

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С РАСШИРЕНИЕМ СПЕКТРА НА ОСНОВЕ ХАОТИЧЕСКИХ БИНАРНЫХ КОДОВ

Беляев Р.В., Калинин В.И., Колесов В.В.

Институт радиотехники и электроники РАН
103907, Москва, Моховая 11

Загруженность радиодиапазона в сочетании с необходимостью обеспечения скрытной и помехоустойчивой связи обусловили разработку новых систем связи с кодировкой широкополосными псевдослучайными сигналами [1]. В таких системах все пользователи работают в одном частотном диапазоне, более широком, чем в случае традиционных систем связи с частотным разделением, но каждый из них использует свой идентификационный код или свою кодовую последовательность. При этом на вход приемного устройства индивидуального пользователя приходят не только обычные помехи флуктуационной природы, но и сигналы других абонентов и сигналы многолучевого распространения. В силу этого создание систем связи с кодовым разделением каналов требует разработки порождающих алгоритмов для формирования систем кодирующих сигналов с большим объемом и исследования их статистических и корреляционных свойств.

Применение хаотических порождающих алгоритмов обеспечивает возможность нового подхода к формированию хаотических последовательностей, которые могут быть использованы в качестве систем сигналов с большим объемом для мобильных систем связи с кодовым разделением абонентов. Создание большого ансамбля бинарных хаотических кодов осуществляется рекуррентным дискретным математическим алгоритмом [2]. В общем виде один из таких алгоритмов может быть представлен системой уравнений

$$y_k = \text{sign}[F(x_k)]$$

$$x_k = (1 - \exp(-h))\text{sign}[F(x_{k-N})] + \exp(-h)x_{k-1},$$

на основе которой вычисляются хаотические процессы y_k в неравновесной динамической системе с запаздыванием. Здесь $F(x_k)$ -нелинейная функция преобразования, параметр h означает шаг дискретизации по теореме отсчетов Котельникова, а целое число N определяет количество отсчетов на времени запаздывания в динамической системе.

В СВЧ-диапазоне разработана и экспериментально исследована модель модема для широкополосной системы связи с расширением спектра на основе мостовой схемы фазовращателя с фиксированным сдвигом фазы $\varphi=\pi$. Переключение фазосдвигающих отрезков микрополосковой линии производится высокочастотными p - i - n диодами с малым временем релаксации. Диапазон перестройки рабочей частоты для модема превышает октаву. Управление p - i - n диодами осуществляется хаотическими бинарными кодами, которые формируются программируемым цифровым процессором согласно хаотическому алгоритму. Для каждого абонента программным способом устанавливается собственный хаотический код за счет выбора N - мерного вектора начальных отсчетов, который является идентификационным параметром абонента.

Экспериментально исследовалась помехоустойчивость модели терминала на основе шумоподобной несущей, в которой для передачи информации применялись бинарные хаотические сигналы. Они формировались кодером, собранным на основе современных цифровых интегральных микросхем [3,4].

Схема эксперимента представлена на рис.1, где обозначено: СВЧ-генераторы сигнала и помехи-1 и 2 соответственно; фазовые модуляторы ФМ₁, ФМ₂ и ФМ₃- 3, 4 и 5; кодеры 6 и 7; СВЧ-сумматор- 8; регулируемая линия задержки- 9; передающая и приемная СВЧ-антенны- 10,11, анализатор спектра-12. Кодеры реализовывали один из алгоритмов генерации класса хаотических сигналов типа приведенного выше.

Расширение спектра передаваемого сигнала от СВЧ-генератора (1) производилось с помощью микроволнового модема ФМ₁ (3). СВЧ сигнал на средней частоте $F_{\text{ср}}$ поступал на вход модема, управление которого осуществлялось хаотической бинарной последовательностью импульсов от кодера (6). В результате на выходе ФМ₁ (3) наблюдался шумовой сигнал с непрерывным спектром.

В эксперименте по определению помехоустойчивости использовались два вида помех: синусоидальная помеха, близкая по частоте к передаваемому СВЧ-сигналу, и широкополосная помеха, согласованная по спектру с передаваемым сигналом. Широкополосная помеха формировалась с помощью микроволнового модема ФМ₂ (4). Управление модемом (4) осуществлялось отдельным кодером (7) с той же тактовой частотой, что и у кодера(6) передатчика. Кодирующие последовательности обоих кодеров (6) и (7) некоррелированы во времени.

Эксперимент выполнен при синхронизме кодирующих последовательностей для модемов передатчика и приемника, что обеспечивалось применением регулируемой задержки (9). Обратное когерентное сжатие по частоте принятого сигнала производилось модемом (5) в схеме приемника.

