

УДК 621.391.26

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЦИФРОВЫХ СТРУКТУР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

¹Рогозин В.А., ²Ширина Н.Ю., ²Мурашов А.А.

¹Московский финансово-юридический университет, Москва, e-mail: Gozyan@yandex.ru;

²Ярославский филиал Московского финансово-юридического университета, Ярославль, e-mail: shirina-natasha@mail.ru

В радиотехнических системах для тестирования передающих систем с цифровой обработкой данных широко применяются цифровые сигналы с псевдослучайными структурами. Авторами предложен метод моделирования и расчета характеристик радиотехнических сигналов с цифровой обработкой с использованием различных способов кодирования. В данной работе такие структуры формируются с помощью датчика случайных чисел, который автоматически встроен в программную среду Delfi. При этом псевдослучайная величина, определяемая встроенной функцией random, имеет равномерное распределение. Рассмотрены примеры построения случайного сигнала бинарной формы. Излагается алгоритм построения сигнала, приводятся временные диаграммы модулирующего и передающего сигналов. Рассмотрено определение вероятностных характеристик случайного сигнала. Кроме этого, рассмотрены случаи построения дискретного цифрового сигнала, амплитуда которого может принимать заданное количество случайных значений. Для всех типов случайных сигналов определяется спектральная плотность мощности сигналов. Данный метод может быть использован для исследования цифрового кодирования и модуляции на качество передачи радиотехнических сигналов.

Ключевые слова: радиотехнические системы, цифровые сигналы, тестовые сигналы, случайные сигналы, модель сигнала, спектральная плотность

USING PSEUDORANDOM DIGITAL STRUCTURES FOR MODELLING RADIO SIGNALS

¹Rogozin V.A., ²Shirina N.Y., ²Murashov A.A.

¹Moscow University of Finance and Law, Moscow, e-mail: e-mail: Gozyan@yandex.ru;

²Moscow University of Finance and Law, Yaroslavl, e-mail: shirina-natasha@mail.ru

The digital signals with pseudorandom structures are used widely for testing the transmission system with digitally processing in electronic systems. The authors proposed a method for modeling and calculation of the characteristics of radio signals with digital processing using different encoding methods. In this paper, these structures are formed by a random number generator, which is automatically built into the software environment Delfi. At the same time pseudorandom variable which is determined by a built-in function random has a uniform distribution. Examples of the construction of a binary form random signal are shown. Signal constructing algorithm is described, timing diagrams of modulated and transmitted signals are contained in this article. The definition of the random signal probabilistic characteristics is considered. Other then we consider the cases of constructing a discrete digital signal, the amplitude of which can accept a predetermined number of random values. Spectral density of signal power is determined for all types of random signals. This method can be used in studies of digital encoding and modulation for determining the transmission quality of radio signals.

Keywords: radio signals, digital signals, test signals, random signals, signal model, transmission quality

Представление в аналитическом виде характеристик спектральной плотности мощности (СПМ) цифровых тестовых сигналов позволяет решать множество задач. Прежде всего это касается оценки качества передачи данных в каналах и трактах сетей связи в зависимости от выбранных способов линейного кодирования радиотехнических сигналов. В работе [4] предложена модель генератора бинарных тестовых сигналов. При этом используются тестовые сигналы с фиксированной структурой (ФС) вида R логических единиц/нулей на K битов. Структура размещения битов на цикле передачи постоянна. Например, тестовые последовательности вида «одна логическая единица на восемь битов» имеют структуру 10000000, а последовательность «две

логические единицы на восемь битов» – 10001000. Стандартные полиномы, задающие структуру ПСП, описаны в рекомендациях МСЭ-T [5]. При всех достоинствах данный подход требует обращения к специальной библиотеке, что не всегда удобно.

