

Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК 621.391

К.С. Васюта, А.Л. Ковтунов, Ф.Ф. Зоц, С.В. Озеров

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ХАОТИЧЕСКИХ НЕСУЩИХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В работе предложена практическая реализация формирователя хаотической несущей, выполненного на базе сигнального процессора, цифро-аналогового преобразователя и генератора тактовых импульсов. Синтезирован алгоритм формирования хаотической последовательности на базе среды программирования C++. Приведена функциональная схема экспериментальной установки формирования хаотической несущей, которая позволяет привести цифровую хаотическую последовательность, сгенерированную при помощи сигнального процессора к аналоговому виду. Показано, что полученная временная реализация хаотической несущей подобна шуму наблюдения (белый шум). Это обеспечивает возможность применения такой хаотической несущей для повышения скрытности функционирования радиотехнических систем.

Ключевые слова: формирователь хаотических несущих, экспериментальная установка, теорема Котельникова, шум наблюдения, скрытность.

Введение

В настоящее время исследованием и применением хаотических последовательностей (процессов) занимается немало научных коллективов как у нас в стране, так и за рубежом, вышло в свет множество научных трудов посвященных динамическому хаосу. Однако, анализ литературы [1 – 5] показывает, что большинство исследований ограничиваются лишь теоретическими выкладками и имитационным моделированием (в среде MathCAD, Mat lab и т.д.). Примеров практической реализации хаотических последовательностей (процессов) не много: хаотический генератор Чуа [6], прямохаотический приемопередатчик Дмитриева [7] и др.

Целью работы является, используя возможности современной микроэлементной базы, синтез устройства формирования хаотической несущей на основе полинома Чебышева первого рода k -го порядка.

Изложение основного материала

Хаотическую последовательность (процесс) можно получить имитационным моделированием на основе известных парадигм нелинейной динамики [8]: логистическое (квадратичное, Фейгенбаумна) отображение $x_{n+1} = \lambda x_n(1 - x_n)$, палаточное (кусочно-линейное) отображение, отображение Энона $x_{n+2} = 1 - a(x_{n+1})^2 + bx_n$, полиномы Чебышева первого рода 1 – 9-го порядков. Проведенный анализ статистических характеристик вышеуказанных парадигм [8], показывает что с позиции повышения скрытности и разрешающей способности радиотехнических информационно-измерительных систем целесообразно

применять знакопеременную хаотическую последовательность сформированную полиномами Чебышева первого рода 1 – 9-го порядка (например, в табл. 1 приведены аналитические выражения, временные реализации и фазовые портреты полинома Чебышева первого рода 3-го, 5-го, 9-го порядка).

Согласно теореме Котельникова [9] сигнал, спектральная плотность которого не содержит составляющих с частотами выше f_b , полностью определяется своими мгновенными значениями, отсчитанными в дискретные моменты времени через интервал

$$t_d = 1 / 2f_b. \quad (1)$$

Таким образом, для формирования сигнала необходимо в моменты времени t_a получать цифровое значение его величины и преобразовывать в аналоговую форму.

Исследуемый дискретный сигнал в интервалы времени $t \in [n, n+1]$ изменяется линейно от значения x_n до x_{n+1} , которые вычисляются, например, с применением полинома Чебышева первого рода 3-го порядка:

$$x_{n+1} = 4(x_n)^3 - 3x_n. \quad (2)$$

Поэтому после каждой итерации расчета по соотношению (2) производился расчет N значений сигнала в моменты времени t_d .

Значения сигнала рассчитывались по формуле, которая описывает сигнал линейной зависимостью:

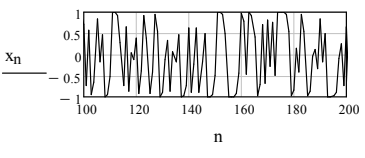
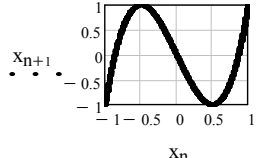
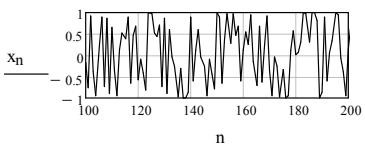
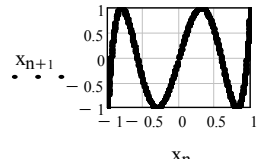
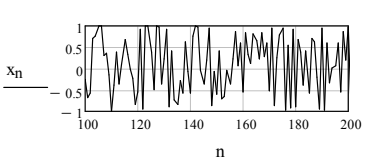
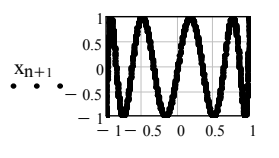
$$x_{t_d} = k \cdot t_d N + b. \quad (3)$$

