

УДК 519.21

Гончарук В.В. (Національний авіаційний університет, м.Київ)

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

Гончарук В.В. Імітаційне моделювання процесів в системах електропостачання та його застосування для дослідження розподілу випадкових величин. Розглядається метод імітаційного моделювання для отримання ймовірнісних характеристик випадкових параметрів деякої складної системи, моделюються закони розподілу характеристик графіків електронавантаження. Отримано результати моделювання кореляційної функції випадкового імпульсного потоку триступінчастих імпульсів для експоненційного закону розподілу випадкової паузи.

Ключові слова: імітаційне моделювання, електропостачання, складна система, випадкова величина, кореляційна функція

Гончарук В.В. Имитационное моделирование процессов в системах электроснабжения и его применение для исследования распределения случайных величин. Рассматривается метод имитационного моделирования для получения вероятностных характеристик случайных параметров некоторой сложной системы, моделируются законы распределения характеристик графиков электронагрузки. Получены результаты моделирования корреляционной функции случайного импульсного потока трехступенчатых импульсов для экспоненциального закона распределения случайной паузы.

Ключевые слова: имитационное моделирование, электроснабжение, сложная система, случайная величина, корреляционная функция

Honcharuk V.V. Simulation modeling of processes in power systems and its application to the study of distribution of random variables. The method of simulation to obtain the probability characteristics of random parameters of a complex system is examined. Distributions characteristics of the electrical load schedules are modeled. The simulation results of the correlation function of a random three-stage pulse stream of pulses to the exponential law of the random pauses are obtained.

Keywords: simulation modeling, power system, complex system, the random variable, correlation unction

При ймовірнісному моделюванні процесів у системах електропостачання іноді виникають ускладнення з одержанням аналітичних виразів для числових характеристик або законів розподілу досліджуваних показників. Ускладнення можуть бути пов'язані з великою розмірністю задачі з корельованістю або з нелінійними залежностями між змінними, що впливають на досліджуваний процес. У цьому випадку можливе використання методів імітаційного моделювання (метод Монте-Карло або метод статистичних випробувань) [1...4]. У дослідженнях електронавантажень, якості електроенергії та інших показників методи імітаційного моделювання почали використовуватися з розвитком засобів обчислювальної техніки [5].

Метод імітаційного моделювання використовується для одержання ймовірнісних характеристик випадкових параметрів деякої складної системи. Спочатку моделюється сукупність вихідних параметрів x_i , числові характеристики $\mathbf{M}(x_i)$, $\mathbf{D}(x_i)$, закони розподілу $f_i(x)$, $F_i(x)$ яких відомі. Відомі також функції $\psi_j(x_i)$, що описують деякі перетворення вихідних випадкових величин, і в результаті яких формується вектори y_j досліджуваних показників

$$y_j = \psi_j(x_i). \quad (1)$$

Таким чином, ставиться наступна задача: при заданих функціях розподілу $f_i(x_i)$, $F_i(x_i)$ випадкових величин X_i визначити функції розподілу $g_j(y_j)$, $G_j(y_j)$ випадкових величин Y_j відповідно до заданих перетворень (1) [1, 2, 4]. Закони розподілу випадкових величин X_i можуть бути різними. Крім законів розподілу в деяких випадках необхідно також враховувати й кореляційні функції $R_i(\tau)$ вихідних випадкових величин [6...8]. При реалізації методу імітаційного моделювання на ЕОМ необхідно мати датчики випадкових або псевдовипадкових чисел із заданими законами розподілу $f_i(x_i)$, $F_i(x_i)$ і кореляційними функціями $R_i(\tau)$ [6...8].

