

УДК 621.373:681.325.36:621.391.7

ЦИФРОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО ХАОТИЧЕСКОГО СИГНАЛА С ГРЕБЕНЧАТЫМ СПЕКТРОМ ДЛЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ МАНИПУЛЯЦИИ

ЛУКИН К. А., ЗЕМЛЯНЫЙ О. В.

*Институт радиопизики и электроники им. А. Я. Усикова Национальной Академии наук Украины,
Украина, Харьков, 61085, ул. Проскуры 12*

Аннотация. Разработан алгоритм цифровой генерации широкополосного хаотического сигнала с гребенчатым спектром на основе нелинейной дискретной системы с запаздыванием. Экспериментально реализован способ передачи информации с использованием метода спектральной манипуляции с цифровой генерацией и обработкой. Результаты работы могут применяться в системах защиты передаваемой информации от несанкционированного доступа.

Ключевые слова: цифровая генерация хаотических сигналов; динамическая система с запаздывающей обратной связью; генератор сигналов произвольной формы; спектральная манипуляция хаотического сигнала

Применение шумоподобных сигналов в современных широкополосных телекоммуникационных системах позволяет обеспечить высокую помехозащищенность и устойчивое функционирование в условиях многолучевого распространения при одновременной работе многих абонентов в общей полосе частот, а также обеспечивает электромагнитную совместимость с узкополосными радиосистемами [1].

Развитие теории динамического хаоса в нелинейных системах [2] обусловило появление нового класса шумоподобных сигналов — широкополосных хаотических сигналов [3], которые с успехом используются в шумовых телекоммуникационных и радиолокационных системах [4–8].

Одним из методов генерации таких сигналов является хаотизация автоколебательных систем с запаздыванием [9, 10], особое место среди которых занимают кольцевые автоколе-

бательные системы в режимах динамического хаоса [11, 12], обеспечивающие большое разнообразие хаотических режимов и позволяющие получать сигналы с заданными свойствами.

В настоящее время в связи с развитием цифровых методов формирования и обработки сигналов появилась возможность создания источников хаотических сигналов на основе серийно выпускаемых цифровых устройств различной степени интеграции для телекоммуникационных, радиолокационных и навигационных систем [13–17].

Устройства, реализующие цифровую генерацию сигналов, имеют существенные преимущества по сравнению с устройствами аналогового формирования сигналов. Характеристики цифровых устройств не изменяются при изменении внешних условий, т.к. они реализуются на базе цифровых элементов, устойчиво работающих при изменении температуры,

DOI: [10.20535/S0021347016090053](https://doi.org/10.20535/S0021347016090053)
© Лукин К. А., Земляной О. В., 2016