Коэффициенты k и b уравнения прямой (3) рассчитывались из соотношений:

$$\begin{aligned} k &= (x_{n+1} - x_n) / (t_{n+1} - t_n); \\ b &= (x_n \cdot t_{n+1} - x_{n+1} \cdot t_n) / (t_{n+1} - t_n). \end{aligned} \quad (4)$$

Таблица 1

Аналитическое выражение, временная реализация и фазовый портрет полиномов Чебышева первого рода 3-го, 5-го, 9-го порядков

Порядок	Аналитическое выражение	Временная реализация	Фазовый портрет
3-й	$x_{n+1}=4x_n^3-3x_n$		
5-й	$x_{n+1}=16x_n^5-20x_n^3+5x_n$		
9-й	$x_{n+1}=256x_n^9-576x_n^7+432x_n^5-120x_n^3+9x_n$		

Можно заметить, что ширина спектра сформированного хаотического сигнала будет определяться длительностью дискреты (интервал Найквиста) и ограничена возможностями технологий цифро-аналоговых преобразований. В [10] показано, что использование COTS (Commercial Off The Shelf) технологий позволяет производить синтез и обработку сигналов с частотой до 3ГГц. Пример зависимости амплитуды хаотического сигнала, который сформирован по соотношениям (1) – (4) от времени показан на рис. 1. При этом для каждого интервала [n, n+1] рассчитывалось N=10 значений сигнала.

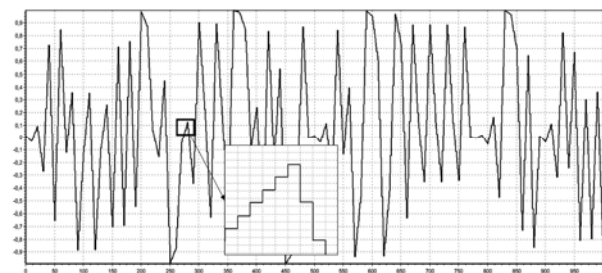


Рис. 1. Пример сформированной зависимости хаотической последовательности от времени

Алгоритм формирования обеспечивал выдачу рассчитанных значений сигналов через LPT- порт компьютера на внешнее устройство в интересах дальнейшего цифро-аналогового преобразования. Синхронизацию работы устройств обеспечивает регулируемый тактовый генератор. Выдача рассчитанной информации производилась по переднему фронту входных импульсов. Функциональная схема экспериментальной установки формирования хаотической несущей представлена на рис. 2.

Контроль выходного аналогового хаотического сигнала осуществлялся осциллографом С1-65 (рис. 3). Из анализа рисунка следует, что данная реализация повторяет структуру хаотической последовательности сформированной полиномом Чебышева (рис. 1).

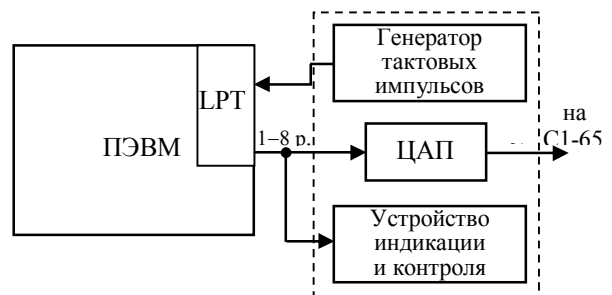


Рис. 2. Функциональная схема экспериментальной установки формирования хаотической несущей

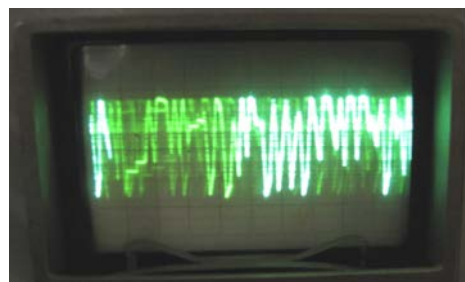


Рис. 3. Временная реализация аналоговой хаотической несущей

Общий вид экспериментальной установки формирования хаотической несущей представлен на рис. 4. Необходимо отметить, что представленное устройство является универсальным и обеспечивает цифроаналоговое преобразование гармонических и сложных сигналов, выдаваемых синтезатором сигналов.



Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки формирования хаотической несущей

Прикладним значенням являється можливість використання устро́йства, як для рішення дослідницьких задач, так і в якості аналога при створенні формувачів хаотических несущих (сигналов) для систем передачі даних і радіолокаційних систем.