Моделювання законів розподілу характеристик графіків електронавантаження. У групі з N електрприймачів з періодичними графіками навантаження $p(t+t_r)$ (t_r – зсув графіка з номером r відносно початку циклу; $r = 1, 2, \dots, N$) дисперсія сумарного графіка навантаження

$$P(t, t_r) = \sum_{r=1}^N p_r(t+t_r) \quad (2)$$

визначається формулою, яку можна представити в наступному вигляді:

$$DP(t_{rs}) = \sum_{i=1}^N Dp_r + 2 \sum_{i < j} K_{ij}(t_{rs}), \quad (3)$$

де $t_{rs} = |t_r - t_s|$ – зсуви в часі між графіками $p_r(t+t_r)$ та $p_s(t+t_s)$.

У кореляційному методі вирівнювання сумарного графіка навантаження цільовою функцією є дисперсія сумарного графіка $DP(t_{rs})$ [2]. Подвоєну суму відносної кореляційної функції (ВКФ) у правій частині формули (3) для дисперсії сумарного графіка навантаження $P(t)$ можна представити в наступному вигляді:

$$K(t_{rs}) = 2 \sum_{r=1}^{N-1} \sum_{s=r+1}^N kp_{rs}(t_{rs}). \quad (4)$$

В (4) кореляційна функція графіків навантаження $kp_{rs}(t_{rs})$ залежать від форми графіків та інтервалів t_{rs} . Оскільки дисперсія Dp_r не залежать від режиму спільної роботи електроприймачів, що задається зсувами t_{rs} , то зменшити значення $DP(t_{rs})$, можна таким вибором значень t_{rs} , при яких сума ВКФ при фіксованих t_{rs} буде мати мінімальне значення.

Моделювання на ЕОМ суми ВКФ $K(t_{rs})$ (4) при випадкових вибірках зсувів t_r або t_{rs} можна здійснити двома способами. Згідно з першим способом задаються індивідуальні графіки $p_r(t+t_r)$, кількість яких дорівнює N . Потім за допомогою датчиків псевдовипадкових чисел моделюються випадкові зсуви в часі t_r . Далі будується сумарний графік $P(t, t_r)$ за формулою (2). Обчислюються характеристики сумарного графіка за його реалізацією $P(t, t_r)$, отриманою за формулою (2): дисперсія, середнє значення, кореляція та інші.

Далі визначається сумарне значення ВКФ $K(t_{rs})$ за формулою:

$$K(t_{rs}) = DP(t_{rs}) - \sum_{r=1}^N DP_r.$$

Число випробувань N_s приймається рівним не менш 1000. У результаті моделювання формується гістограма випадкової величини K .

Для періодичних ступінчастих моделей графіків електронавантаження випадкові величини t_r або t_{rs} приймають випадкові дискретні (цілі) значення в інтервалі від 0 до n , де n – число ступенів у моделі.

Згідно другому способу моделюється набір випадкових зсувів t_r або t_{rs} . Значення випадкових зсувів t_{rs} підставляються у формулу для $K(t_{rs})$ що виражається через формули для $k_{rs}(t_{rs})$.

На Рис. 1 показані полігони розподілу випадкової величини $K(t_{rs})$ для графіків навантаження з косинусоїдальними моделями $k_{rs}(t_{rs})$.

