

УДК 681.324.067

Г.О. Торба

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕМПІРИЧНИХ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ІМОВІРНОСТЕЙ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ ШУМОВИХ ДІОДІВ

Розглядається метод експериментального дослідження параметрів шумових діодів, які використовуються для побудови апаратних генераторів випадкових послідовностей, з метою оцінки емпіричних законів розподілу шумових імпульсів у часових координатах. Наведені результати експериментальних досліджень шумових діодів з „ненормальним” розподілом шумових імпульсів. Приведені рекомендації по вибору режимів роботи шумових діодів за умови формування статистично незалежних випадкових бітових послідовностей.

Ключові слова: шумові діоди, нормальний закон розподілу, статистична незалежність.

Постановка проблеми

Для генерації випадкових бінарних послідовностей найбільше часто застосовують фізичні датчики шуму на основі кремнієвих діодів із Зенеровським пробоем типу КГ401 (А,Б,В). У технічних умовах (ТУ) заводу-виробника на ці діоди визначені тільки аналогові параметри – спектральна щільність шуму $\omega(f)$ і максимальна частота шуму $F_{ш}$. Ці параметри необхідно вимірювати аналоговим вольтметром із квадратичною характеристикою за вказаними в ТУ схемами із застосуванням аналогових фільтрів [1].

Для генерації цифрових випадкових послідовностей з фізичним датчиком шуму на основі діодів із Зенеровським пробоем основними параметрами випадкового сигналу є: закон розподілу у часі випадкових імпульсів і математичні моменти першого й другого порядків, а також кореляційні зв'язки між вихідними випадковими імпульсами. Дуже важливо також знати залежності цих параметрів від режимів роботи датчиків шуму.

Ці параметри не контролюються заводом-виробником і не відбиті в ТУ [1], тому вибір датчиків шуму (джерел ентропії) із заданими параметрами неможливий.

Для експериментальних досліджень законів розподілу випадкових імпульсів на виході датчиків шуму виготовлений вимірювальний стенд на основі IBM PC.

Цей стенд дозволяє вимірювати основні статистичні параметри датчиків шуму:

- закон розподілу в часі випадкових імпульсів;
- математичні моменти першого і другого порядків;
- амплітудний розподіл шумових імпульсів і
- залежність цих параметрів від режимів роботи датчиків шуму.

За результатами експериментальних вимірів на розробленому стенді можна стверджувати, що розподіл випадкових імпульсів у часових інтервалах на

виході датчиків шуму на основі кремнієвих діодів із Зенеровським пробоем (з точністю до похибки вимірів) наближається до моделі нормального розподілу Гауса [2].

Розроблений стенд використовується також для контролю та відбракування усіх шумових діодів, що купуються для виготовлення апаратних генераторів випадкових послідовностей.

Дослідження шумових діодів з «ненормальним» розподілом

У результаті досліджень 6000 шумових діодів КГ 401-А було виявлено більш 1000 діодів з розподілом, відмінним від «нормального» розподілу Гауса.

Відбраковані шумові діоди були досліджені з метою визначення можливості їхнього використання для формування статистично незалежних випадкових бітових послідовностей.

Дослідження осцилограм напруги шуму на виході таких діодів указує на нерівномірний розподіл шумових імпульсів. Пачки шумових імпульсів по 10÷25 імпульсів чергуються з тривалими тимчасовими інтервалами без шумових імпульсів.

Побудова графіків розподілу шумових імпульсів за часовими інтервалами усереднення вказує на велику кількість часових інтервалів без шумових імпульсів (рис. 1 і 2), а розрахунок коефіцієнтів автокореляційної функції з одиничною затримкою дозволяє зробити висновок про неприпустимо великі кореляційні зв'язки між сусідніми випадковими бітами навіть при відносинах $m = F_{ш} / F_0 > 10 \div 15$.

