

УДК 621.391

К.С. Васюта, С.В. Озеров, А.Н. Королюк

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

ПОВЫШЕНИЕ СКРЫТНОСТИ ХАОТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ MSK-МОДУЛЯЦИИ

В работе рассмотрена возможность формирования хаотического сигнала, обладающего повышенной скрытностью за счет применения MSK-модуляции. Приведена функциональная схема устройства формирования MSK-модулированного информационного хаотического сигнала. Показано, что статистические и динамические характеристики сформированного таким образом хаотического сигнала сходны с аналогичными характеристиками шума наблюдения. Теоретически это обеспечивает возможность применения такого хаотического сигнала для повышения скрытности функционирования радиотехнических систем передачи информации.

Ключевые слова: MSK-модуляция, хаотический сигнал, фазовый портрет, шум наблюдения, скрытность.

Введение

В настоящее время основным направлением повышения боевого потенциала развитых в военнотехническом отношении государств является совершенствование вооружений и военной техники на основе развития средств и систем радиосвязи, радиолокации, навигации, т.е. на основе информатизации всех сфер вооруженной борьбы. Рост зависимости боевых возможностей войск (сил) от широко внедряемых и используемых радиоэлектронных (радиотехнических) средств, обеспечивающих информатизацию, подчеркивает **актуальность** проблемы поиска путей снижения эффективности средств радиоэлектронной разведки и радиоэлектронного подавления потенциального противника.

Одним из подходов снижения эффективности средств радиоэлектронной разведки и радиоэлектронного подавления является повышение скрытности функционирования радиотехнических систем.

Под скрытностью следует понимать [1] способность радиотехнической системы противостоять радиоэлектронной разведке, а именно, обнаружению сигнала и определению его структуры на основе оценки ряда его параметров. В качестве критерия скрытности можно принять величину $P_{\text{скр}} = 1 - P_p$. Часто задача раскрытия смысла информации не ставится, и тогда можно принять, что скрытность определяется вероятностью разведки $P_p = P_{\text{обн}} P_{\text{скр}}$, которая характеризуется вероятностью правильного обнаружения сигнала $P_{\text{обн}}$ и вероятностью раскрытия его структуры $P_{\text{стр}}$ [1].

Анализ литературы [2 – 5] показывает, что одним из путей повышения скрытности функционирования радиотехнических систем является применение хаотических сигналов (процессов), которые по своим частотным, спектральным и корреляционным характеристикам подобны шуму наблюдения.

Однако за счет того, что хаотические сигналы проявляют структурированность в фазовом пространстве, применение несанкционированным наблюдателем нелинейных методов анализа (например, BDS-статистики [6]) позволяет отличить хаотический сигнал от шума наблюдения, что отрицательно сказывается на скрытности функционирования радиотехнических систем использующих в качестве несущей простые хаотические сигналы.

Целью работы является формирование сложного хаотического сигнала имеющего фазовый портрет (аттрактор) сходный с фазовым портретом шума наблюдения путем применения MSK-модуляции.

Основная часть

На сегодняшний день существует ряд способов усложнения фазового портрета хаотического сигнала, одним из которых является применение различных видов хаотической модуляции.

В работе будет идти речь о модуляции гармонической несущей по закону порождающей хаотической последовательности. Остановим выбор на MSK-модуляции [7] (Minimal Shift Keying) – частотной модуляции с минимальным сдвигом, которая обладает повышенной помехоустойчивостью по сравнению с амплитудными и фазовыми видами модуляции. Математическая модель MSK-модулированного сигнала в квадратурной интерпретации описывается выражением:

$$S_n = E(A_i \cos(\frac{\pi n}{2T_c}) \cos(2\pi f_0 n) + B_i \sin(\frac{\pi n}{2T_c}) \sin(2\pi f_0 n)) \quad (1)$$

где E – амплитуда сигнала, A_i , B_i – информационная компонента сигнала равная ± 1 , $\sin(\pi n / 2T_c)$, $\cos(\pi n / 2T_c)$ – гармонические полуволны квадратурных каналов, T_c – длительность импульса, f_0 – частота несущего колебания.

MSK-модуляція розглядається як квадратна частотна модуляція з неперервною фазой. Основна особливість цього способу модуляції полягає в тому, що приращення фази несущого коливання на інтервалі часу, рівному довготі. T_c одного символу, завжди рівно $+90^\circ$ або -90° в залежності від знаків символів модулюючого сигналу.

