



УДК 519.6

**КОНТРОЛЬ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
АНИЩЕНКО-АСТАХОВА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ
ГЕНЕРИРУЕМЫХ СИГНАЛОВ**

Карнаухов В.И. e-mail: rov2828@gmail.com, **В.В. Афанасьев**, ivans8585@mail.ru.

Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет

(КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ), г. Казань

В данной статье рассматривается нелинейная динамическая система Анищенко-Астахова, а также статистические характеристики генерируемых сигналов данной системы. Проведено моделирование в среде программы MATLAB. Целью моделирования является исследование поведения динамической системы и всех ее динамических компонентов. Смоделирована система Анищенко-Астахова, проанализированы значения дисперсии, математического ожидания и СКО генерируемых сигналов. Изучено поведение системы Анищенко-Астахова, построены зависимости амплитуды колебаний от времени всех динамических компонент, и сделаны выводы о контроле нелинейной динамической системы Анищенко-Астахова по характеристикам генерируемых сигналов.

**CONTROL OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEM OF ANISHCHENKO-
ASTAKHOV BY CHARACTERISTICS OF GENERATED SIGNALS.**

Karnaukhov V.I., V.V. Afanasyev,

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev (KNRTU-KAI
named after A.N. Tupolev), Kazan

This article discusses the non-linear dynamic system of Anishchenko-Astakhov, as well as the statistical characteristics of the generated signals of this system. Simulated in the MATLAB software environment. The purpose of modeling is to study the behavior of the system and all its dynamic components. The Anishchenko-Astakhov system was simulated, the dispersion, expectation and MSD values of the generated signals were analyzed. The behavior of the Anishchenko-Astakhov system was studied, the dependence of the amplitude of oscillations on the time of all dynamic components was constructed, and conclusions were drawn on the control of the non-linear dynamic system of Anishchenko-Astakhov based on the characteristics of the generated signals.

Оптимизация систем конфиденциальной цифровой передачи информации, использующей эффекты динамического хаоса, неразрывно связана с разработкой и исследованием моделей генераторов псевдослучайных хаотических сигналов на основе контролируемых нелинейных динамических систем [1]. Повышение эффективности функционирования систем связи на основе нелинейных систем с динамическим хаосом требуют поиска путей улучшения порождаемых ими сигналов. Нелинейная динамическая схема Анищенко-Астахова служит эффективным средством формирования хаотических сигналов. Разработка формирователей хаотических сигналов нелинейной динамической системы Анищенко-Астахова является перспективным направлением развития систем связи с использованием динамического хаоса [2].

Целью работы является моделирование и исследование формирователей хаотических сигналов нелинейной динамической системы Анищенко-Астахова.

Система Анищенко-Астахова описывается системой дифференциальных уравнений (1) и имеет четыре типа решений: состояние равновесия, периодическое движение, квазипериодическое движение и хаотическое [1]. Необходим поиск набора параметров, при котором система имеет хаотическое движение.

В данной работе моделирование проводилось в программной среде MATLAB. Использовался метод решения дифференциальных уравнений Рунге-



Кутты, получены значения дисперсии, математического ожидания и среднеквадратического отклонения формируемых хаотических сигналов радиоэлектронной системы Анищенко-Астахова при разных вариациях параметров m ($m=0.7 \dots 1.1$), при $g=0.7$. На основе полученного диапазона параметров, в котором система проявляет хаотическое поведение, исследованы фазовый портрет и спектры формируемых сигналов.

Система Анищенко-Астахова описывается системой дифференциальных уравнений[3]:

$$\begin{cases} \dot{x} = xm + y - xz \\ \dot{y} = -x \\ \dot{z} = -gx + I(x)x^2 \end{cases} \quad (1)$$

Полученные при помощи разработанных средств моделирования системы Анищенко-Астахова оценки дисперсии (d), математические ожидания (m) и отклонения (sko) генерируемых сигналов представлены в таблице 1 для набора значений параметра m ($m=0.7 \dots 1.1$) при $g=0.7$.