Для діода-4 значення коефіцієнта автокореляційної функції $K(1)$ (рис. 3) зрушені в область позитивних значень. Це пояснюється великою кількістю часових інтервалів, у яких не зареєстроване жодного імпульсу, тобто значення формованого наступного випадкового біта дорівнює значенню попереднього біта.

Властивість незалежності формованих сусідніх

випадкових бітів, яку тестують по зменшенню коефіцієнта автокореляційної функції $K(1)$ до значень $\pm 3\sigma$, виявляється при великих значеннях параметра $m = F_{ш} / F_0 > 10 \div 15$ (рис. 3).

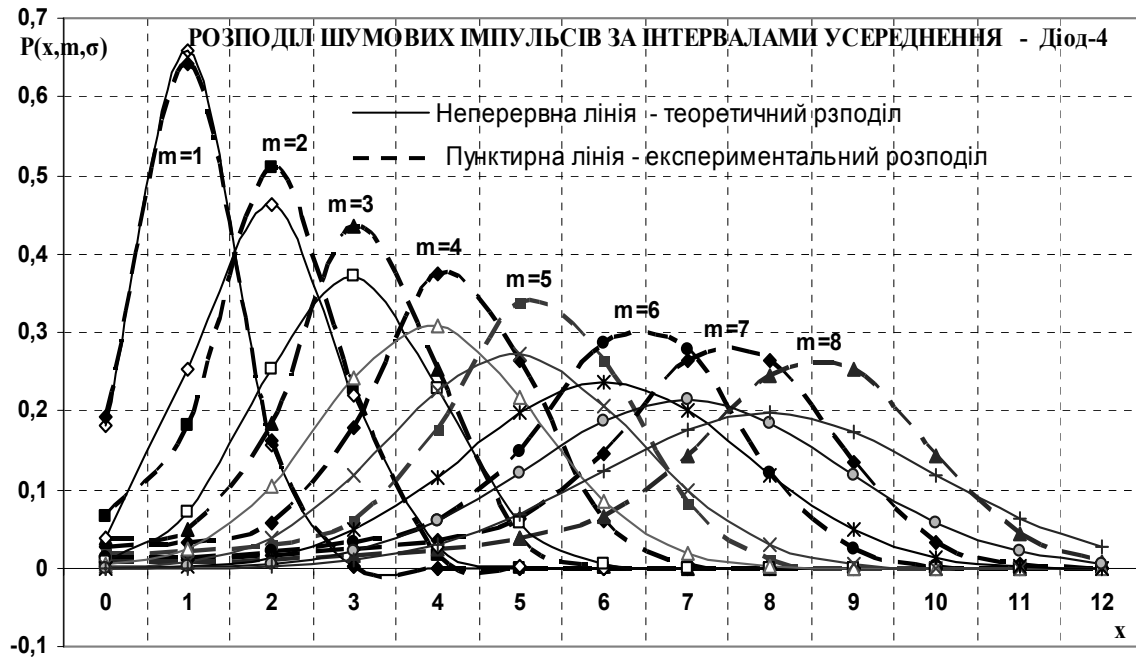


Рис. 1. Розподіл шумових імпульсів, відмінний від «нормального» для діода-4

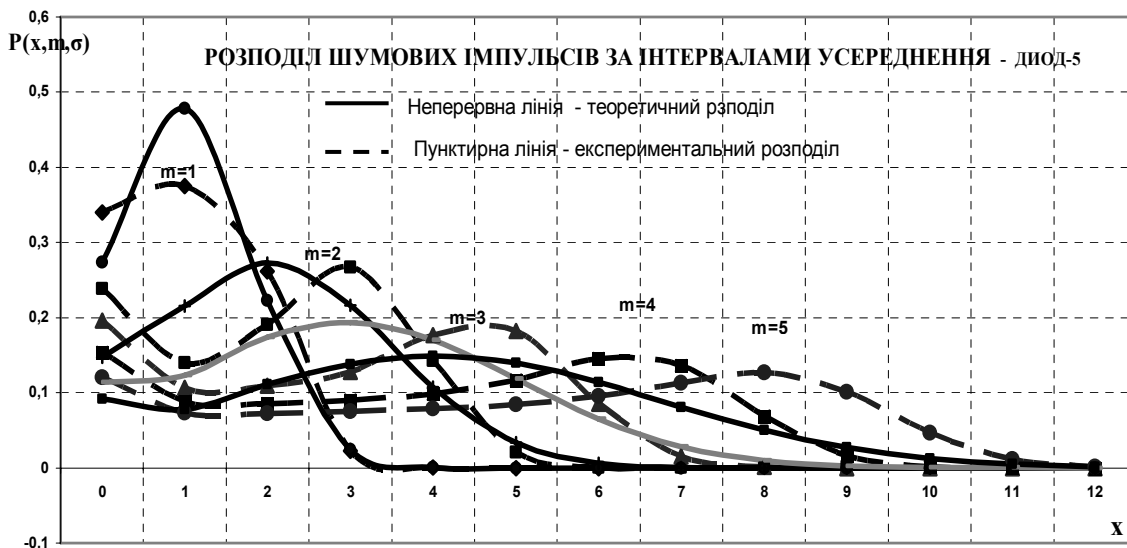


Рис. 2. Розподіл шумових імпульсів, відмінний від «нормального» для діода-5

Для діода-5 кількість часових інтервалів без шумових імпульсів дуже велике (рис. 2). Тому значення коефіцієнта автокореляційної функції $K(1)$ істотно зрушені нагору (в область позитивних значень) (рис. 3) і не заходить в інтервал $\pm 3\sigma$ навіть при великих значеннях аргументу (тобто параметра $m = F_{ш} / F_0$).

На основі аналізу отриманих результатів було поставлене завдання – проведення досліджень залежності статистичних параметрів шумових діодів від режиму роботи. Результати проведених експериментів указують на зменшення кількості часових інтервалів «без шумових імпульсів» при зменшенні струму, що протікає через шумовий діод.

У діода-4 при малих струмах (від 30 до 50 мкА) зменшується середня частота шумових імпульсів $F_{ш}$, але їхній розподіл наближається до Гаусового. Обмірювана автокореляційна функція випадкових бітових послідовностей, що формуються, указує на статистичну незалежність сусідніх бітів при $m_{тр} = F_{ш} / F_0 > 7 \div 8$.

Для діода-5 при зменшенні середнього струму, що протікає через діод, поліпшується статистичний розподіл шумових імпульсів, але значення коефіцієнтів автокореляційної функції $K(1)$ залишаються неприпустимо великими. Використовувати такі діоди для формування статистично незалежних випадкових бітових послідовностей – не можливо.

