

Ю. В. ПУХНЮК

МЕТОДИ АПАРАТУРНОГО АНАЛІЗУ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ІНТЕРВАЛІВ МІЖ ПЕРЕТИНАМИ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

Вступ

Реалізація стаціонарного випадкового процесу $\xi(t)$ тривалістю T (рис. 1) кілька разів перетинає фіксований рівень C знизу доверху (додатний перетин) і зверху донизу (від'ємний перетин).

Назвемо інтервал τ_1 тривалістю додатного викиду, а Θ_1 — інтервалом між додатними викидами. У загальному випадку можна роз-

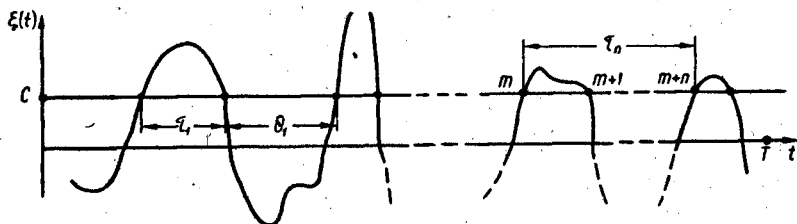


Рис. 1. Реалізація стаціонарного випадкового процесу.

глядати інтервал τ_n між m -м та $(m+n)$ -м перетинами ($n = 1, 2, 3, \dots$).

Дослідженням перетинів випадкових процесів присвячені експериментальні роботи [1—10]. В них розглядаються такі основні характеристики перетинів випадкових процесів: середнє число $\bar{N}(T)$ та дисперсія $D(N)$ числа перетинів на інтервалі часу T ; середнє значення $\bar{\tau}_n$ та дисперсія $D(\tau_n)$ інтервалів між відповідними перетинами (при $n = 1$ — тривалості викидів або інтервалів між викидами); інтегральний $F(\tau_n)$ та диференціальний $W(\tau_n)$ закони розподілу інтервалів між перетинами, а також деякі інші імовірнісні характеристики.

Методика експериментального дослідження

При вимірюванні функцій $F(\tau_n)$ та $W(\tau_n)$ по одній реалізації випадкового процесу може бути застосована неперервна або періодична вибірка.

При неперервній вибірці $F(\tau_n)$ можна оцінити по величині емпіричної інтегральної функції розподілу

$$F^*(\tau_n, T) = \left(\frac{n}{N}\right)_{\tau_n < \tau_{n_1}}, \quad (1)$$

де n — число інтервалів у реалізації, тривалість яких не перевищує певне фіксоване значення τ_{n_1} ;

$$\tau_n \leq \tau_{n_1}; \quad (2)$$

N — загальна кількість інтервалів у реалізації.

Аналогічно $W(\tau_n)$ можна оцінити по величині емпіричної диференціальної функції розподілу

$$W^*(\tau_n, T) = \left(\frac{1}{\Delta\tau} \cdot \frac{n_1}{N}\right)_{\tau_{n_1} < \tau_n < \tau_{n_1} + \Delta\tau}, \quad (3)$$

де n_1 — число інтервалів, тривалість яких відповідає умові

$$\tau_{n_1} < \tau_n \leq \tau_{n_1} + \Delta\tau. \quad (4)$$

При періодичній вибірці користуються аналогічними співвідношеннями

$$F^*(\tau_n, N) = \left(\frac{k}{N}\right)_{\tau_n < \tau_{n_1}}, \quad (5)$$

$$W^*(\tau_n, N) = \left(\frac{1}{\Delta\tau} \cdot \frac{k_1}{N}\right)_{\tau_{n_1} < \tau_n < \tau_{n_1} + \Delta\tau}, \quad (6)$$

але з реалізації випадкового процесу роблять N вибірок досліджуваних інтервалів, а потім з цієї кількості визначають число інтервалів, що відповідають умовам (2), (4).

Класифікація приладів

При експериментальному дослідженні характеристик перетинів можна виділити два основних методи: а) фотографічний; б) електронний.

Фотографічний метод вперше був застосований Тихоновим [1]. Він полягає у фотографуванні великої кількості реалізацій досліджуваного процесу з екрана осцилографа та наступній статистичній обробці їх. Цей метод може бути застосований для дослідження як низькочастотних, так і високочастотних флуктуацій. Недоліком його є велика трудомісткість.

Електронний метод передбачає створення спеціальних пристроїв для дослідження характеристик перетинів. Пристрої для вимірювання законів розподілу інтервалів можна класифікувати: а) за типом вибірки — з неперервною або періодичною вибіркою; б) за

схемним рішенням — аналогові або цифрові; в) за принципом вимірювання.

