы.

Контрольная работа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

Одна из задач, возникающих при проектировании РЭС (например, электронных измерительных средств) – это оценка точности выходных параметров узлов, блоков, и средства в целом. Решение этой задачи возможно на основе математического статистического моделирования.

Достоинство метода: возможность учета любых статистических законов распределения параметров, любой функциональной связи параметров, а также любых дополнительных ограничений на параметры компонента РЭС и его внешние характеристики.

Конечной целью статистического моделирования является оценка вероятностных характеристик исследуемых параметров. Метод основан на математическом моделировании случайных величин и процессов для проведения математического эксперимента.

В общем случае выходной параметр разрабатываемого средства U является функцией входной величины A; параметров комплектующих элементов $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \ldots, \xi_n$; внешних возмущающих воздействий $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_m$:

$$U = F(A, \zeta_1, \zeta_2, ..., \zeta_n, \varphi_1, \varphi_2, ..., \varphi_m)\,. \tag{1}$$

Нахождение функции является первым этапом любого моделирования и требует изучения объекта моделирования, влияющих факторов и их взаимосвязей. Параметры, входящие в данную функцию, являются случайными. Параметры комплектующих элементов задаются как определенные номинальные значения с некоторым разбросом, как x_i = 10 кОм ± 5 %, аналогично и внешние факторы (например, напряжение питания φ_1 = 220 В ± 10 %).

Так как каждая из величин подчиняется своему закону распределения, а между ними могут иметь место корреляционные связи, то определение закона распределения и доверительного интервала для входного параметра осуществляется с применением вероятностно-статистического аппарата.

С помощью метода Монте-Карло определяются вероятностные модели параметров величин, которые затем используются для определения величины U_i. Повторяя эту процедуру N раз, формируется последовательность параметров $U_1, U_2, \ldots, U_N$, являющихся случайными величинами, по которым оценивается закон распределения параметра U и его числовые характеристики.

Таким образом, сущность метода Монте-Карло – в математическом моделировании случайных величин или процессов с заданными вероятностными характеристиками и многократным вычислением исследуемого параметра по заданной аналитической модели объекта.

Точность метода Монте-Карло определяется:

– адекватностью аналитического выражения, описывающего реальный объект;

– числом статистических испытаний N (числом моделируемых реализаций)

$$N \ge \frac{9P(1-P)}{\delta^2}\,, \tag{2}$$

где P – вероятность обеспечения заданной точности моделирования; δ – точность моделирования.

Высокую точность можно получить при большом числе испытаний N. Например, чтобы обеспечить с вероятностью P = 0,99 точность моделирования δ = 0,01 (1 % максимального отклонения значения моделируемой величины) необходимо провести N = 90 000 испытаний.

При решении инженерных задач выбирают δ = 0,01…0,05 (1…5 % максимального отклонения значения моделируемой величины).

Схема расчета достаточно проста. Для каждого элемента его параметр разыгрывается как случайное число; затем по формуле (1) при неизменном A вычисляют U. Повторяют этот опыт N раз, и получают значения $U_1, U_2, \ldots, U_N$. Этот процесс и называется статистическим моделированием. Затем производят обработку результатов эксперимента, и получают математическое ожидание M_U и среднеквадратическое отклонение σ_U, которое и характеризует точность выходного параметра.

Статистическое моделирование проводится на основе метода Монте-Карло следующим образом. В качестве исходных данных используются: математическая модель вида (1), параметры элементов и закон распределения $P(\xi_j)$ параметров элементов, который предполагается нормальным.

Положим:

X – номинальное значение параметра элемента;

$X^{(-)}$ – максимальное нижнее отклонение параметра элемента;

$X^{(+)}$ – максимальное верхнее отклонение параметра элемента.

Обозначим x значение параметра элемента в реальных условиях. Предполагая закон распределения параметров элементов нормальным, с вероятностью $P = 0{,}997$ получим:

$$X = M(x); \quad X^{(-)} = M(x) - 3\sigma_x; \quad X^{(+)} = M(x) + 3\sigma_x, \tag{3}$$

где $M(x)$ – математическое ожидание x; σ_x – средняя квадратичная погрешность x.

