

УДК 621.391

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛОВ
В ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ С ПРЯМЫМ
РАСШИРЕНИЕМ СПЕКТРА**

Горохов Ю.С.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
albrona@mail.ru*

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛІВ
В ШИРОКОСМУГОВИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ З ПРЯМИМ
РОЗШИРЕННЯМ СПЕКТРА**

Горохов Ю.С.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.
albrona@mail.ru*

**EFFICIENCY OF USE TIME SIGNALS IN BROADBAND TRANSMISSION
SYSTEMS WITH DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM**

Gorokhov Y.S.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa, Ukraine, 65029.
albrona@mail.ru*

Аннотация. Противодействие средствам несанкционированного доступа и радиотехнической разведки является важнейшей задачей при построении конфиденциальных систем связи, поэтому актуальными являются разработка и исследование методов передачи, которые позволяют увеличить скрытность передаваемых сигналов в канале связи.

Для увеличения структурной и информационной скрытности предлагается усложнять структуру передаваемых сигналов. Одним из путей решения данной проблемы является применение таймерных сигналов, на основе которых можно создавать различные множества сигнальных конструкций. Такие свойства сигналов особенно важны при разработке сигнальных конструкций с изменяемой структурой.

Предложен метод синтеза широкополосных систем передачи на основе таймерных сигналов и псевдослучайных последовательностей с использованием прямого расширения спектра сигнала. Рассмотрены особенности корреляционного приема широкополосных таймерных сигнальных конструкций. Показаны возможности повышения структурной и информационной скрытности системы связи с кодовым разделением сигналов.

Ключевые слова: широкополосный сигнал, прямое расширение спектра, таймерный сигнал, структурная и информационная скрытность, база сигнала.

Анотація. Протидія засобам несанкціонованого доступу і радіотехнічної розвідки є найважливішим завданням при побудові конфіденційних систем зв'язку, тому актуальним є розробка і дослідження методів передавання, які дозволяють збільшити прихованість передаваних сигналів у каналі зв'язку.

Для збільшення структурної та інформаційної прихованості пропонується ускладнювати структуру передаваних сигналів. Одним зі шляхів вирішення даної проблеми є застосування таймерних сигнальних конструкцій, на основі яких можна створювати чисельні сигнальні конструкції. Такі властивості сигналів особливо важливі при розробці сигнальних конструкцій зі змінюваною структурою.

Горохов Ю.С.

139

Запропоновано метод синтезу широкополосних систем передавання на основі таймерних сигналів і псевдовипадкових послідовностей з використанням прямого розширення спектра сигналу. Розглянуто особливості кореляційного прийому широкополосних таймерних сигнальних конструкцій. Показано можливості збільшення структурної та інформаційної прихованості системи зв'язку з кодовим розподілом сигналів.

Ключові слова: широкополосний сигнал, пряме розширення спектра, таймерний сигнал, структурна та інформаційна прихованість, база сигналу.

Abstract. Counteraction to facilities of unauthorized division and radiotechnical secret service is a major task at the construction of confidential communication networks, therefore development and research of methods transmissions are actual that allow to increase secrecy of transferrable signals in a communication channel.

It is suggested to complicate the structure of transferrable signals for the increase of structural and informative secrecy. One of ways of this problem decision is application of timer signals that allow to create the different great numbers of alarm constructions. Such properties of signals are especially important for development of alarm constructions with a changeable structure.

The method of synthesis of the broadband systems of transmission is offered on the basis of timer signals and pseudorandom sequences using direct expansion of signal spectrum. The features of cross-correlation reception of broadband timer alarm constructions are considered. Possibilities of increase of structural and informative secrecy of communication network are shown with the code division of signals.

Key words: broadband signal, direct expansion of spectrum, timer signal, structural and informative secrecy, base of signal.

Широкополосная передача и кодовое разделение сигналов повсеместно применяются в действующих радиолокационных, радионавигационных и телекоммуникационных системах [1]. В современных беспроводных приложениях чаще всего для формирования широкополосных сигналов (ШПС) используется метод прямого расширения спектра (ПРС). Расширение спектра сигнала происходит на основе применения ортогональных псевдослучайных последовательностей (ПСП), близким по своим свойствам к шумоподобным сигналам, в которых длительность элементов, называемых чипами, намного меньше времени передачи бита сообщения [1].

В современных системах передачи информации проблемой является обеспечение противодействия средствам несанкционированного доступа (НСД) [1].

