

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕНЕРАТОРОВ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

О. С. Шишкин<sup>1</sup>, С. Н. Куш<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»*

## Аннотация

В работе представлены характеристики сигналов, полученных из решений системы нелинейных дифференциальных уравнений, которые имеют хаотический характер. Предложены лучшие по характеристикам сигналы, основанные на полученных решениях.

*Ключевые слова:* генератор хаотических колебаний, странный аттрактор Wimol-Banlue

## Вступление

Для повышения помехоустойчивости современных систем связи (СС) используются широкополосные сигналы (ШПС). Увеличение базы ШПС достигается за счет использования расширяющих (скремблирующих) последовательностей, например, последовательностей Голда и Кассами [1]. Применение ШПС в системах передачи конфиденциальной информации ограничивает то, что структуру таких сигналов можно определить по части элементов последовательности. Система связи с повышенной структурной и информационной скрытностью на основе хаотических колебаний была рассмотрена в работе [2].

Структурная скрытность сигналов генераторов хаотических колебаний (ГКХ) обусловлена тем, что взаимно-корреляционная функция сигналов (ВКФ), полученных в результате решения системы нелинейных дифференциальных уравнений (СНДУ), описывающей динамическую систему, при разных начальных условиях, подобна ВКФ шумовых сигналов.

В работах [3, 4] был проведен анализ сигналов ГКХ, сформированных как на основе частных, так и объединении решений СНДУ (странного аттрактора Лоренца, систем Росслера и Дуффинга). Для применения в СС специального назначения представляет интерес исследование характеристик выходных сигналов ГКХ, использующих различные современные модели [5].

В работе рассмотрено тринадцать СНДУ (Burke-Shaw, Chen, Genesio-Tesi, Lotka-Volterra, Lu-Chen, Newton-Leipnik, Nose-Hoover, Qi-Chen, Rabinovich, Rucklidge, Sakarya, Shimizu-Morioka, Wimol-Banlue) [5]. Для каждого из тридцати девяти полученных решений СНДУ (сигналов) были рассчитаны: математическое ожидание, дисперсия, коэффициенты асимметрии и эксцесса, показатель Хёрста, автокорреляционная функция (АКФ), спектральная плотность и построены фазовые портреты колебаний.

## 1. Результаты анализа

В табл. 1 приведены результаты расчетов, полученные для решений  $z(t)$  СНДУ, показатель Хёрста  $H$  которых находится в диапазоне от 0.45 до 0.55. Выбор решений по показателю Хёрста, для предварительной оценки сигналов, обусловлен тем, он является оценкой временной зависимости процессов. Значение  $H = 0.5$  соответствует случаю отсутствия корреляции между сигналами [6]. Не нулевые значения коэффициентов асимметрии и эксцесса характеризуют степень отличия закона распределения от нормального. Для сравнения, в табл. 1 представлены результаты расчетов математического ожидания, дисперсии, коэффициентов асимметрии и эксцесса и показателя Хёрста для случайного сигнала, сформированного в среде MATLAB.

Для иллюстрации полученных результатов на рис. 1 приведены: вид выходного сигнала  $z(t)$  СНДУ аттрактора Wimol-Banlue (рис. 1(a)) и его АКФ (рис. 1(b)), а на рис. 1(c) – фазовый портрет колебания.

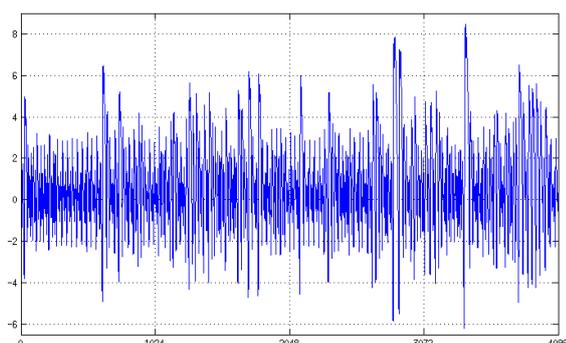
Как видно из рис. 1(a), сигнал с выхода генератора хаотических колебаний (ГКХ), построенного даже на одном частном решении СНДУ со стандартными значениями коэффициентов, может быть использован в защищенных СС, для скрытия самого факта функционирования системы связи.

Наличие выбросов в сигнале (рис. 1(b)) и боковых пиков на АКФ при некоторых смещениях свидетельствуют о существовании неравномерности спектральной плотности мощности сигнала в области низких частот, что характерно для хаотических сигналов такого типа [7].