На основании центральной предельной теоремы теории вероятностей x можно представить в виде

$$x = \sum_{i=1}^{n} \xi_i , \tag{4}$$

где ξ – случайная величина, равномерно распределенная на некотором отрезке $[a;\ b]$. Поскольку она распределена равномерно, то ее можно представить в виде

$$\xi = a + \eta(b - a), \tag{5}$$

где η – случайное число, равномерно распределенное на отрезке $[0;\ 1]$.

Величины a и b можно определить из следующих соображений. Пусть x принимает минимальное возможное значение

$$x \to \min = X^{(-)} = X - 3\sigma_x . \tag{6}$$

Это возможно в случае, когда каждое слагаемое (4) принимает минимальное значение:

$$\xi = a + \eta(b - a) \to \min : \eta \to 0 \Rightarrow \xi \to a. \tag{7}$$

Отсюда получаем:

$$x = \sum_{i=1}^{n} \xi_i \to \min \Rightarrow X - 3\sigma_x = \sum_{i=1}^{n} a = na; \quad \Rightarrow a = \frac{X}{n} - 3\frac{\sigma_x}{n}. \tag{8}$$

Аналогично:

$$x \to \max = X^{(+)} = X + 3\sigma_x;$$

$$\Rightarrow \xi = a + \eta(b - a) \to \max : \eta \to 1 \Rightarrow \xi \to b;$$

$$\Rightarrow X + 3\sigma_x = \sum_{i=1}^{n} b = nb, \qquad \Rightarrow b = \frac{X}{n} + 3\frac{\sigma_x}{n}. \tag{9}$$

Алгоритм расчета следующий:

1. Вычисляется выходной параметр схемы по номинальным значениям параметров элементов по формуле (1).
2. Определяется требуемое число реализаций N при $\delta = 0{,}05$ и $P = 0{,}95$ по выражению (2).
3. Генерируется случайное (псевдослучайное) число η, равномерно распределенное на отрезке $[0;\ 1]$.
4. По формуле (5) разыгрывается случайная величина ξ, при этом a и b вычисляются по (8) и (9) с учетом того, что σ_x – 1/3 указанного отклонения номинала применяемых элементов.
5. Выполняя п. 2, 3 в количестве $q \geq 12$ раз, определяется параметр x элемента по формуле (4).
6. Пункты 2 – 4 выполняются для всех элементов.
7. Вычисляем значения выходного параметра по (1) с учетом п. 2 – 4.
8. Пункты 2 – 6 выполняются N раз.
9. Определяется математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение:

$$M_U = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} U_j; \tag{10}$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N} \left[U_j - M_U \right]^2}{N - 1}} . \tag{11}$$

Выполнение контрольной работы можно разделить на два основных этапа: построение математической модели устройства вида (1) и написание программы моделирования по изложенному выше алгоритму.

Построение математической модели производится на основе ранее изученных курсов по основам схемотехники электронных устройств.

Выполнение второго этапа базируется на курсах по алгоритмам и программированию на алгоритмических языках. Предполагается использование языка С++ версии Borland C++ 3.1.

Основой программы моделирования является генератор равномерно распределенных псевдослучайных чисел (ПСЧ). Один из возможных алгоритмов генерации последовательности таких ПСЧ приведен ниже.

Алгоритм генерации последовательности псевдослучайных чисел.

Самый простой алгоритм, обеспечивающий генерацию последовательности равномерно распределенных псевдослучайных чисел:

$$i_{j+1} = ai_j \bmod m.$$

Поскольку язык высокого уровня (С++) дает переполнение разрядов, то для обхода этого эффекта используется следующий прием:

$$m = aq + r.$$

Если $r < q$ и $0 < z < m$, то при этом величины $az \bmod q$ и $r(z/q)$ лежат в интервале (0; m – 1). Для вычисления результата операции $x \bmod y$ используется алгоритм:

$$t = az \bmod q - r\,(z/q) \text{ если } t < 0 \text{ то } t+ = m;\ az \bmod m = t.$$

При этом используются следующие значения констант:

$$a = 168070, \quad m = 2147483647, \quad q = 12773, \quad r = 2836.$$

Литература: [4 – 6, 8, 10 – 11, 13 – 14].

Порядок выполнения контрольной работы

При выполнении контрольной работы применяется следующая последовательность действий:

1. Изучается сущность и последовательность расчетов метода статистического моделирования.
2. Выбирается по заданию преподавателя одна из электрических принципиальных схем.
3. Строится математическая модель на основе схемотехники электронных устройств.
4. Проводится статистический вычислительный эксперимент по оценке параметров модели работы устройства с составлением программы расчета на языке С++.
5. Выводы.

Пример построения математической модели погрешности

Задание. Построить математическую модель относительной погрешности коэффициента усиления неинвертирующего усилителя (рис. 1), вызванной погрешностью сопротивлений резисторов, и провести статистический вычислительный эксперимент по оценке параметров закона ее распределения. Резисторы общего применения, отклонение сопротивлений от номинального $\Delta R = \pm 5$ %. Номиналы: $R_1 = 20$ кОм, $R_2 = 100$ кОм,
$R_3 = 10$ кОм, $m = 5$.

Выполнение. Для операционного усилителя (ОУ) собственное выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ равно разнице напряжений на его входах, умноженной на собственный коэффициент усиления:

$$U_{\text{вых}} = K\left(U'_{\text{вх. н}} - U'_{\text{вх. и}}\right), \tag{1}$$

где K – собственный коэффициент усиления ОУ; $U'_{\text{вх. н}}$ – напряжение на неинвертирующем входе; $U'_{\text{вх. и}}$ – напряжение на инвертирующем входе.

Напряжение на неинвертирующем входе равно входному напряжению

$$U'_{\text{вх. н}} = U_{\text{вх}}, \tag{2}$$

а напряжение на инвертирующем входе формируется цепью обратной связи $R_1 - R_2$ из выходного. Цепь обратной связи $R_1 - R_2$ представляет собой делитель напряжения, напряжение в средней точке которого, попадающее на инвертирующий вход, равно

$$U'_{\text{вх. и}} = U_{\text{вых}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}. \tag{3}$$

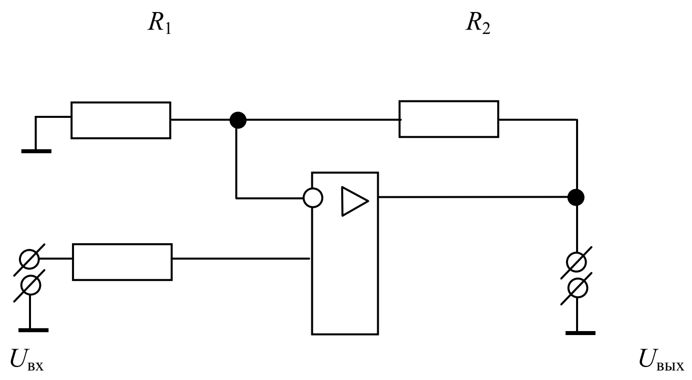

Рис. 1. Неинвертирующий усилитель

Подставляя (2) и (3) в (1), получаем

$$U_{\text{вых}} = K\left(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right). \tag{4}$$

Коэффициент усиления есть отношение выходного напряжения к входному. Таким образом, с учетом (4):

$$K_{\text{н}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{K}{U_{\text{вх}}}\left(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) = K\left(1 - \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) =$$
$$= K - KK_{\text{н}} \frac{R_1}{R_1 + R_2};$$

$$\Rightarrow K_{\text{н}} = \frac{K}{1 + K\dfrac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{1}{\dfrac{1}{K} + \dfrac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \dfrac{R_1 + R_2}{KR_1}}, \tag{5}$$

где $K_{\text{н}}$ – коэффициент усиления неинвертирующего усилителя.

Так как собственный коэффициент усиления ОУ очень велик (порядка нескольких десятков тысяч), то

$$\frac{R_1 + R_2}{KR_1} \to 0, \ \Rightarrow \ K_{\text{н}} \approx 1 + \frac{R_2}{R_1}. \tag{6}$$

Тогда получим

$$\varepsilon_m = \frac{K^{\text{р}} - K^{\text{н}}}{K^{\text{н}}}, \tag{7}$$

где $K^{\text{н}}$ рассчитывается по (6) с использованием номинальных значений сопротивлений резисторов, а $K^{\text{р}}$ также рассчитывается по (6), но с использованием разыгранных согласно вышеизложенной методике значений сопротивлений.

Таким образом произведем вычисления, при этом $m = 5$:

$$K_{\text{н}} = 1 + (100/20) = 6.$$

Примем:

$$\Delta R_2^1 = +4\ \%;\ \Delta R_2^2 = +4\ \%;\ \Delta R_2^3 = +3\ \%;\ \Delta R_2^4 = +5\ \%;\ \Delta R_2^5 = –2\ \%;$$

$$\Delta R_1^1 = –3\ \%;\ \Delta R_1^2 = –2\ \%;\ \Delta R_1^3 = –2\ \%;\ \Delta R_1^4 = –\ 4\ \%;\ \Delta R_1^5 = +1\ \%.$$

Тогда 1 % R_2 = 1 кОм; 1 % R_1 = 0,2 кОм:

1) $K_\text{р}^1$ = 1 + (104/19,4) = 6,36;

2) $K_\text{р}^2$ = 1 + (104/19,6) = 6,31;

3) $K_\text{р}^3$ = 1 + (103/19,6) = 6,26;

4) $K_\text{р}^4$ = 1 + (105/19,2) = 6,47;

5) $K_\text{р}^5$ = 1 + (98/20,2) = 5,85.

Относительная погрешность в соответствии с (7) равна:

1) ε_m^1 = (6,36 – 6)/6 = 0,06;

2) ε_m^2 = (6,31 – 6)/6 = 0,052;

3) ε_m^3 = (6,26 – 6)/6 = 0,043;

4) ε_m^4 = (6,47 – 6)/6 = 0,078;

5) ε_m^5 = (5,85 – 6)/6 = – 0,025.

Тогда $\delta\varepsilon = (\Sigma|\varepsilon_m|/m)100$ %:

$\delta\varepsilon$ = (0,06 + 0,052 + 0,043 + 0,078 + 0,025)/5 = 5,16 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация проектирования РЭС : учебное пособие / О.В. Алексеев и др. – М. : Высшая школа, 2000. – 479 с.
2. Автоматизированное проектирование систем управления / под ред. М. Джамшиди и др. ; пер. с англ. В.Г. Дунаева и А.М. Косилова. – М. : Машиностроение, 1989. – 344 с.
3. Влах, И. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем / И. Влах, К. Сингхал. – М. : Радио и связь, 1988. – 560 с.
4. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М. : Высшая школа, 1977. – 479 с.
5. Гутников, В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах / В.С. Гутников. – Л. : Энергоатоомиздат, 1988. – 304 с.
6. Каяцкас, А.А. Основы радиоэлектроники : учебное пособие для вузов / А.А. Каяцкас. – М. : Высшая школа, 1988. – 464 с.
7. Курейчик, В.М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР : учебник для вузов / В.М. Курейчик. – М. : Радио и связь, 1990. – 352 с.
8. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники : учебное пособие для вузов / Е.И. Манаев. – М. : Радио и связь, 1985. – 488 с.
9. Беленсон, З.М. Моделирование и оптимизация на ЭВМ радиоэлектронных устройств / З.М. Беленсон и др. – М. : Радио и связь, 1981. – 272 с.
10. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс) : учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров ; под ред. О.П. Глудкина. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 768 с.
11. Подбельский, В.В. Язык C++ / В.В. Подбельский. – М. : Финансы и статистика, 1995. – 560 с.
12. Системы автоматизированного проектирования : в 9 кн. Кн. 4. Математические модели технических объектов : учебное пособие для втузов / под ред. И.П. Норенкова. – М. : Высшая школа, 1986. – 160 с.
13. Соболь, И.М. Метод Монте-Карло / И.М. Соболь. – М. : Наука, 1972. – 64 с.
14. Хоровиц, П. Искусство схемотехники : в 2 т. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Мир, 1986.