При дискретном характере изменения первичных (тестовых) сигналов параметры несущего колебания будут изменяться по дискретному закону (скачками). В этом случае вместо термина «модуляция» чаще используется термин «манипуляция». При этом различают три вида манипулированных сигналов: амплитудно-манипулированные (АТ – амплитудная телеграфия), частотно-манипулированные (ЧТ) и фазо-манипулированные (ФТ) [2]. Все перечисленные виды сигналов находят широкое

применение в радиоэлектронных системах. В данной работе будем использовать термин «несущий сигнал», если речь идет о модуляции несущей фазы последовательностью импульсов с случайным характером их следования. При разработке моделей сигналов с дискретной модуляцией будем использовать несколько видов первичных колебаний и сигналов.

Псевдослучайная структура представляет собой условно стохастическую последовательность размещения символов (для двоичной структуры битов) на цикле передачи, сформированную по заданному алгоритму [1]. В данной работе такие структуры формируются с помощью датчика случайных чисел, который автоматически встроены в программную среду *Delfi*. При этом псевдослучайная величина, определяемая встроенной функцией *random*, имеет равномерное распределение, функция плотности вероятности которого записывается в виде

$$f(\xi) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \xi \leq 1; \\ 0, & \xi < 0; \xi > 1. \end{cases} \quad (1)$$

Псевдослучайная величина ξ имеет математическое ожидание (среднее значение) $M(\xi) = 0,5$ и дисперсию $D(\xi) = 1/12$. Она также имеет очень важное свойство, заключающееся в том, что вероятность попадания случайной величины в интервал (a, b) равна длине этого интервала [2]. При помощи несложных алгоритмов псевдослучайная величина, определяемая функцией *random*, позволяет построить случайный сигнал произвольной формы.

Рассмотрим пример формирования псевдослучайной структуры на основе двоичной системы. В этом случае система полностью задается следующими параметрами: длиной цикла передачи L (количеством бит) и временем передачи сигнала T , на основе которых определяется время дискретизации сигнала:

$$\Delta t = T/L. \quad (2)$$

Следующим шагом является построение тестового дискретного бинарного сигнала по следующему алгоритму:

1. Задается значение случайной величины $\xi = \text{random}$.
2. Строится тестовый сигнал по следующему правилу:

$$S(n) = \begin{cases} 0, & \text{если } \xi \leq 0,5; \\ 1, & \text{если } \xi > 0,5, \end{cases} \quad (3)$$

где n – порядковый номер двоичного символа в структуре (временного интервала).

Далее моделируется несущий сигнал с цифровой фазовой модуляцией по формуле

$$x(t) = A \cos(2\pi ft + S(n)), \quad (4)$$

где A, f – амплитуда и частота несущего сигнала.

В соответствии со свойством случайной величины ξ , определяемой функцией *random*, о котором шла речь ранее в этой статье, вероятность выпадения каждого значения равна 0,5. Если псевдослучайная цифровая структура имеет L символов, то вероятность образования такой структуры равна $0,5^L$.

На рис. 1 представлены временные диаграммы тестового (1а) и несущего (1б) сигналов для случая бинарной псевдослучайной структуры. Несущий сигнал имеет следующие характеристики: $f = 2$ кГц $A = 3$.

Рассмотрим пример формирования псевдослучайной структуры на основе системы из трех символов. В этом случае система, так же, как и в предыдущем случае, полностью задается следующими параметрами: длиной цикла передачи L (количеством бит) и временем передачи сигнала T .

Следующим шагом является построение тестовой дискретной структуры сигнала из трех символов по следующему алгоритму:

1. Задается значение случайной величины $\xi = \text{random}$
2. Строится тестовый сигнал по следующему правилу:

$$S(n) = \begin{cases} -1, & \text{если } \xi \leq 1/3; \\ 0, & \text{если } 1/3 < \xi \leq 2/3; \\ 1, & \text{если } 2/3 < \xi, \end{cases} \quad (5)$$

где n – порядковый номер двоичного символа в структуре (временного интервала).

В отличие от тестового сигнала, определяемого формулой (3), здесь используется не битовая система, а система, состоящая из трех символов.

Далее моделируется несущий сигнал с цифровой фазовой модуляцией по формуле (4).

