



УДК 519.6

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛОКОВ ПРЯМОХАОТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АНИЩЕНКО-АСТАХОВА**

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

Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет  
(КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ), г. Казань

В докладе проводится моделирование блоков прямохаотической системы радиосвязи на основе дискретно-нелинейной динамической системы Анищенко-Астахова. В качестве платформы для проведения моделирования, выбрана программная среда MatLab. Цель моделирования – изучение и анализ работы как отдельных блоков системы, так и самой прямохаотической системы радиосвязи. Смоделирована система Анищенко-Астахова, оценены статистические характеристики сигналов генератора псевдослучайных сигналов на базе дискретно-нелинейной системы Анищенко-Астахова при изменении параметров системы. Выполнено моделирование базовых блоков прямохаотической системы радиосвязи. Получены инженерные рекомендации по выбору диапазонов изменения параметров системы Анищенко-Астахова для обеспечения стабильной работы прямохаотической системы радиосвязи.

## **MODELING OF STRAIGHT-CHAOTIC RADIO COMMUNICATION SYSTEM BLOCKS BASED ON THE ANISHENKO-ASTAKHOV DISCRETE-NONLINEAR DYNAMIC SYSTEM**

**Karnaukhov V.I., V.V. Afanasiev**

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

The modeling of the chaotic radio communication system blocks based on the Anishchenko-Astakhov discrete-nonlinear dynamic system are carried out. As a platform for modeling, MatLab software environment was chosen. The purpose of the simulation is to study and analyze the operation of both individual units of the system and the most direct chaotic radio communication system. The Anishchenko-Astakhov system is modeled, the statistical characteristics of the signals of a pseudo-random signal generator based on the Anishchenko-Astakhov, when changing system parameters. The modeling of the basic units of a direct chaotic radio communication system has been performed. Engineering recommendations were obtained on the choice of ranges for changing the parameters of the Anishchenko-Astakhov system to ensure the stable operation of a direct chaotic radio communication system.

Многочисленные исследования в области применения хаоса для передачи информации показали, что практическая реализация потенциальных достоинств этого носителя информации сталкивается с рядом серьезных проблем [1]. Одна из причин этого заключается в том, что предлагаемые схемы связи на хаотических сигналах основывались на традиционных структурах приемопередатчиков, где хаос использовался в качестве поднесущих колебаний, модулирующих высокочастотный (сверхвысокочастотный) носитель. При этом в значительной степени терялась такая привлекательная черта хаоса, как его широкополосность (сверхширокополосность), обеспечивающая высокие скорости передачи и формирование сигналов с большой базой.

Для преодоления данной проблемы было предложено отказаться от традиционной схемы приемопередатчиков и перейти к прямохаотическим схемам связи [2].

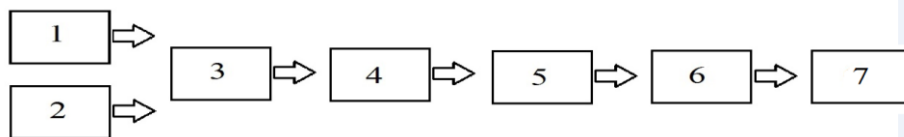
Цель моделирования – изучение и анализ работы как отдельных блоков системы, так и самой прямохаотической системы радиосвязи.



Система Анищенко-Астахова описывается системой дифференциальных уравнений 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 дискретно-нелинейной системы Анищенко-Астахова при разных вариациях параметров  $\mu$  ( $\mu = 7 \dots 11$ ), при  $m=1.6$ ,  $g=1.7$ ,  $D=0.9$ . На основе полученного диапазона параметров, в котором система проявляет хаотическое поведение, исследованы фазовый портрет и спектры формируемых сигналов. Получены инженерные рекомендации по выбору диапазонов изменения параметров системы Анищенко-Астахова для обеспечения стабильной работы прямохаотической системы радиосвязи.

Для передачи информации шумоподобный сигнал с широким спектром поступает на вход модулятора. При передаче “1” в определенный интервал излучается шумоподобный импульс, а для передачи “0” – пробел. В приемной части принятый сигнал фильтруется и проводится детектирование огибающей. [2,3]



**Рис.1 Блок-схема прямохаотической системы передачи информации: 1-генератор широкополосного хаотического сигнала, 2-источник цифрового информационного сигнала, 3-модулятор, 4,5-передающая и приемная антенны, 6-фильтр, 7-детектор.**

Актуальным является разработка и создание радиоэлектронного генератора, позволяющего получать сигналы с широким спектром и управлять структурными характеристиками генерируемых автоколебаний. В работах [4,5] был предложен генератор динамического хаоса с регулируемой структурой, в качестве базовой схемы для которого послужил генератор с инерционной нелинейностью Анищенко-Астахова.