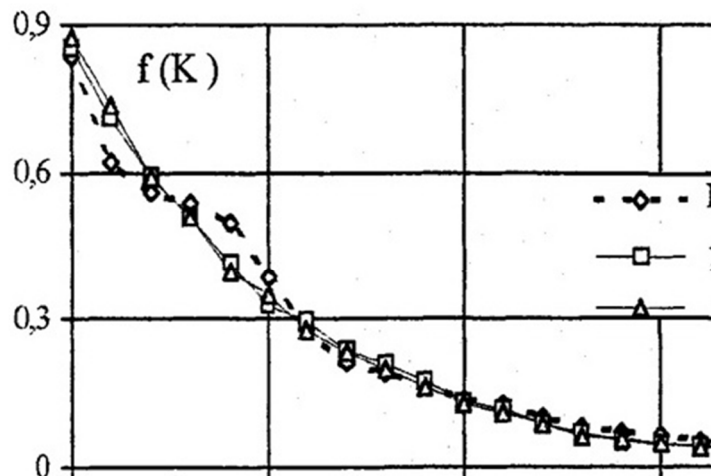


Рис. 1. Полігони розподілу суми ВКФ $K(t_{rs})$ для

Моделювання випадкових імпульсних потоків. При моделюванні випадкового імпульсного потоку форма імпульсу задається і є незмінною. Тривалість випадкової паузи між імпульсами задається за допомогою датчика псевдовипадкових чисел. Крім цього закон розподілу випадкової паузи може бути отриманий також за методом обернених функцій [1, 2, 4]. Необхідний для реалізації методу обернених функцій датчик псевдовипадкових чисел, рівномірно розподілених на інтервалі $[0,1]$, формується на основі стандартної процедури Random алгоритмічної мови Matchad або з використанням мультиплікативної процедури, що реалізує алгоритм Лемера [4], тобто метод залишків:

$$X_i = (X_{i-1} \cdot G) \bmod M, \quad i = 1, 2, \dots \quad (5)$$

де X_i , G , M – цілі числа; X_0 – числа з діапазону $0 < X_0 < M$, причому числа G та M повинні бути взаємно-простими [9, 4]; $M = 2^n$, де порядок ступеня n приймається рівним $n = 25 \dots 27$.

Цілі числа X_i ($0 < X_i < M$) у послідовності (5) приводяться до значень із інтервалу $[0,1]$ у такий спосіб:

$$x_i = X_i/M, \quad i = 1, 2, \dots, L, \quad (6)$$

де L – довжина послідовності.

Довжина послідовності рівномірно розподілених на інтервалі $[0,1]$ псевдовипадкових чисел, отриманих по формулах (5) і (6), визначаються із співвідношення $L = 2^{n-1}$.

Кореляційна функція послідовності $K(\tau), 0 \leq \tau \leq m$, обчислюється в процесі генерування послідовності по кільцевому алгоритму. Перевагою такого алгоритму є те, що в пам'яті зберігається не вся послідовність довжини L , а лише m послідовних значень від x_{i-m} до x_i і суми добутків $x_i x_{i-j}, j = 0, 1, 2, \dots, m$.

На Рис. 2 показані результати моделювання кореляційної функції випадкового імпульсного потоку триступінчастих імпульсів для експоненційного закону розподілу випадкової паузи.