Вероятность выпадения каждого значения равна $(1/3)$. Если псевдослучайная цифровая структура имеет L символов, то вероятность образования такой структуры равна $(1/3)^L$.

На рис. 2 представлены временные диаграммы тестового (2а) и несущего (2б) сигналов для случая псевдослучайной структуры из трех символов.

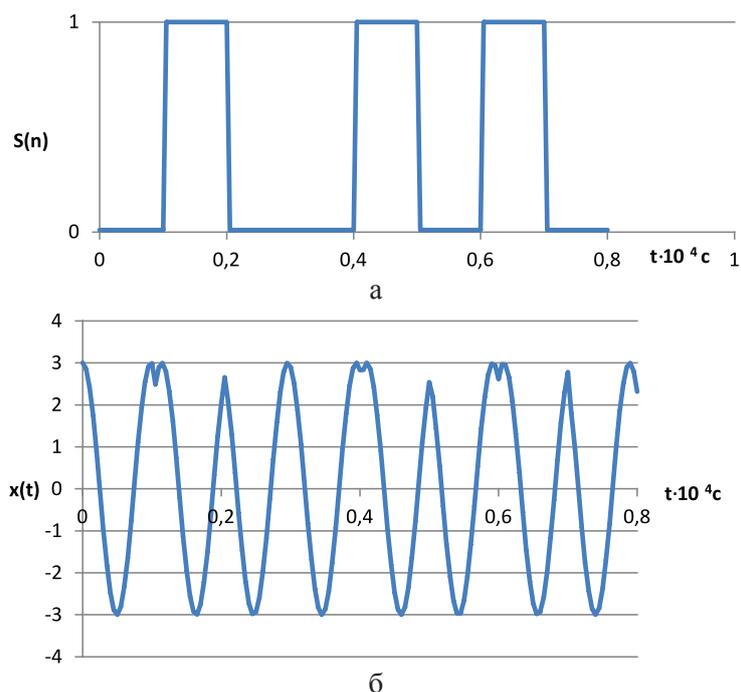


Рис. 1. Пример временной диаграммы тестового (а) и несущего (б) сигналов, заданных псевдослучайной бинарной последовательностью

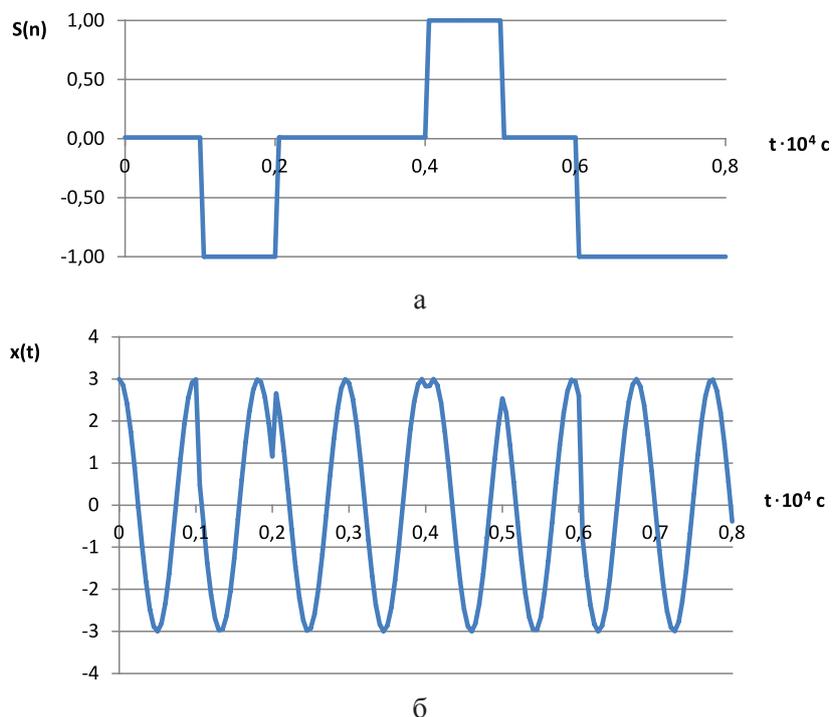


Рис. 2. Пример временной диаграммы тестового (а) и несущего (б) сигналов, заданных псевдослучайной последовательностью из трех символов

Рассмотрим пример формирования псевдослучайной структуры на основе системы из m символов. В этом случае система, так же, как и в предыдущем,

полностью задается следующими параметрами: длиной цикла передачи L (количеством бит) и временем передачи сигнала T .