За принципом вимірювання можна виділити три основних типи приладів (рис. 2): 1) з перетворенням послідовності вимірюваних інтервалів в імпульси пілкоподібної напруги і наступним вимірюванням законів розподілу їх амплітуд; 2) з виділенням в моменти перетинів каліброваних імпульсів і порівнянням відстаней

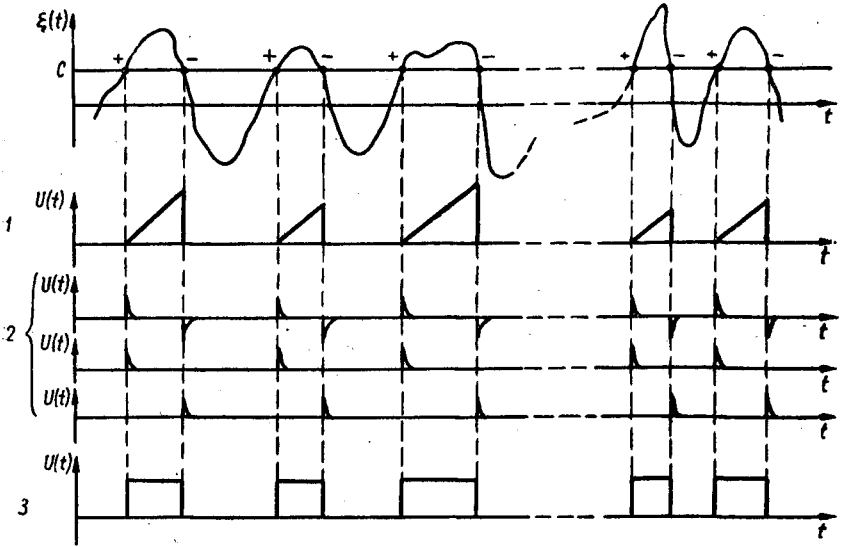


Рис. 2. Принципи вимірювання законів розподілу інтервалів між перетинами випадкових процесів.

між ними з певною фіксованою тривалістю; 3) з формуванням із вхідного сигналу прямокутних імпульсів постійної амплітуди і наступним вивченням статистичних властивостей цієї імпульсної послідовності.

Електронні прилади

1. Аналогові прилади з неперервною вибіркою [2, 3]. Блотекер [2], а потім Величкін і Пономарьова [3] розробили прилади для вимірювання законів розподілу тривалостей викидів та інтервалів між ними на різних рівнях. Принцип вимірювання в них однаковий і полягає у перетворенні досліджуваних інтервалів у послідовність пілкоподібних імпульсів. Вимірювання розподілу амплітуд пілкоподібних імпульсів здійснюється в установці Блотекера тригером Шмідта із змінним порогом спрацювання та двома лічильниками, а в приладі Величкіна та Пономарьової — інтегральним або диференціальним амплітудним аналізатором. Розроблені прилади застосовувались для дослідження викидів низькочастотних процесів.

2. Аналогові прилади з періодичною вибіркою [4—6] працюють за принципом формування в моменти часу, відповідні початку та кінцю досліджуваного інтервалу, коротких каліброваних імпульсів і порівняння відстані між ними з певною фіксованою тривалістю. Уайт [4] розв'язує цю задачу методом формування на відстані τ_{n1} від початку досліджуваного інтервалу стробуючого імпульсу тривалістю $\Delta\tau$, який надходить на один із входів селектора, на другий вхід якого подаються імпульси кінця інтервалу. Якщо імпульс кінця інтервалу збігається із стробуючим імпульсом $\Delta\tau$, він проходить через селектор і реєструється лічильником. Другий лічильник реєструє число виборок. За відношенням показань лічильників роблять оцінку $W(\tau_n)$.

У приладі Фавро, Лоу та Пфедфера [5] замість селектора застосована матриця швидкодіючих реле, які можуть підключати на час $\Delta\tau$ лічильник відповідного каналу до схеми формування імпульсів кінця інтервалу. В приладі Озерського [6] слідом за імпульсом початку інтервалу формується і надходить на селектор імпульс тривалістю τ_{n1} . Якщо за час його дії на другий вхід селектора проходить імпульс кінця інтервалу, він реєструється лічильником.

На відміну від приладів Уайта та Фавро, які вимірюють безпосередньо функцію $W(\tau_n)$, прилад Озерського вимірює функцію $F(\tau_n)$.

Установки Уайта та Фавро дозволяють вимірювати закони розподілу тривалостей викидів. Прилад Озерського вимірює, крім інтегрального розподілу тривалостей викидів та інтервалів між викидами, розподіл тривалості інтервалів між найближчими перетинами одного знака, а також — між довільним моментом часу та найближчим перетином певного знака.