Таблица 1

Значения дисперсии, математического ожидания и среднеквадратического отклонения при разных вариациях параметров m , при $g=0.7$

Сигнал/ Параметр	$m=0.7$	$m=0.8$	$m=0.9$	$m=1$	$m=1.1$
x	$m(x)=0.0002$ $sko(x)=0.929$ $d(x)=0.9638$	$m(x)=0.0005$ $sko(x)=1.0362$ $d(x)=1.0179$	$m(x)=0.0001$ $sko(x)=1.083$ $d(x)=1.0407$	$m(x)=0.0004$ $sko(x)=1.1$ $d(x)=1.053$	$m(x)=0.0002$ $sko(x)=1.143$ $d(x)=1.0692$
y	$m(x)=0.4100$ $sko(x)=1.1275$ $d(x)=1.0618$	$m(x)=0.4792$ $sko(x)=1.2361$ $d(x)=1.1118$	$m(x)=0.5298$ $sko(x)=1.216$ $d(x)=1.1031$	$m(x)=0.5832$ $sko(x)=1.17$ $d(x)=1.0842$	$m(x)=0.6534$ $sko(x)=1.183$ $d(x)=1.0877$
z	$m(x)=0.6524$ $sko(x)=0.514$ $d(x)=0.7174$	$m(x)=0.7509$ $sko(x)=0.594$ $d(x)=0.7712$	$m(x)=0.8367$ $sko(x)=0.651$ $d(x)=0.8069$	$m(x)=0.9082$ $sko(x)=0.72$ $d(x)=0.849$	$m(x)=0.9671$ $sko(x)=0.834$ $d(x)=0.9137$

По данным таблицы 1 видно, что при варьировании базовых параметров наблюдается изменение статистических характеристик генерируемых сигналов. Система имеет хаотический характер при выборе параметров системы ($0.8 \dots 1.1$). Рекомендуемый диапазон параметров хорошо согласуется с данными карты динамических режимов нелинейной схемы Анищенко-Астахова[3].

На рисунке 1 представлены полученные характерные реализации сигналов системы Анищенко-Астахова при выборе рекомендуемого диапазона параметров.