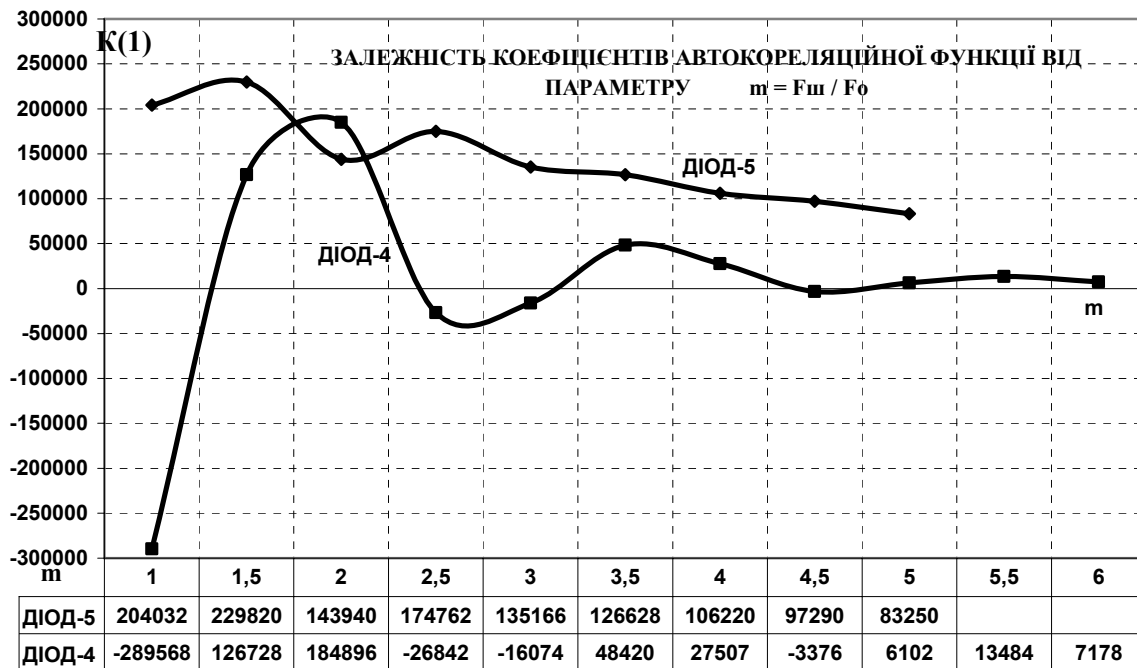


Рис. 3. Залежність коефіцієнтів автокореляційної функції

Висновки

При входному контролі і відбракуванні шумових діодів КГ 401 необхідно вимірювати не тільки середню частоту шумових імпульсів ($F_{ш}$), але і їхній статистичний розподіл. Деякі діоди ($5 \div 10\%$ від загальної кількості) із припустимою частотою шумових імпульсів ($F_{ш}$) формують пачки з десятків таких імпульсів, але при цьому мають дуже тривалі часові інтервали без шумових імпульсів. Застосування таких діодів не дозволяє формувати статистично незалежні випадкові бітові послідовності.

У деяких діодів ($3 \div 5\%$ від загальної кількості) при зменшенні середнього струму до значень $30 \div 50$ мкА статистичний розподіл наближається до «нормального» і такі діоди можна використовувати для генерації статистично незалежних випадкових бітів.

Однак індивідуальний підбір режимів шумових діодів в умовах крупносерійного виробництва є небажаним.

Список літератури

1. ТТЗ.369.009 ТУ – Технічні умови на діоди шумові КГ401А – КГ401В.
2. Торба А.А. Математические модели датчиков шума / А.А. Торба, В.А. Бобух, А.А. Торба // Прикладная радиоэлектроника. – 2007. – Т. 6, № 2. – С. 277-281.

Надійшла до редколегії 12.03.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Кузнецов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ШУМОВЫХ ДИОДОВ

А.А. Торба

Рассматривается метод экспериментального исследования параметров шумовых диодов, которые используются для построения аппаратных генераторов случайных последовательностей, с целью оценки эмпирических законов распределения шумовых импульсов во временных координатах. Приведены результаты экспериментальных исследований шумовых диодов с „ненормальным” распределением шумовых импульсов. Указаны рекомендации по выбору режимов работы шумовых диодов при условии формирования статистически независимых случайных битовых последовательностей.

Ключевые слова: шумовые диоды, нормальный закон распределения, статистическая независимость.

RESEARCH EMPIRICAL LAWS DISTRIBUTION OF PROBABILITY PULSED SIGNAL NOISE DIODE

G.O. Torba

It is considered method of the experimental research parameters noise diode, which are used for building hardware generator random sequences, for evaluate empirical laws of the distribution noise pulse in temporary coordinate. Show the results experimental research noise diode with "abnormal" distribution noise pulse. Specified recommendation at the option state of working noise diode at condition of the forming the statistical independent random bit sequences.

Keywords: diodes of noises, normal law of distributing, statistical independence.