На кафедрах радіоприймальних пристроїв [7] та акустики і звукотехніки [8] Київського політехнічного інституту розроблені прилади, побудовані за принципом вимірювання Уайта. Особливістю приладу [8] є можливість вимірювання диференціального закону розподілу інтервалу τ_n ($n = 1 \div 100$), а також імовірності спільного попадання перетинів у певним чином розставлені «вікна» $\Delta\tau$. Прилад [7] відрізняється дискретним формуванням інтервалу τ_n за допомогою елементів ЦЛМ, а також можливістю паралельного аналізу. Прилади цього типу відрізняються відносною простотою, хоч вони складніші, ніж прилади [2, 3]. Проектувалися вони для дослідження низькочастотних процесів.

3. Цифрові прилади [9, 10] передбачають перетворення досліджуваних інтервалів у прямокутні імпульси тієї ж тривалості. Тривалість імпульсів вимірюється відомими цифровими методами.

Прилад Рейнала [9] дозволяє одержувати у цифровій формі дані про тривалість викидів, інтервалів між викидами, а також інтервалів між найближчими перетинами з похідною одного знака. Результати вимірювання фіксуються на перфокарті або перфострічці і потім вводяться в електронно-лічильний пристрій для статистичного аналізу. В результаті аналізу були одержані диференціальні закони розподілу

вказаних інтервалів, а також їх середні значення та дисперсія. Прилад Рейнала працює за принципом періодичної некорельованої вибірки і придатний для дослідження випадкових процесів, у яких викиди тривалістю 100 *мксек* можуть виникнути з імовірністю, що не перевищує 0,01. Недоліком методу Рейнала є необхідність спеціальної апаратури для обробки результатів вимірювання. Цього недоліку позбавлений прилад Мирського [10], який дозволяє за допомогою цифрового дискримінатора робити автоматизоване порівняння в цифровій формі тривалості вимірюваного інтервалу з певною фіксованою тривалістю. Цей прилад також працює за принципом некорельованої періодичної вибірки (можлива робота і в режимі неперервної вибірки) і дає можливість автоматично без наступної обробки вимірювати інтегральні та диференціальні закони розподілу тривалостей викидів випадкових процесів, у яких імовірність виникнення викидів тривалістю менше 1 *мксек* не перевищує 0,01.

Для приладів цього типу характерні загальні позитивні якості цифрових вимірювальних пристроїв, насамперед висока точність вимірювання і стабільність результатів.

Висновки

З розгляду апаратурних методів аналізу характеристик перетинів можна зробити висновок, що найбільш перспективними, особливо при дослідженні високочастотних процесів, є прилади цифрового типу. Вони забезпечують високу точність і стабільність результатів. Щоправда, в порівнянні з розглянутими приладами аналогового типу схема цифрових пристроїв значно складніша, вони мають нижчу оперативність при експериментальному дослідженні. Тому в експериментальній практиці, зокрема при роботі з низькочастотними процесами, доцільно застосовувати також прилади аналогового типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тихонов В. И., Экспериментальное исследование закона распределения выбросов флюктуаций по длительности, Радиотехника, 1956, т. 11, № 8, с. 31.
2. Blotekjaer K., An experimental investigation of some properties of band-pass limited gaussian noise, IRE Trans., 1958, v. IT — 4, N 3, p. 100.
3. Величкин А. И., Пономарева В. Д., Экспериментальное исследование длительностей выбросов шума, Радиотехника, 1960, т. 15, № 10.
4. White G. M., Zero of gaussian noise, J. Appl. Phys., 1958, v. 29, N 4, p. 722.
5. Favreau R. R., Low H. and Pfeffer I., Evaluation of complex statistical functions by an analog computers, IRE Convention Record, 1956, pt. 4, p. 31.

6. Озерский Ю. П., Об экспериментальном определении распределений длительности выбросов флюктуаций, Научные доклады высшей школы, Радиотехника и электроника, 1959, № 2, с. 35.

7. Зубко В. В., Соколенко А. Ф., Прибор для измерения распределения вероятностей интервалов между нулями низкочастотных случайных процессов, Вестник КПИ, № 2, серия радиотехники, Изд-во КГУ, 1965.

8. Пухнюк Ю. В., Прилад для вимірювання законів розподілу інтервалів між перетинами низькочастотних випадкових процесів, Вісник КПІ, № 4, серия радиотехники, Вид-во КДУ, 1967.

9. Rainal A. J., Digital measurement of axis crossing intervals, Electronics, 1960, v. 33, N 23, p. 88.

10. Мирский Г. Я., Метод аппаратурного определения законов распределения выбросов случайных процессов по длительности, Радиотехника, 1966, т. 21, № 4, с. 68.

Yu. V. PUHNJUK

METHODS OF RANDOM PROCESSES INTERVALS BETWEEN CROSSINGS DISTRIBUTION LAWS APPARATUS ANALYSIS

Summary

The experimental methods of the random processes with any fixed level intervals between crossings distribution laws analysis are examined. The classification and short description of instruments for intervals between crossings distribution measuring, known to nowadays, are adduced.