Работа генератора сверхширокополосных хаотических сигналов с регулируемой базой на основе схемы с инерционной нелинейностью Анищенко-Астахова описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = x * (m - \mu * z) + \frac{y}{1+D*\cos(\varphi)} \\ \dot{y} = -x \\ \dot{z} = g(x^2 * \theta(x) - z) \\ \dot{\varphi} = g * \text{sign}(x), \theta(x) = 1, x > 0; \theta(x) = 0, x \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$ ,  $g$  – параметры возбуждения и инерционности,  $\mu$ -параметр согласования выходных напряжений нелинейного преобразователя и колебательного контура,  $D$  – интенсивность флуктуации шума,  $\varphi(t)$  - случайный процесс.

Значения дисперсии, математического ожидания и среднеквадратического отклонения при разных вариациях параметров  $\mu(7 \dots 11)$ , при  $m=1.6$ ,  $g=1.7$ ,  $D=0.9$  приведены в таблице 1.



Таблица 1

| Сигнал/<br>Параметр | $\mu = 7$                                 | $\mu = 8$                                    | $\mu = 9$                                     | $\mu = 10$                                  | $\mu = 11$                                |
|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| x                   | m(x)=0.462<br>cko(x)=1.77<br>d(x)= 3.135  | m(x)= 0.404<br>cko(x)= 1.64<br>d(x)= 2.69    | m(x)= 0.356<br>cko(x)= 1.533<br>d(x)= 2.352   | m(x)= 0.372<br>cko(x)= 1.471<br>d(x)= 2.164 | m(x)= 0.35<br>cko(x)= 1.3<br>d(x)= 1.908  |
| y                   | m(x)=4.509<br>cko(x)=3.998<br>d(x)=15.986 | m(x)= 3.966<br>cko(x)= 3.552<br>d(x)= 12.615 | m(x)= 3.634<br>cko(x)= 3.376<br>d(x)=11.402   | m(x)= 3.598<br>cko(x)= 3.189<br>d(x)=10.171 | m(x)= 3.212<br>cko(x)= 3.0<br>d(x)= 9.139 |
| z                   | m(x)=0.84<br>cko(x)=1.213<br>d(x)=1.473   | m(x)= 0.803<br>cko(x)= 1.014<br>d(x)= 1.029  | m(x)= 0.8367<br>cko(x)= 0.901<br>d(x)= 0.8132 | m(x)= 0.698<br>cko(x)= 0.821<br>d(x)= 0.674 | m(x)= 0.587<br>cko(x)= 0.7<br>d(x)= 0.054 |

Таким образом, из таблицы 1 видно, что при варьировании базовых параметров наблюдается изменение статистических характеристик генерируемых сигналов.

Режим хаотических колебаний наступает, когда  $\mu \geq 9.5$ . При меньшей величине  $\mu$  устанавливаются периодические колебания с характерной формой несимметричных импульсов.

Система уравнений (1) исследовалась в программной среде MatLab методом решения дифференциальных уравнений Рунге-Кутты, стандартной процедурой ode45.

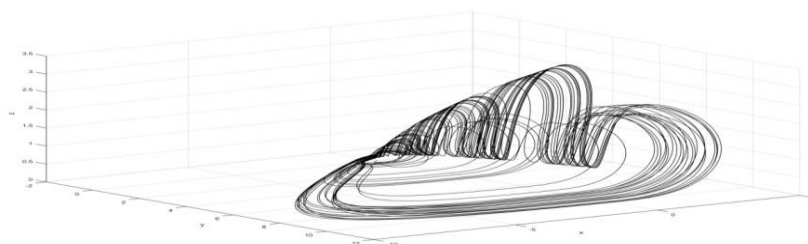


Рис.2 Фазовый портрет сверхширокополосной хаотической системы Анищенко-Астахова при  $m=1.6$ ,  $g=1.7$ ,  $D=0.9$ ,  $\mu=10$ .