Несанкционированный доступ к передаваемой информации предполагает обнаружение сигнала, определение структуры обнаруженного сигнала и раскрытие содержащейся в сигнале информации. Перечисленным задачам НСД противопоставляются три вида скрытности сигналов: энергетическая, структурная и информационная.

Энергетическая скрытность характеризует способность противостоять мерам, направленным на обнаружение сигнала средствами НСД. Известно [1], что одним из путей повышения энергетической скрытности является увеличение ширины спектра используемых сигналов, что достигается применением шумоподобных (ШПС) сигналов в системах передачи информации.

Структурная скрытность характеризует способность противостоять мерам НСД, направленным на раскрытие структуры сигнала при условии, что сигнал уже обнаружен. Это означает распознавание формы сигнала и измерение его параметров, т. е. отождествление обнаруженного сигнала с одним из множества априорно известных передаваемых символов. Очевидно, что для увеличения структурной скрытности необходимо иметь по возможности больший ансамбль используемых сигналов с изменяемыми во времени параметрами.

Информационная скрытность определяется способностью системы связи противостоять мерам, направленным на раскрытие смыслового содержания сообщения, передаваемого с помощью сигналов [1]. Раскрытие смыслового содержания означает отождествление каждого принятого сигнала или их множества с тем сообщением, которое передавалось.

Противодействие средствам НСД является важнейшей задачей, поэтому следует осуществлять поиск сигналов и исследования методов их передачи, позволяющих увеличить скрытность функционирования систем связи. Оценка скрытности сигналов в бинарном канале в основном проводилась для двоичных кодов. В частности, такие исследования были выполнены для систем передачи с кодовым разделением сигналов [1]. Однако в литературе отсутствует оценка эффективности использования таймерных сигналов (ТС) в системах широкополосной связи. **Целью статьи** является исследование возможности повышения скрытности сигналов (бинарного канала) за счет применения ТС в широкополосных системах передачи с прямым расширением спектра.

Для увеличения структурной скрытности необходимо по возможности расширять ансамбль используемых сигналов [1]. Известно, что в бинарном канале увеличить количество реализаций кодовых последовательностей на некотором интервале времени можно за счет применения ТС [2].

Ансамбль бинарных ТС формируется на интервале времени $T_c = nt_0$, где n – количество элементарных посылок; t_0 – их длительность при базовом элементе Δ , где $\Delta = t_0/s$ и $s \in 1, 2, 3, \dots$; l – целые числа.

При позиционном кодировании информация о передаваемом разряде определяется уровнем сигнала элементарной посылки. В таймерных сигналах информация заложена в нескольких отдельных (временных) интервалах $t_c = t_0 + k\Delta$, где $k \in 0, 1, 2, \dots, s \cdot (n-2)$ с учетом их взаимного расположения на интервале формирования T_c . Пример формирования нескольких реализаций бинарных ТС на интервале времени $T_c = 5t_0$ при базовом элементе Δ показан на рис. 1.

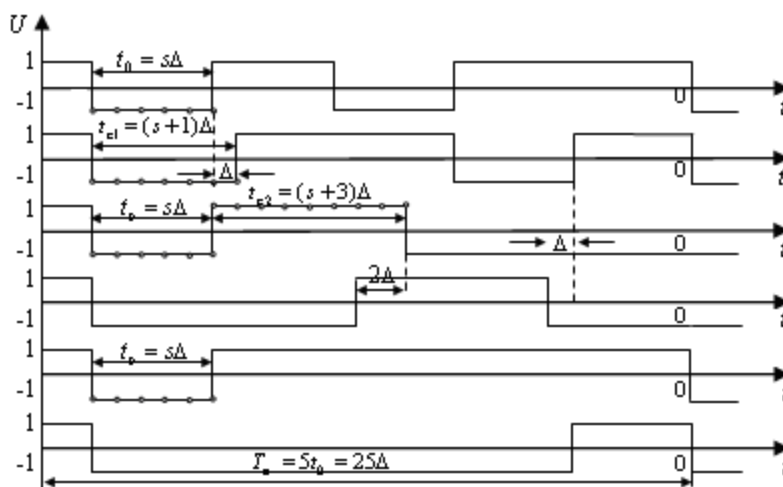


Рисунок 1 – Формирование реализаций бинарных ТС на интервале времени $T_c = 5t_0$ при базовом элементе Δ

Из рисунка следует, что таймерные сигналы представляют собой вид позиционных кодов (ПК), в которых разрешенные для передачи сигнальные конструкции имеют не меньше s подряд элементов Δ одного знака (1 или -1).

Такой метод формирования позволяет передавать в канал отрезки сигнала длительностью $t_c \geq \Delta \cdot (s + j)$, где $j = 0, 1, 2, 3, \dots$, что исключает межсимвольные искажения. С другой стороны, не кратность t_c величине t_0 позволяет уменьшить до Δ расстояния между сигнальными конструкциями. Это дает возможность получить число реализаций ТС N_p на

интервале nt_0 больше 2^n . При заданном числе s , где $s = t_0/\Delta$ на интервале n единичных элементов число реализаций сигнального алфавита бинарных ТС равно [3]

$$N_p = \frac{[(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]]!}{i! \cdot [(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i] - i]!}, \quad (1)$$

где i – число информационных значащих моментов модуляции (ЗММ) в сигнале.

При применении сигнальных конструкций с разным числом ЗММ число реализаций

$$N_p = \sum_{i=1}^n \frac{[(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]]!}{i! \cdot [(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i] - i]!}. \quad (2)$$

В табл. 1 дано количество реализаций ТС с различным числом информационных ЗММ и среднее значение числа ЗММ при разных значениях $s \in (1..20)$ и $T_c = 8t_0$; $T_c = 10t_0$.

Таблица 1 – Количество реализаций ТС с различным числом информационных ЗММ и среднее значение числа ЗММ

$s \backslash n$	1	2	3	4	5	10	15	20
8	255	1596	5895	16492	38739	735450	4952841	20628612
	4,02	4,3	4,5	4,67	4,76	5,11	5,3	5,49
10	1023	10945	58424	217224	644760	27042520	$3,02 \cdot 10^8$	$1,83 \cdot 10^9$
	5	5,4	5,67	5,85	6	6,44	6,68	6,83

Анализ таблицы показывает, что на одном и том же временном интервале T_c можно сформировать намного больше реализаций ТС, чем сигналов простого двоичного кода, где $N = 2^n$.

На рис. 2 показана упрощенная структурная схема системы передачи информации с использованием ТС.

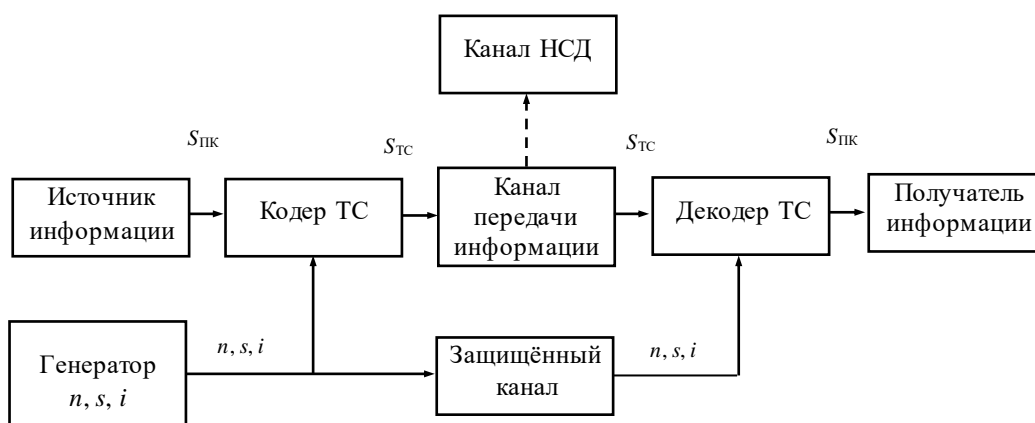


Рисунок 2 – Упрощенная структурная схема системы передачи информации

Источник информации выдает непрерывную последовательность информационных двоичных элементов позиционного кода, которая кодеком ТС разбивается на блоки некоторой длины $k_{ПК}$. Длина блока $k_{ПК}$ определяется из условия максимально возможного

числа реализаций $N_{p_{TC}}$, сформированных на некотором интервале n при выбранных параметрах s и i , тогда

$$k_{ПК} \leq \log_2 N_{p_{TC}}. \quad (3)$$

Каждой длине блока $k_{ПК}$ соответствует число, определяющее номер реализации ПК. Кодер ТС осуществляет кодирование сигнала ПК $S_{ПК}$ в сигнал ТС $S_{ТС}$ по правилу

$$S_{ПКj} \rightarrow S_{ТСz} (n, s, i), \quad (4)$$

т.е. каждый сигнал $S_{ПКj}$ представляется определенной конструкцией $S_{ТСz}$, где j и z – соответственно номера реализаций.