Для синтезу складного хаотического сигналу на основі MSK-модуляції виробимо частотну модуляцію несущого гармонического коливання породжуючою хаотическою послідовністю (т.е. частота гармонической несущей змінюється по закону хаотического коливання) формуючою полі-

номом Чебышева 1 рода третього порядку

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

На основі цього вираження (1) перетворимо к виду:

$$u_n = E(A_1 \cos(\frac{\pi n}{2T_c}) \cos(2\pi f_0 x_n n) + B_1 \sin(\frac{\pi n}{2T_c}) \sin(2\pi f_0 x_n n)), \tag{3}$$

де x_n – породжуюча хаотическая послідовність.

Функціональна схема пристрою формування MSK-модульованого хаотического сигналу представлена на (рис. 1).

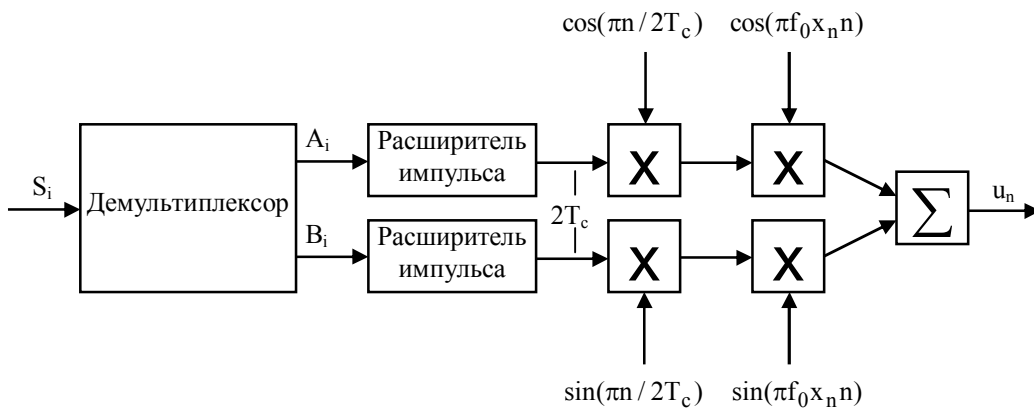


Рис. 1. Функціональна схема пристрою формування MSK-модульованого хаотического сигналу

Потік інформаційних біт S_i поступає на вхід демультиплексора, в якому розбивається на дві підпослідовності – четних і нечетних біт. Кожна підпослідовність перетворюється в послідовність позитивних або негативних прямокутних імпульсів A_i і B_i відповідно. Далі імпульси обох підпослідовностей розширюються до довготі $2T_c$, перемножуються на гармонические половини квадратурних каналів $\sin(\pi n / 2T_c)$, $\cos(\pi n / 2T_c)$ і переносяться на високу частоту

$$\cos(\pi f_0 x_n n) \text{ і } \sin(\pi f_0 x_n n).$$

Результати проведеного численного моделювання представлені в табл. 1. Для моделювання MSK-модульованого хаотического сигналу використовувались наступні параметри: $n=1000$, $E=1$, $T_c=10^{-4}$, $f_0=10^2$.

Для порівняльного аналізу в табл. 1 також приведені статистичні і динамічні характеристики класического MSK-модульованого сигналу, хаотического сигналу, шуму спостереження (с рівномірним розподілом).

Аналіз статистических і динаміческих властей детермінованих і стохастических сигналів (процесів) приведених в табл. 1 показує:

- статистические характеристики гармонической несущей после ее частотной модуляции породжуючою хаотическою послідовністю становляться схожими з аналогічними характеристиками хаотического процесу і шуму спостереження;

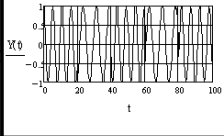
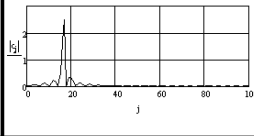
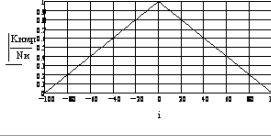
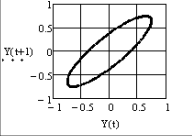
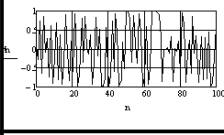
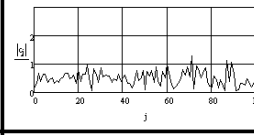
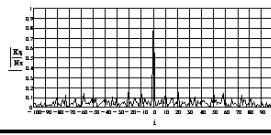
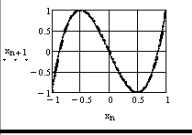
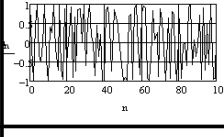
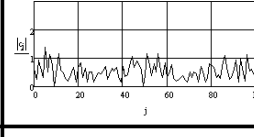
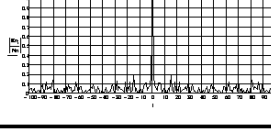
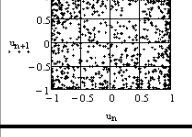
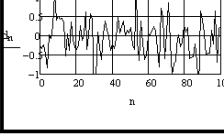
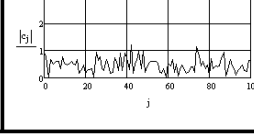
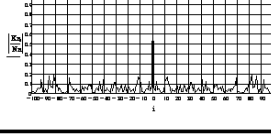
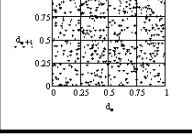
- фазовий портрет MSK-модульованого хаотического сигналу не структурований і схожий з фазовим портретом шуму спостереження.

Виходячи з цього, MSK-модуляція гармонического коливання по закону хаотической породжуючою послідовності фактично приводить до формуванню хаотического сигналу з динамічними характеристиками подібними шуму спостереження.

Выводы

Предложенный в работе подход по формированию хаотического сигнала, основанный на применении хаотической MSK-модуляции гармонической несущей, позволяет получить сложный хаотический сигнал который по своим визуальным, спектральным, фазовым и корреляционным характеристикам подобен шуму наблюдения, и как следствие – обладает повышенной скрытностью. Что в свою очередь приводит к повышению скрытности функционирования радиотехнических систем, где применяется такой сигнал.

Аналіз статистичних і динамічних властивостей детермінованих і стохастических сигналів (процесів)

№	Вид сигналу (процеса)	Временная реализация	Частотный спектр	Автокорреляционная функция	Фазовый портрет
1	MSK-модуляция на гармонической несущей				
2	Хаотический сигнал (процесс)				
3	Хаотическая MSK-модуляция				
4	Шум с равномерным распределением				

Идея использования сложных хаотических сигналов в качестве несущей может быть реализована в беспроводных комплексах широкополосной передачи данных военного назначения, что в свою очередь является актуальным при создании единого информационно-телекоммуникационного пространства.

Список литературы

1. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
2. Короновский А. А. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации // Успехи физических наук – 2009 – Т. 179, № 12. – С. 1281 – 1310.
3. Дмитриев А. С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи / А.С. Дмитриев, А.И. Панас – М.: Физматлит, 2002 – 252 с.

4. Tao Y. Secure communication via chaotic parameter modulation // Circuits and Systems I. – 1996. – V.43 I.9 – P. 817 – 819.

5. Dedieu H. Chaos shift-keying: modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits // Circuits and Systems II – 1993 – V.40 I.10 – P. 634 – 642.

6. Использование BDS-статистики для оценки скрытности сигнала, полученного перемешиванием хаотической несущей / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, А.Н. Барсуков [и др.] // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2010. – № 5 (53). – С. 41–45.

7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М.: Изд. дом Вильямс, 2003 – 1104 с.

Поступило в редколлегию 6.08.2013

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

IMPROVING STEALTH CHAOTIC SIGNAL BY APPLICATION MSK-MODULATION

K.S. Vasyta, S.V. Ozerov, A.N. Korolyk

The paper considers the possibility of the formation of a chaotic signal, which has a higher stealth by using MSK-modulation. Shows a functional diagram of the formation of MSK-modulated chaotic signal. It is shown that the static and dynamic characteristics thus generated chaotic signal with similar characteristics similar observation noise. This theoretically allows for the use of such a chaotic signal to increase the stealth operation of radio communication systems.

Keywords: MSK-modulation, chaotic signal, the phase portrait, noise observing, stealth.

ПІДВИЩЕННЯ СКРИТНОСТІ ХАОТИЧНОГО СИГНАЛУ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ MSK-МОДУЛЯЦІЇ

К.С. Васюта, С.В. Озеров, О.М. Королук

У роботі розглянуто можливість формування хаотичного сигналу, що володіє підвищеною скритністю за рахунок застосування MSK-модуляції. Наведена функціональна схема пристрою формування MSK-модульованого інформаційного хаотичного сигналу. Показано, що статистичні і динамічні характеристики сформованого таким чином хаотичного сигналу подібні до аналогічних характеристик шуму спостереження. Теоретично це забезпечує можливість застосування такого хаотичного сигналу для підвищення скритності функціонування радіотехнічних систем передачі інформації.

Ключові слова: MSK-модуляція, хаотичний сигнал, фазовий портрет, шум спостереження, скритність.