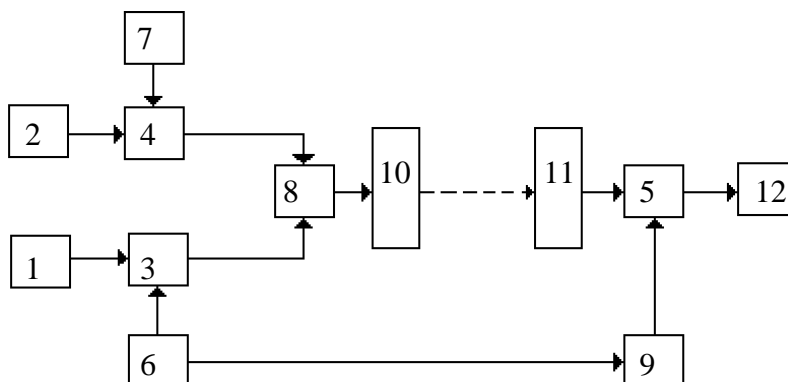


Рис. 1.

В качестве критерия помехоустойчивости принималось превышение свернутого сигнала на выходе приемного устройства (12) над шумовым фоном в зависимости от отношения сигнал /помеха на входе приемника.

При воздействии узкополосной помехи спектр суммарного сигнала и помехи на входе приемника имеет вид непрерывного в полосе широкополосного шума, соответствующего принятому сигналу с расширением спектра, над уровнем которого возвышается синусоидальная помеха. Декодер ФМ₃ обеспечивает свертку и выделение полезного сигнала. Одновременно имеет место "размывание" мощности узкополосной помехи по спектру во всей полосе, превращая помеху в шумовой пьедестал, над которым возвышается свернутый информационный сигнал.

Широкополосная помеха формируется при прохождении сигнала генератора (2) через ФМ₂ и на входе приемника ее спектр представляется в виде широкополосного непрерывного шума, внешне подобного шумовому спектру информационного сигнала на выходе ФМ₁. Суммарный спектр сигнала и широкополосной помехи на входе приемника имеет вид непрерывного в полосе широкополосного шума и показан на рис.2а. Спектр на выходе приемного устройства в результате свертки в ФМ₃ для отношения мощностей помеха / сигнал на входе, равного 10 дБ, представлен на рис.2б.

На рис.3 представлены результаты измерения отношения сигнал / помеха ($S_c / S_{ш}$) на выходе приемного устройства в зависимости от соотношения уровней помехи и информационного сигнала на входе приемника ($S_{ш} / S_c$) для двух видов помехи: узкополосной (1) и широкополосной (2). Предельная помехоустойчивость для системы связи с расширением спектра определяется отношением сигнал/помеха на входе приемника, при котором восстановление передаваемой информации становится невозможным при заданном времени усреднения.