Использование псевдослучайной величины ξ , свойства которой определяются уравнением (1), позволяет построить также абсолютно белый гауссов шум (АБГШ).

Абсолютно белый гауссов шум (АБГШ) представляет собой случайный сигнал, имеющий нормальное распределение с математическим ожиданием (средним значением) $M(\eta) = 0$ и некоторой дисперсией $D(\eta)$ [2].

Согласно центральной предельной теореме, являющейся стержнем современной теории статистического моделирования [2], случайная величина η , определяемая формулой

$$\eta = A \sum_{i=1}^m (\xi_i - 0,5), \quad (9)$$

где A – уровень белого шума; m – целое число, принимающее значение $m \geq 6$; ξ_i – случайная величина, подчиняющаяся равномерному распределению в соответствии с формулой (1); имеет равномерное распределение. Причем ее математическое ожидание $M(\eta) = 0$, а дисперсия

$$D(\eta) = \frac{A^2 m}{12}. \quad (10)$$

Этот факт позволяет с помощью использования формулы (9) смоделировать АБГШ с заранее заданными свойствами.

Рассмотрим алгоритм построения псевдослучайного тестового сигнала, соответствующего белому АБГШ с заданными свойствами.

Исходными данными для моделирования являются A – уровень белого шума и значение дисперсии σ^2 .

Алгоритм выполняется в следующей последовательности:

1. В соответствии с формулой (10) определяется величина m .
2. Задается значение случайной величины $\xi = \text{random } m$ раз.
3. Рассчитывается значение величины η по формуле (9).

4. Строится тестовый сигнал по формуле

$$S(n) = \eta. \quad (11)$$

Представленный алгоритм позволяет строить математические модели АБГШ с условием $\sigma > A/\sqrt{2}$, которое обычно выполняется для большинства встречающихся в практике радиотехнических сигналов.

Предложенная методика моделирования и расчета характеристик СПМ цифровых тестовых сигналов является аналитическим инструментом и дает возможность исследовать влияние методов линейного кодирования и форматов модуляции радиотехнических сигналов на качество их передачи.

Список литературы

1. Бакланов И.Г. Тестирование и диагностика систем связи. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 264 с.
2. Костюкова Н.И. Основы математического моделирования. – М.: ИНТУИТ, 2008. – 287 с.
3. Прахов В.И. Спектры сигналов с цифровым кодированием. – М.: Спутник+, 2011. – 452 с.
4. Рекомендация МСЭ-Т O.150. General requirements for instrumentation for performance measurements on digital transmission equipment (05.96).
5. Рекомендация МСЭ-Т O.151. Error performance measuring equipment operating at the primary rate and above (11.88).

References

1. Baklanov I.G. Testirovanie i diagnostika sistem svjazi. Moscow: Jeko-Trendz, 2001, 264 p.
2. Kostjukova N.I. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya. Moscow: INTUIT, 2008, 287 p.
3. Prahov V.I. Spektry signalov s cifrovym kodirovaniem. M.: Sputnik+, 2011, 452 p.
4. ITU-T O.150. General requirements for instrumentation for performance measurements on digital transmission equipment (05.96).
5. ITU-T O.151. Error performance measuring equipment operating at the primary rate and above (11.88).

Рецензенты:

Таршис М.Ю., д.т.н., профессор, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль;

Гвоздев А.А., д.ф.-м.н., профессор, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль.