

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  $\pm 1$ ,  $\sin(\pi n / 2T_c)$ ,  $\cos(\pi n / 2T_c)$  – 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 довжині  $T_c$  одного символу, завжди дорівнює  $+90^\circ$  або  $-90^\circ$  в залежності від знаків символів модулюючого сигналу.

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

номом Чебышева 1 роду третього порядку

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

На основі цього вираження (1) преобразуємо к виду:

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

де  $x_n$  – породжуюча хаотическая послідовність.

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

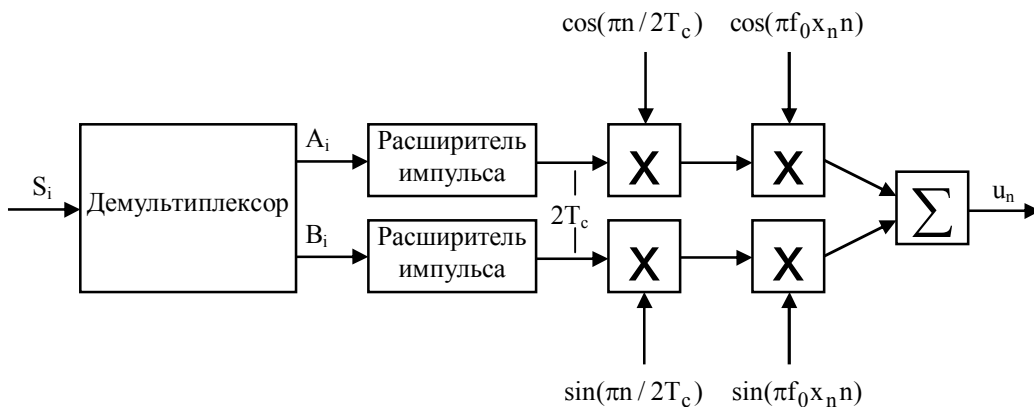


Рис. 1. Функціональна схема пристрою формування MSK-модульованого хаотического сигналу

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 довжин  $2T_c$ , перемножуються на гармонічні напівволни 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 чисельного 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 наведені статистичні і динамічні характеристики класического MSK-модульованого сигналу, хаотического сигналу, шуму спостереження (с рівномірним розподілом).

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

- статистическі характеристики гармоніческої несущої після її частотної модуляції породжуючою хаотическою послідовністю будуть схожими з аналогічними характеристиками хаотического процесу і шуму спостереження;

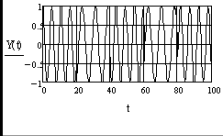
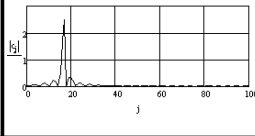
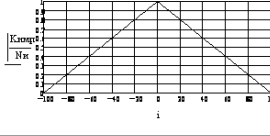
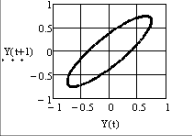
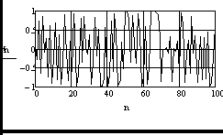
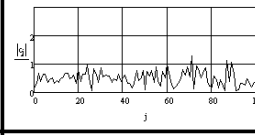
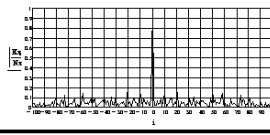
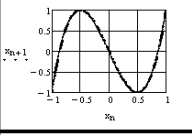
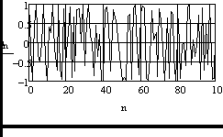
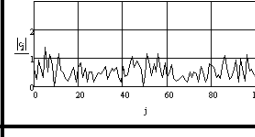
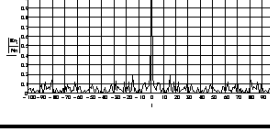
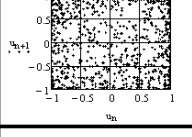
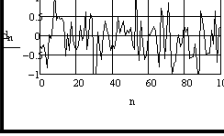
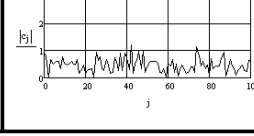
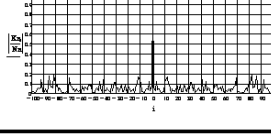
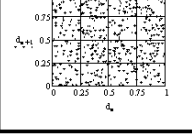
- фазовий портрет MSK-модульованого хаотического сигналу не структурізований і схожий з фазовим портретом шуму спостереження.

Виходячи з цього, MSK-модуляція гармоніческого коливання по закону хаотическої породжуючою послідовності фактическі приводить к формуванню хаотического сигналу з динаміческими характеристиками подібними шуму спостереження.

## Выводы

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

Анализ статистических и динамических свойств детерминированных и стохастических сигналов (процессов)

№	Вид сигнала (процесса)	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.