Выводы

Разработанный формирователь позволяет осуществить преобразование цифровой хаотической последовательности в аналоговую хаотическую несущую, которая обладает повышенной скрытностью за счет схожести ее временных и статистических характеристик с характеристиками шума наблюдения (белого шума). Предложенный подход позволяет сформировать множество ортогональных хаотических несущих с различными начальными значениями формирования и обеспечить электромагнитную совместимость радиотехнических систем, работающих в одном частотном диапазоне. Такие несущие подобны шуму наблюдения, но благодаря свойству повторяемости, в отличие от шума, позволяют организовать когерентную обработку в многопозиционных (сетевых) системах при знании начального значения.

Таким образом, идея применения хаотической несущей может быть реализована в мобильных беспроводных комплексах широкополосной радиосвязи и радиолокационных системах военного назначения, обладающих

повышенной скрытностью, что в свою очередь является актуальным при создании единой интегрированной информационно-измерительной системы.

Список литературы

1. Короновский А.А. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации / А.А. Короновский // *Успехи физических наук*. – 2009. – Т. 179, № 12. – С. 1281-1310.
2. Мун Ф. Хаотические колебания / Ф. Мун. – М.: Мир, 1990. – 312 с.
3. Анищенко В.С. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивалова. – Ижевск: ИКИ, 2003. – 529 с.
4. Cuomo K.M. Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to communications / K.M. Cuomo // *Circuits and Systems II* – 1993. – V. 40. – I. 10. – P. 626-633.
5. Tao Y. Secure communication via chaotic parameter modulation / Y. Tao // *Circuits and Systems I* – 1996. – V. 43. – I. 9. – P. 817-819.
6. Dedieu H. Chaos shift-keying: modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits / H. Dedieu // *Circuits and Systems II* – 1993. – V.40. – I. 10. – P. 634-642.
7. Дмитриев А. С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи / А.С. Дмитриев, А.И. Панас. – М.: Физматлит, 2002. – 252 с.
8. Васюта К.С. Анализ корреляционных свойств хаотических радиоимпульсов / К.С. Васюта, А.А. Малышев, Ф.Ф. Зоц // *Системы обработки информации: сб. науч. пр.* – Х.: ХУПС, 2012. – Вып. 3(101), т. 2. – С. 22-25.
9. Аграновский К.Ю. Радиотехнические системы: учебное пособие для студентов вузов / К.Ю. Аграновский, Д.Н. Златогурский, В.Г. Киселев – М.: Высшая школа, 1979. – 333 с.
10. Разработка универсальной широкополосной платформы цифровой обработки и синтеза радиосигналов в НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана / И.В. Крючков, Д.В. Слюсаренко, В.И. Замятин, П.В. Шатов // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение»*, 2012. – С. 124-137.

Поступила в редколлегию 9.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П. Ю. Костенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ФОРМУВАЧ ХАОТИЧНИХ НЕСУЧИХ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО - КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

К.С. Васюта, А.Л. Ковтунов, Ф.Ф. Зоц, С.В. Озеров

У роботі запропонована практична реалізація формувача хаотичної несучої, виконаного на базі сигнального процесору, цифро-аналогового перетворювача і генератора тактових імпульсів. Синтезований алгоритм формування хаотичної послідовності на базі середовища програмування C++. Наведено функціональну схему експериментальної установки формування хаотичної несучої, яка дозволяє привести цифрову хаотичну послідовність, генеровану за допомогою сигнального процесору до аналогового виду. Показано, що отримана часова реалізація хаотичної несучої подібна шуму спостереження (білий шум). Це забезпечує можливість застосування такої хаотичної несучої для підвищення секретності функціонування радіотехнічних систем.

Ключові слова: формувач хаотичних несущих, експериментальна установка, теорема Котельникова, шум спостереження, секретність.

SHAPER CHAOTIC CARRIER FOR INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

K.S. Vasyta, A.L. Kovtunov, F.F. Zots, S.V. Ozerov

Practical realization of the chaotic carrier generator provided on the basis of the signal processor, digital-to-analogue converter and the clock pulse oscillator is offered in the work. The algorithm of formation of chaotic sequence on the basis of a programming environment C++ is synthesized. Shows a functional diagram of the experimental setup forming chaotic carrier that allows leading the digital chaotic sequence generated using a signal processor to analogue. It is shown that the resulting time series of chaotic carrier is similar to the noise of observation (white noise). It provides the possibility of using such a chaotic carrier to enhance the secrecy operation of radio systems.

Keywords: generator of chaotic carrier's experimental setup, Nyquist theorem, noise monitoring, secrecy.