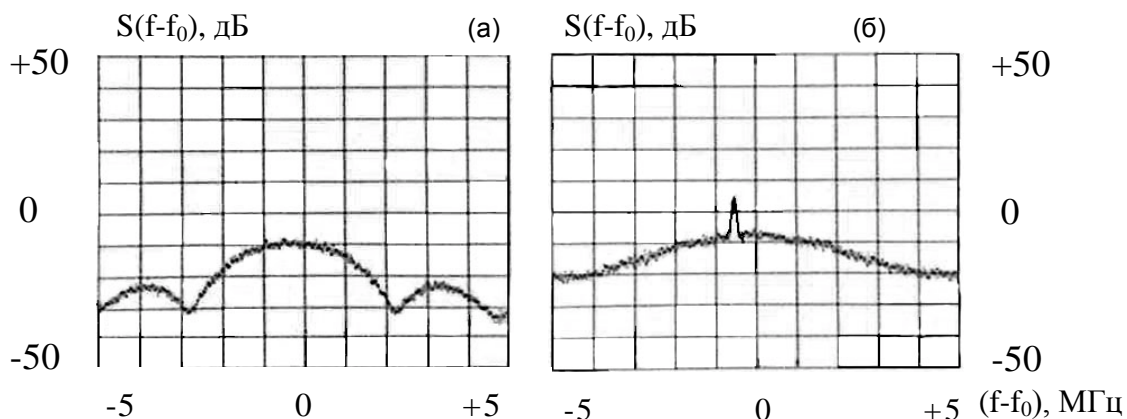


Рис.2

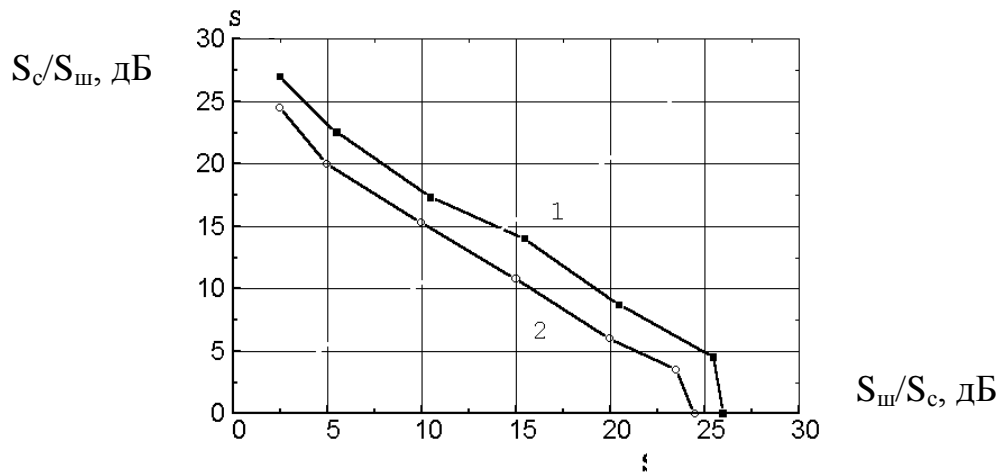


Рис. 3.

Результаты экспериментов показывают, что для обоих типов помехи предельная помехоустойчивость составляет ~25 дБ. При передаче информации используется непрерывная непериодическая кодирующая хаотическая последовательность, реализованная на практически неограниченном интервале времени. Таким способом реализуется динамическая смена кодов в течение всего времени передачи данных. Согласно Шеннону в этом случае практически исключается возможность криптографического раскрытия сообщения [5]. Этот результат свидетельствует о потенциальных возможностях применения исследуемой системы с расширением спектра на основе хаотических кодов в многостанционных мобильных системах связи с высокой степенью конфиденциальности.

Исследования выполнялись при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 98-07-90299 и проект № 00-07-90147).

Литература

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами-М. :Радио и связь,1979.
2. Гуляев Ю.В., Кислов В.Я., Кислов В.В.// Новый класс сигналов для передачи информации: широкополосные хаотические сигналы. ДАН.1998. Т.359. №6. С.750-754.
3. Колесов В.В., Беляев Р.В., Воронцов Г.М. Цифровой генератор случайных чисел на основе алгоритма хаотического сигнала//Радиотехника и электроника. 2001. Т.46. №10. (в печати)
4. Беляев Р.В., Калинин В.И., Колесов В.В. //Формирование шумоподобной несущей в системах связи с расширением спектра. Радиотехника и электроника. 2001. Т.46. №2. С.214-223.
5. Shannon. С.Е. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Techn. J.,1948.V.27,N 3, P.379-423.



NOISE-IMMUNITY OF A COMMUNICATION SYSTEM WITH SPREAD SPECTRUM ON THE BASIS OF CHAOTIC BINARY CODES

Belyaev R., Kalinin V., Kolesov V.

Institute of Radioengineering and electronics RAS
Moscow

In microwave band there was investigated experimentally a model of radioterminal on the basis of noise-like carrier with transmitting information by using binary chaotic sequence.

It is shown on Fig.1 experimental circuit where it was designated: microwave oscillators of information signal - 1 and noise signal -2; phase modulators $\Phi M_1, \Phi M_2, \Phi M_3$ -3, 4 and 5; coders of binary chaotic sequence -6 and 7; microwave adder- 8; controlled line of delay-9; transmitter's and receiver's antennas- 10, 11; analyzer of spectrum -12. The coders have been realised with one algorithm of the class generating chaotic signals.

The spreading spectrum of signal in microwave band arriving on an input of phase modulator ΦM_1 - (3) was accomplished by driving of this one with chaotic binary pulse sequence forming by the coder (6). As result of this action on the output ΦM_1 there were observed noise signal with a continuous spectrum in a wide frequency band.

There were used noise of the two type- narrow-band and wide-band. The first one of them was a monochromatic signal of the microwave oscillator (2) which pass through the phase modulator (4) when the coder (7) was switched off. The last was formed in passing monochromatic signal through the phase modulator (4), on which at the same time there have been arrived the driving chaotic binary sequences of coder (7) uncorrelated with analogic controlling sequences used for spreading spectrum of information signals. On the output of phase modulator the spectrum of the wide-band noise has an appearance just as a wide-band continuous noise. The combined spectrum of the information signal and the wide-band noise on the receiver's input is similar to one seen on the Fig.2a. An example of the spectrum on the output of receiver device is shown on Fig.2b. This spectrum is the result of convolution of the input signal in ΦM_3 (5) for relation noise / signal on the input being equal to 10 dB .

As it can be seen on Fig.3 a limited noise-immunity for both type of noise is nearly 25 dB. In this case the continuous unperiodic coding chaotic sequence was realised on practically unlimited time interval. So there was realised a dynamical code replacement for transmitting data.