Изменение параметров n , s и i дает возможность на выходе кодера ТС получать различные множества сигнальных конструкций, каждое из которых может отличаться длительностями, зависящими от значений n , числом базовых элементов s и числом переходов i , т. е. структурой сигнала.

На рис. 3 показан принцип прямого расширения спектра таймерных сигналов в широкополосных системах связи. В отличие от прямого расширения спектра сигналов позиционного кода, когда число чипов (элементарных сигналов), определяющее базу сигнала B , размещается на единичном интервале элементарной посылки, в ТС число чипов должно быть кратным базовому элементу Δ .

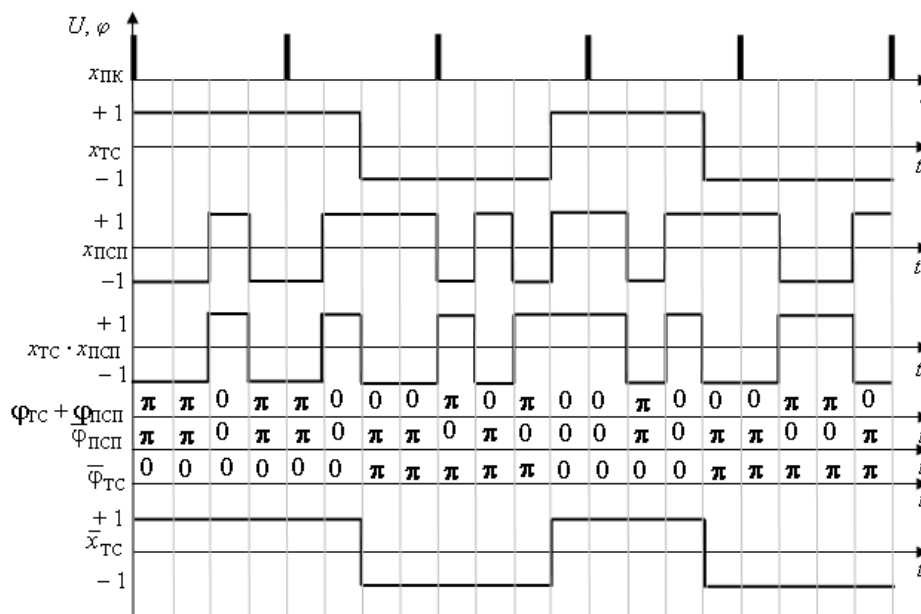


Рисунок 3 – Принцип прямого расширения спектра таймерных сигналов в широкополосных системах связи

Если обозначить информационную последовательность ПК через $x_{ПК}$, то ей соответствует согласно (3) реализация таймерного сигнала $x_{ТС}$. Для расширения спектра ТС используется псевдослучайная последовательность $x_{ПСП}$, временная длительность элементарных сигналов (чипов) которой определяет ширину спектра системы передачи, а их число – базу таймерной конструкции.

При фазовой манипуляции на передаче фаза несущей $\Phi_{ТС} + \Phi_{ПСП}$ равна π , если произведение $x_{ТС}x_{ПСП}$ равно 1 и 0 , если произведение $x_{ТС}x_{ПСП}$ равно -1 . На приеме используется корреляционный прием и, если фаза опорного колебания $\Phi_{ПСП}$ совпадает с

фазой несущей $\varphi_{ТС} + \varphi_{ПСП}$, то выносятся решение, что фаза таймерного сигнала равна 0 и равна π при несовпадении фаз. В дальнейшем используется обычный фазовый детектор и восстанавливается таймерная конструкция и ей соответствующая информационная последовательность позиционного кода.

Таким образом, к известным свойствам широкополосных систем [1] добавляются структурная и информационная скрытность таймерных сигналов [3,4]. Например, минимальный ансамбль таймерных сигналов $A_{ТС}$, который требуется при несанкционированном доступе, чтобы проанализировать перехваченный сигнал

$$A_{ТС} = \sum_n \sum_s \sum_{i=1}^n \frac{[(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]]!}{i! \cdot [(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i] - i]!}, \quad (5)$$

где n , s и i – текущие значения параметров.