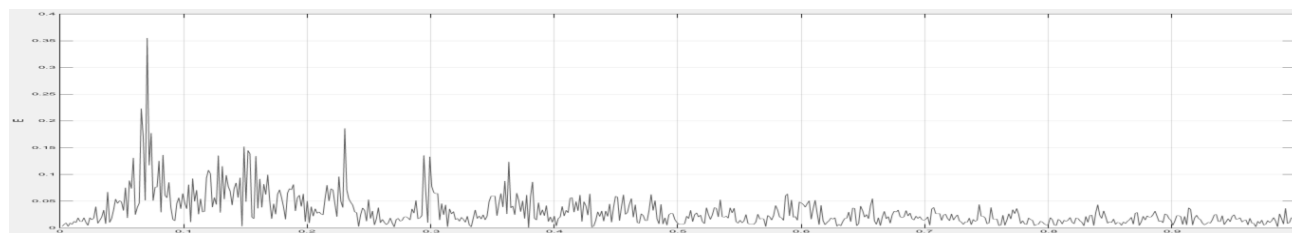
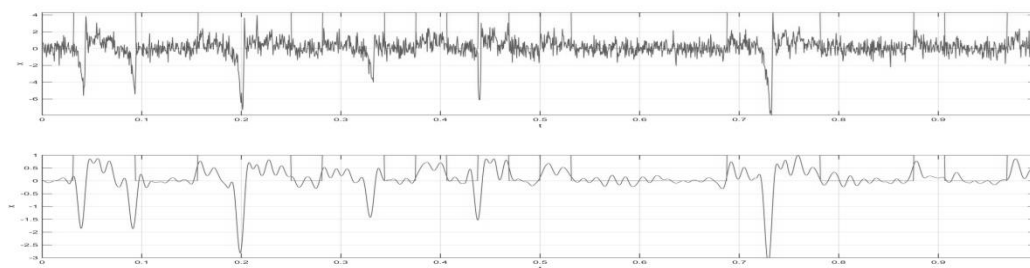


Рис. 3 Спектр колебаний, полученный численным моделированием режимов генерации динамической компоненты  $x$  при  $m=1.6$ ,  $g=1.7$ ,  $D=0.9$ ,  $\mu=10$

Из полученных графиков видно, что при параметрах  $m=1.6$ ,  $g=1.7$ ,  $D=0.9$ ,  $\mu=10$  система сверхширокополосных хаотических сигналов с регулируемой базой на основе схемы с инерционной нелинейностью Анищенко-Астахова генерирует хаотические сигналы.

Рассмотрим данную систему передачи информации в канале с белым шумом. Ниже приведены реализации модулированного сигнала в канале с белым шумом без фильтрации и после прохождения блока ФНЧ.



**Рис.4 Реализации модулированного сигнала в канале с белым шумом без фильтрации и после прохождения блока ФНЧ**

После прохождения блока ФНЧ сигнал подлежит детектированию и извлечению передаваемой информации.

В работе изучены и проанализированы работы блоков прямохаотической системы радиосвязи на основе схемы Анищенко-Астахова. На основе полученных в ходе работы результатов, выработаны инженерные рекомендации по выбору параметра  $\mu$ , для стабильной работы прямохаотической системы радиосвязи на основе схемы Анищенко-Астахова.

#### **Список цитируемой литературы**

1. Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е. Сверхширокополосная прямохаотическая передача информации в СВЧ-диапазоне. // Письма в ЖТФ, 2003, том 29, вып. 2, с. 70-76.
2. Леонов К.Н., Потапов А.А., Ушаков П.А. Использование инвариантных свойств хаотических сигналов в синтезе новых помехоустойчивых широкополосных систем передачи информации // Радиотехника и электроника, 2014, том 59, с. 1209-1229.
3. Кузнецов С.П. Динамический хаос // Учеб. Пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Издательство Физико-математической литературы, 2006.-356с.
4. Жанабаев З.Ж., Тарасов С.Б., Кадыракунов К.Б., Алмасбеков Н.Е., Кызгарина М.Т., Маннабаева А.В. Генератор сверхширокополосных хаотических сигналов с регулируемой базой. XIII межд.н.т.конф. «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж, 2007, с 1954-1959.
5. Жанабаев З.Ж., Тарасов С.Б., Кадыракунов К.Б., Алмасбеков Н.Е. Экспериментальное получение и исследование перемежаемых сигналов// Вестник КазНУ. Серия физ. - 2005.-1(19).-С.149-153.

© В. И. Карнаухов 2019