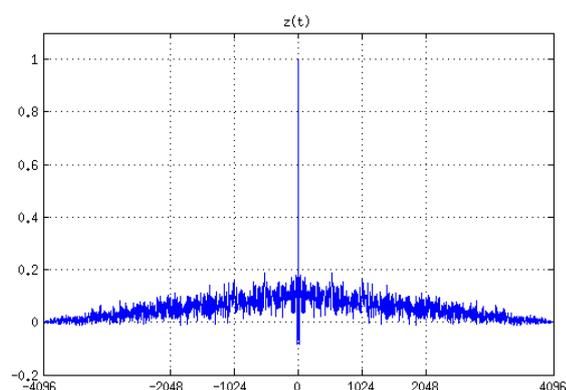
Наиболее наглядно поведение системы характеризуют фазовые портреты (рис. 1(c)). Стохастический аттрактор (в смысле Арнольда) не имеет форму замкнутой кривой, а является, в зависимости от значений переменных, либо единственной точкой, перемещающейся по фазовой плоскости, либо множеством с фрактальной структурой. Фазовые траектории хаотических колебаний не замкнуты, не повторяются

Таблица 1. Характеристики СНДУ

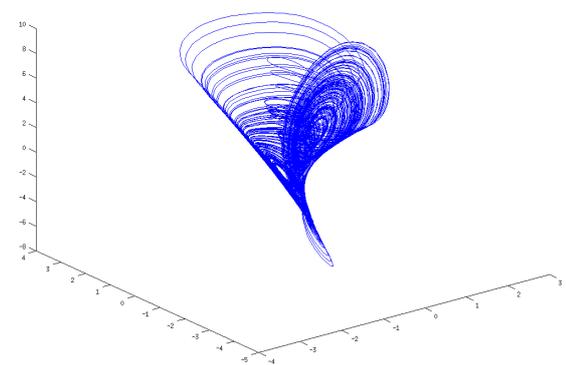
Параметр \ Система	Chua	Qi-Chen	Rucklidge	Wimol-Banlue	MATLAB
Решение системы	$z(t)$	$z(t)$	$z(t)$	$z(t)$	randn(1,4096)
Математическое ожидание	-0.13	83.20	7.34	0.69	-0.01
Дисперсия	0.15	112.86	9.72	4.28	0.96
Коэффициент асимметрии	0.07	-0.16	0.05	0.38	0.06
Коэффициент эксцесса	0.51	-1.39	0.58	-0.57	0.03
Показатель Хёрста	0.53	0.53	0.50	0.48	0.50



(a)



(b)



(c)

Рис. 1. Характеристики СНДУ аттрактора Wimol-Banlue: (a) – вид выходного сигнала  $z(t)$ ; (b) – автокорреляционная функция выходного сигнала  $z(t)$ ; (c) – фазовый портрет СНДУ Wimol-Banlue.

и стремятся заполнить ограниченную область фазового пространства, что наиболее наглядно видно на двумерной проекции фазового портрета.

## 2. Итоги

Для улучшения параметров хаотических колебаний (приближения к АБГШ) могут быть использованы различные подходы. Например, формирование сложных систем ГХК [3], при котором рассматривается сумма решений СНДУ как одного, так и разных типов; линейное и нелинейное преобразование хаотической последовательности [8].

## Перечень использованных источников

- Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. — М.: Техносфера, 2007 — 488 с.
- Дмитриев А. С., Клецов А. В., Панас А. И. Сверхширокополосная беспроводная связь на основе динамического хаоса. — М.: Институт радиотехники и электроники РАН, 2006. — 48 с.
- Маевська В. Ю. Дослідження систем генераторів хаотичних коливань \Маевська В. Ю., Куц С. М. \X Всеукраїнська наук.-практ. конференція студентів, аспірантів та молодих вчених “Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики”. — Київ, 19-20 квітня 2012р. — К.: ВПІ ВПК “Політехніка”, 2012. — С. 113.
- Маевська В. Ю. Оцінка статистичних характеристик вихідних сигналів систем генераторів хаотичних коливань на основі ДАЛ \Маевська В. Ю., Куц С. М. \XI Всеукраїнська наук.-практ. конференція студентів, аспірантів та молодих вчених “Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики”. Київ, 18-19 квітня 2013р. — К.: ВПІ ВПК “Політехніка”, 2013. — С. 170.
- [ Электронный ресурс ] — режим доступа: <http://3d-meier.de/tut19/Seite1.html>
- Кликушин Ю. Н. Метод фрактальной классификации сложных сигналов [Электронный ресурс] \Журнал радиоэлектроники — 2000. — № 4. — Режим доступа к журн.: <http://jre.cplire.ru/win/apr00/1/text.html>
- Деревянко А. И. Моделирование хаотических режимов в системах управления \Деревянко А. И., Михалев А. И. \АСАУ. — № 6(26) — 2003.
- Васюта К. С., Зоц Ф. Ф. Скрытая передача цифровой информации с применением сложных хаотических сигналов \Васюта К. С., Зоц Ф. Ф. \МРФ. — 2011.