Тогда структурная скрытность ТС определяется формулой [3].

$$S_{ТС} = \log_2 A_{ТС}. \quad (6)$$

Для оценки структурной скрытности ПСП в сочетании с ТС формулу (6) преобразуем к виду

$$S = \log_2 (A_{ТС} \cdot A_{ПСП}). \quad (7)$$

На рис. 4 представлены зависимости потенциальной структурной скрытности сигналов ТС и ПСП при их совместном использовании от базы B .

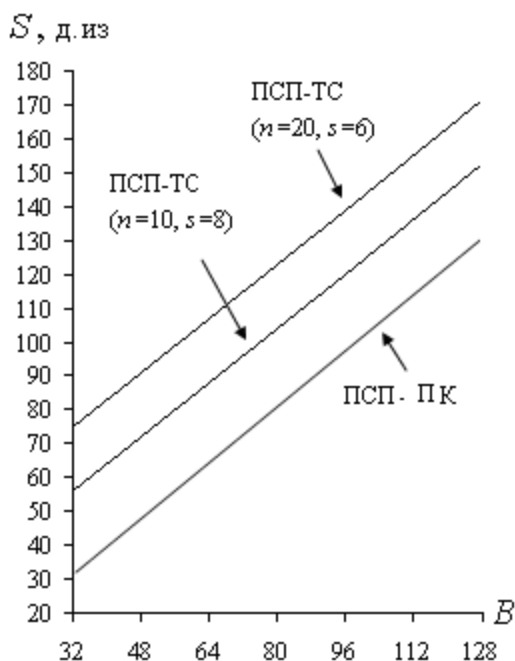


Рисунок 4 – Зависимости потенциальной структурной скрытности сигналов ТС и ПСП при их совместном использовании от базы B

Из рисунка видно, что потенциальная структурная скрытность сигналов при совместном использовании ТС и ПСП значительно выше, чем у сигналов с ПК. Значительно повышается и информационная скрытность. Например, на передающей и приемной стороне для каждого числа переходов i в принятой реализации ТС при определенных значениях n и

s используется своя таблица перекодировки в ПК. Также разным s или некоторым комбинациям параметров n , s и i могут соответствовать другие таблицы, что повышает информационную скрытность передаваемых сигналов. Частота смены параметров n , s , i и соответствующих им таблиц перекодировки выбирается такой, чтобы накопленные станцией НСД статистические данные по числу перехваченных реализаций ТС не давали возможности достаточно быстро распознать смысловое содержание передаваемого сообщения.

Так как параметры n , s и i должны быть известны приемной стороне, то их передача обычно осуществляется по отдельному достаточно защищенному каналу.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / Ипатов В.П.; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2007. – 487 с.
2. Захарченко Н.В. Основы кодирования / Захарченко Н.В., Крысько А.С., Захарченко В.Н. – Одесса: УГАС им. А. С. Попова, 1999. – 240 с.
3. Захарченко Н. В. Структурная скрытность таймерных сигналов в системах с кодовым разделением каналов / Н.В. Захарченко, В.В. Корчинский, Б.К. Радзимовский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/9(50). – С. 7–9.
4. Захарченко Н. В. Оценка информационной скрытности таймерных сигнальных конструкций в системах передачи конфиденциальной информации / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2011. – № 1. – С. 3–8.

REFERENCES:

1. Ipatov V.P. (2007). Shirokopolosnie sistemi I kodovoe razdelenie signalov. Principi I prilogeniya. [Broadband systems, and code division signals. Principles and applications]. Technocfera, 487 s.
2. Zaharchenko N. V. (1999). Osnovi kodirovaniya / Zaharchenko N.V., Krisko A.S., Zaharchenko V.N.. — Odessa: UGAS im. A. S. Popova. – 240 s.
3. Zaharchenko N. V. Strukturnaya skritnost taimernih signalov v sistemah s kodovim razdeleniem kanalov / N. V. Zaharchenko, V. V. Korchinskii, B. K. Radzimovskii // Vostochno_Evropeskii jurnal peredovih tehnologii. – 2011. – № 2/9(50). – S. 7–9.
4. Zaharchenko N. V. Ocenka informacionnoi skritnosti taimernih signalnih konstrukcii v sistemah peredachi konfidencialnoi informacii / N. V. Zaharchenko, V. V. Korchinskii, B. K. Radzimovskii // Zbirnik naukovih prac ONAZ im. O. S. Popova. – 2011. – № 1. – S. 3–8.