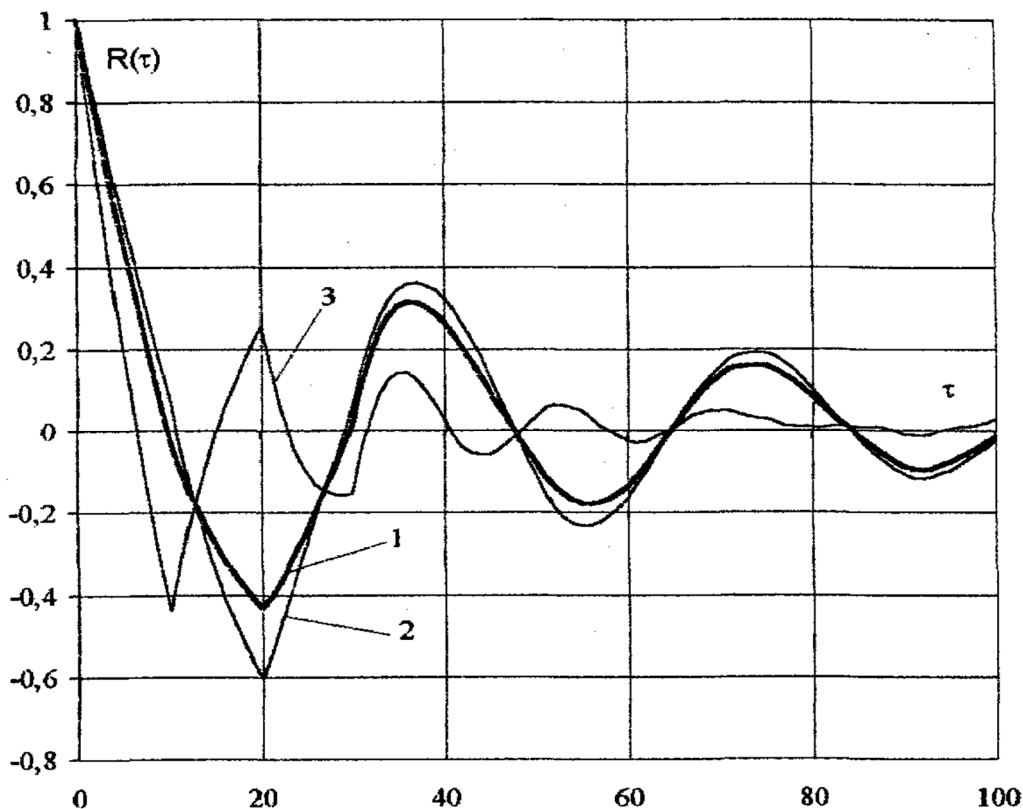


Рис. 2. Графіки кореляційної функції для різної комбінації однакового набору ординат в імпульсі:

Крива 1: $p_1 = 8 \text{кВт}, \quad p_2 = 5 \text{кВт}, \quad p_3 = 2 \text{кВт}$;

Крива 2: $p_1 = 5 \text{кВт}, \quad p_2 = 8 \text{кВт}, \quad p_3 = 2 \text{кВт}$;

Крива 3: $p_1 = 8 \text{кВт}, \quad p_2 = 2 \text{кВт}, \quad p_3 = 5 \text{кВт}$

Застосування m -послідовностей при моделюванні стаціонарних випадкових графіків електронавантаження із заданими властивостями дозволяє одержувати ефективні процедури, реалізовані як апаратно, так і чисельно на ЕОМ.

Висновки. Метод статистичних випробувань є ефективним способом перевірки (до проведення експериментальних досліджень) теоретичних викладок при отриманні аналітичних виразів для законів розподілу випадкових величин і випадкових процесів, що моделюють фізичні процеси в системах електропостачання.

Метод імітаційного моделювання, є значною мірою універсальним, проте він не може замінити повністю аналітичні методи отримання законів розподілу випадкових величин і процесів. Знання аналітичного закону дає більше можливостей для узагальнень і для виявлення окремих випадків, тобто аналітичні методи дають більше інформації для подальшого розвитку теорії.

Література

1. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В.Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
2. Ермаков С.М. Курс статистического моделирования / С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов. – М.: Наука, 1976. – 320 с.
3. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И.В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1983. – 232 с.
4. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло / И.М. Соболев. – М.: Наука, 1973. – 312 с.
5. Куренный Э.Г. Моделирование групповых графиков электрической нагрузки методом Монте-Карло / Э. Г. Куренный, Л.В. Брусенцов // Известия вузов СССР. Электромеханика. – 1968. – № 7. – С. 788-792.
6. Бессонов А.А. Методы и средства идентификации динамических объектов / А.А. Бессонов, Ю.В. Загишвили, А.С. Маркелов. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.
7. Доценко В.И. Применение псевдослучайных двоичных сигналов для идентификации линейных объектов автоматического управления / В.И. Доценко, Г.С. Чхартишвили // Известия вузов СССР. Электромеханика. – 1969. – № 4. – С. 416-427.
8. Чхартишвили Г.С., Доценко В.И. Идентификация динамических объектов управления с применением псевдослучайных сигналов / Г.С. Чхартишвили, В.И. Доценко. – М.: изд. МЭИ, 1976. – 80 с.
9. Виноградов И.М. Основы теории чисел / И.М. Виноградов. – М.: Наука, 1972. – 168 с.