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Варакин Л. Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. — М. : Радио и связь, 1985. — 384 с.
2. *Шустер Г.* Детерминированный хаос: Введение / Г. Шустер ; пер. с англ. под ред. Ф. М. Израйлева. — М. : Мир, 1988. — 240 с.
3. *Кислов В. Я.* Новый класс сигналов для передачи информации. Широкополосные хаотические сигналы / В. Я. Кислов, В. В. Кислов // Радиотехника и электроника. — 1997. — Т. 42, № 8. — С. 962–973.
4. *Kennedy M. P.* Chaotic electronics in telecommunications / M. P. Kennedy, R. Rovatti, G. Setti (eds). — Boca Raton : CRC Press, 2000. — 445 p.
5. *Лукин К. А.* Шумовая радарная технология / К. А. Лукин // Радиофизика и электроника. — 1999. — Т. 4, № 3. — С. 105–111.
6. *Кислов В. Я.* Применение хаотических сигналов в информационных технологиях / В. Я. Кислов, В. В. Колесов, Р. В. Беляев // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. — 2009. — Т. 1, № 1–2. — С. 23–32. — Режим доступа : http://www.raen.info/files/RENSIT_2009_01_p023-032.pdf.
7. *Кислов В. Я.* Динамический хаос и его использование в радиоэлектронике для генерирования, приема и обработки колебаний и информации / В. Я. Кислов // Радиотехника и электроника. — 1993. — Т. 38, № 10. — С. 1783–1815.
8. Сложные хаотические дискретные сигналы в системах телекоммуникации, радиолокации и навигации / Р. В. Беляев, Г. М. Воронцов, В. Я. Кислов, В. В. Колесов, С. В. Крупенин, А. М. Попов, В. И. Рябенков // Радиотехника и электроника. — 2006. — Т. 51, № 9. — С. 1116–1128. — Режим доступа : <http://elibrary.ru/item.asp?id=17303724>.
9. Метод разностных уравнений в резонаторной задаче с нелинейным отражателем / К. А. Лукин, Ю. Л. Майстренко, А. Н. Шарковский, В. П. Шестопалов // Докл. АН СССР. — 1989. — Т. 309, № 2. — С. 327–331.
10. *Кузнецов С. П.* Сложная динамика генераторов с запаздывающей обратной связью (обзор) / С. П. Кузнецов // Радиофизика. — 1982. — Т. 25, № 12. — С. 1410–1428. — (Изв. вузов).
11. *Дмитриев А. С.* Генерация микроволнового динамического хаоса в кольцевой автоколебательной системе на комплементарной металл–окисел–полупроводниковой структуре / А. С. Дмитриев, Е. В. Ефремова, А. Ю. Никишов // Письма в ЖТФ. — 2010. — Т. 36, № 9. — С. 82–89. — Режим доступа : <http://journals.ioffe.ru/articles/12391>.
12. *Кальянов Э. В.* Кольцевая многокаскадная автоколебательная система с хаотической динамикой / Э. В. Кальянов, В. Я. Кислов, Б. Е. Кяргинский // Радиотехника. — 2005. — № 3. — С. 41–45.
13. *Kolesov V. V.* Information technologies on dynamic chaos for telecommunication, radar and navigation systems / V. V. Kolesov, A. A. Potapov // Electromagnetic Phenomena. — 2005. — Vol. 5, No. 2. — P. 91–104. — URL : <http://www.emph.com.ua/15/kolesov.htm>.
14. *Lukin K. A.* Millimeter-wave band noise radar / K. A. Lukin // Telecom. Radio Eng. — 2009. — Vol. 68, No. 14. — P. 1229–1255. — DOI : [10.1615/TelecomRadEng.v68.i14.20](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v68.i14.20).
15. *Земляный О. В.* Генераторы случайных сигналов на основе ПЛИС для шумовых радиолокаторов / О. В. Земляный, К. А. Лукин // Прикладная радиоэлектроника. — 2013. — Т. 12, № 1. — С. 32–36.
16. Программно определяемый шумовой радар на основе ПЛИС / К. А. Лукин, J. R. Moreira, P. L. Vyplavin, S. K. Lukin, and O. V. Zemlyaniy // Прикладная радиоэлектроника. — 2013. — Т. 12, № 1. — С. 89–94.
17. Цифровая система скрытой передачи информации на основе системы с запаздыванием / А. С. Караваев, В. И. Пономаренко, Е. П. Селезнев, Е. Е. Глуховская, М. Д. Прохоров // Письма в ЖТФ. — 2011. — Т. 37, № 14. — С. 24–31. — Режим доступа : <http://journals.ioffe.ru/articles/14252>.

18. Дьяконов В. П. Генерация и генераторы сигналов / В. П. Дьяконов. — М. : ДМК Пресс, 2009. — 384 с.

19. Gini F. Waveform Design and Diversity for Advanced Radar Systems / Fulvio Gini, Antonio De Mario, Lee K. Patton (eds). — IET Radar, Sonar and Navigation, 2012. — 552 p.

20. Земляной О. В. Передача информации на основе манипуляции спектра широкополосного хаотического сигнала / О. В. Земляной // Радиофизика и электроника. — 2015. — Т. 6, № 3. — С. 72–78.

21. System Generator for DSP. — Режим доступа : <http://www.xilinx.com/products/design-tools/vivado/integration/sysgen.html>. — Загл. с экрана.

22. Земляной О. В. Корреляционно-спектральные свойства хаоса в нелинейной динамической сис-

теме с запаздыванием и асимметричным нелинейным отображением / О. В. Земляной, К. А. Лукин // Радиофизика и электроника. — 2002. — Т. 7, № 2. — С. 406–414.

23. Дмитриев А. С. Стохастические колебания в радиофизике и электронике / А. С. Дмитриев, В. Я. Кислов. — М. : Наука, 1989. — 280 с.

24. Ikeda K. Optical turbulence: Chaotic behavior of transmitted light from a ring cavity // K. Ikeda, H. Daido, O. Akimoto // Phys. Rev. Lett. — 1980. — Vol. 45, No. 9. — P. 709–712. — DOI : [10.1103/PhysRevLett.45.709](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.45.709).

25. Arbitrary waveform generator — AWG472. — Режим доступа : <http://www.euvis.com/products/mod/awg/awg472.html>. — Загл. с экрана.

Поступила в редакцию 28.09.2015