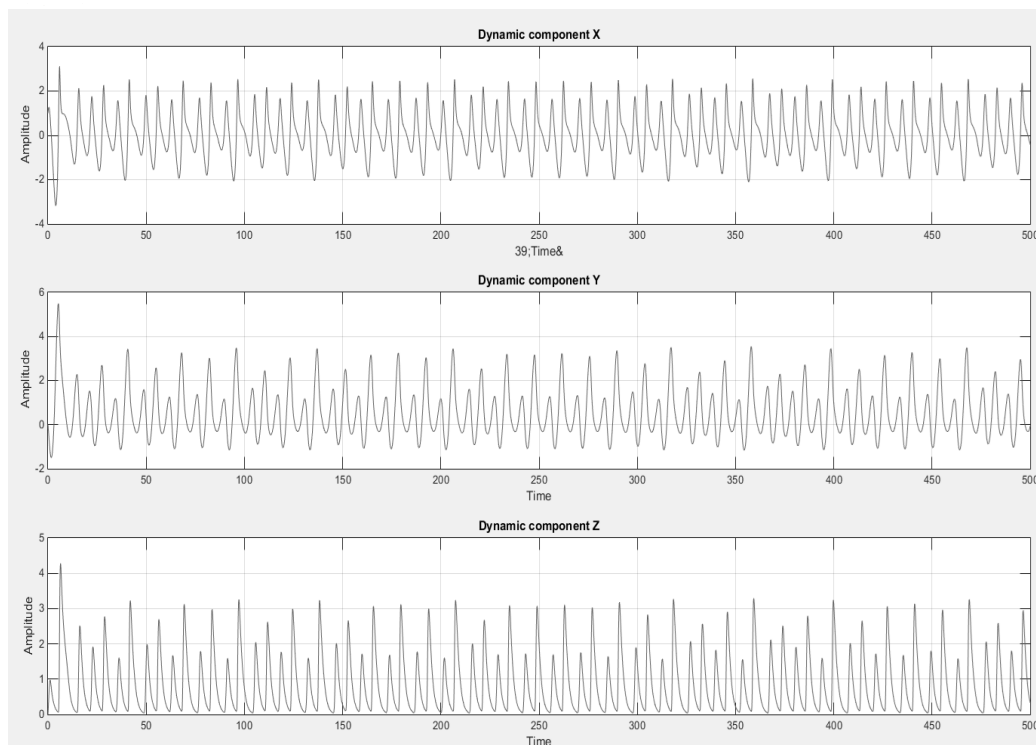


Рис. 1. Реализации сигналов x, y, z динамических компонент системы Анищенко-Астахова при $m=1, g=0.7$

Полученный характерный фазовый портрет системы Анищенко-Астахова представлен на рисунке 2.

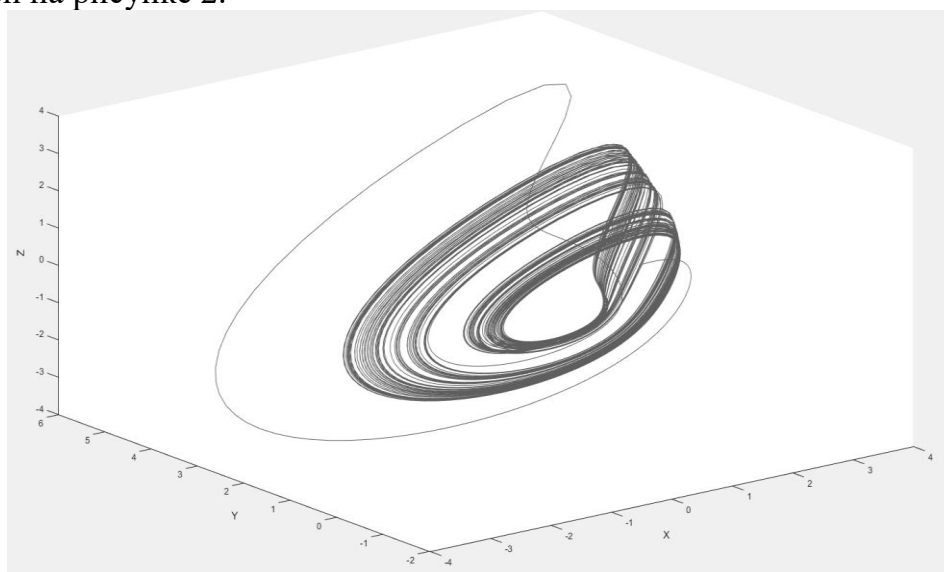


Рис. 2. Фазовый портрет системы Анищенко-Астахова при $m=1, g=0.7$

Из полученных графиков видно, что при данном наборе параметров система генерирует хаотические сигналы [4].

На основе выполненного моделирования выработаны инженерные рекомендации и выводы по выбору базовых параметров формирователей хаотических сигналов нелинейной динамической системы Анищенко-Астахова. Выбор данных параметров обоснован полученными фазовыми портретами системы, а также статистическими характеристиками формируемых псевдослучайных сигналов.



Проведенное исследование поведения моделируемой системы Анищенко-Астахова при изменении её параметров, с оценкой значений дисперсии, математического ожидания и СКО генерируемых сигналов и построением фазовых портретов системы, позволяет сделать вывод о возможности контроля нелинейной динамической системы Анищенко-Астахова по статистическим характеристикам генерируемых сигналов.

Список цитируемой литературы

1. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И., Шиманский-Гайер Л. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. - 544с.
2. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Анализ и синтез нелинейных радиоэлектронных динамических устройств и систем с варьируемым шагом временной сетки – Казань: Изд-во КГТУ, 2013. - 220с.
3. Генератор с инерционной нелинейностью Анищенко-Астахова. Саратовская группа теоретической нелинейной динамики. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.sgtnd.narod.ru/science/atlas/rus/charts/gin.htm>
4. Кузнецов С.П. Динамический хаос // Учеб. Пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп.-М.: Издательство Физико-математической литературы, 2006.-356с.

© В.И. Карнаухов 2019