

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

*Осадчук Е.А.*

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛІВ

*Осадчук К.О.*

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

## STATISTICAL PROPERTIES RESEARCH OF TIME SIGNALS

*Osadchuk K.O.*

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

**Аннотация.** Проведено исследование статистических свойств таймерных сигналов. Вычислены коэффициенты взаимной корреляции, определены автокорреляционные и взаимокорреляционные функции, представлены графики односторонней спектральной плотности таймерных сигнальных конструкций.

**Ключевые слова:** таймерные сигналы, коэффициент корреляции, автокорреляционная и взаимокорреляционная функции, спектральная плотность.

**Анотація.** Проведено дослідження статистичних властивостей таймерних сигналів. Обчислені коефіцієнти взаємної кореляції, визначені автокореляційні і взаємкореляційні функції, надані графіки односторонньої спектральної щільності таймерних сигнальних конструкцій.

**Ключові слова:** таймерні сигнали, коефіцієнт кореляції, автокореляційна і взаємкореляційна функції, спектральна щільність.

**Abstract.** The statistical properties of timer signals are researched. Correlation coefficients are calculated, autocorrelation and interrelation functions are determined, the spectral density graphs presented of the timer signal construction.

**Key words:** timer signals, correlation coefficient, autocorrelation and interrelation functions, spectral density.

Одним из методов увеличения количества передаваемой информации на заданном интервале времени в телекоммуникационных системах может быть применение сигнальных конструкций, в которых расстояния между моментами модуляции в одной кодовой конструкции не меньше интервала Найквиста, а энергетическое расстояние между кодовыми конструкциями определяется элементом меньшим от интервала Найквиста. Как известно, такими свойствами обладают таймерные сигналы [1].

Сигнальный алфавит бинарных таймерных сигнальных конструкций (ТСК) формируется на интервале времени  $T_c = nt_0$ , где  $t_0$  – величина, обратная полосе пропускания канала  $\Delta F$ , при базовом элементе  $\Delta$ , где  $\Delta = t_0/s$ ;  $s \in 1; 2; 3; \dots k$  – целые числа.

Пример формирования сигнального алфавита бинарных ТСК на интервале времени  $T_c = 7t_0$  при базовом элементе  $\Delta$  показан на рис. 1.

Каждый значащий момент модуляции (ЗММ) может занимать на интервале формирования ТСК позиции, расположенные на расстоянии  $k\Delta \geq t_0$  друг от друга по отношению к предыдущему, причем  $\Delta$  определяется как минимальное расстояние между соседними положениями одного ЗММ в разных конструкциях. Информация о передаваемом сообщении, переносимая ТСК, содержится в номере временной позиции, занимаемой ЗММ.

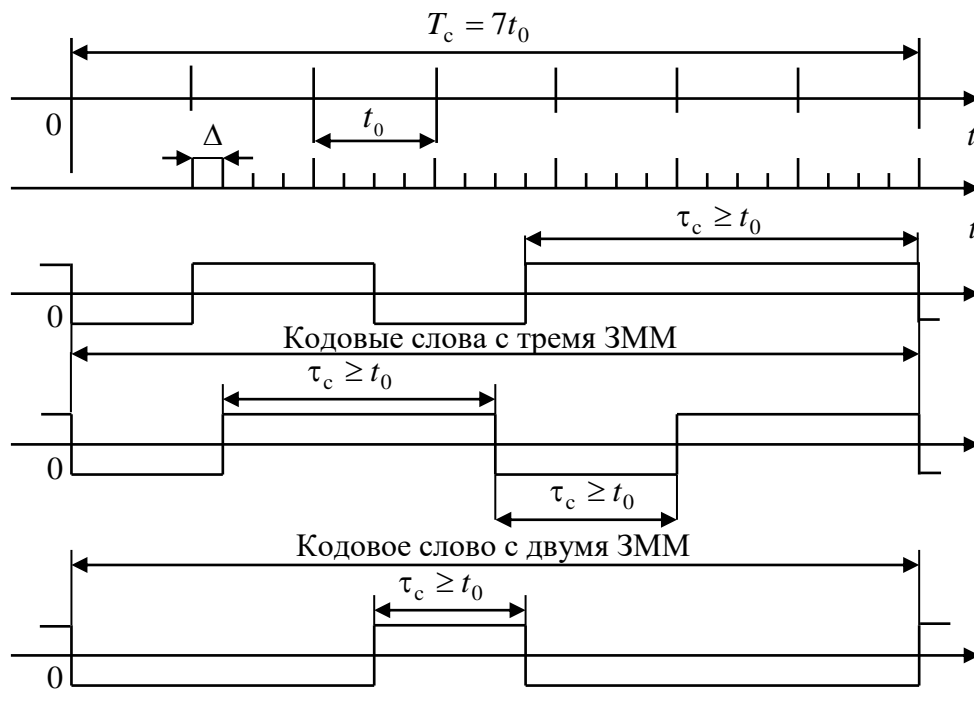


Рисунок 1 – Формирование сигнального алфавита бинарных ТСК на временном интервале  $T_c = 7t_0$  при базовом элементе  $\Delta$

Из принципа синтеза ТСК следует, что в каждой сигнальной конструкции сигнал с длительностями  $\Delta$  в канал не передается. Однако длительность элемента  $\Delta$  учитывается, когда на приеме производится оценка поступившей конструкции в сравнении со всеми возможными реализациями.

Так как величина  $\Delta < t_0$ , то увеличение пропускной способности системы возможно, если число реализаций сигнала  $N_p$  на интервале  $nt_0$  больше  $2^n$ . С учетом заданного  $s$ , где  $s = t_0/\Delta$ , на интервале  $n$  единичных элементов мощность сигнального алфавита бинарных ТСК составляет [1]

$$N_p = \sum_{i=1}^n C_{ns-i(s-1)}^i, \quad (1)$$

где  $i$  – число ЗММ в сигнале.

В табл. 1 приведено количество реализаций ТСК 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 ТСК 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 ТСК, чем сигналов простого двоичного кода, где  $N = 2^n$ . Например, при формировании ТСК на интервале  $T_c = 8t_0$  (одного байта) и  $s = 5$  число возможных реализаций  $N_p = 38739$ . Такое количество реализаций можно получить только с помощью двоичного кодового слова с  $n = \lceil \log_2 38739 \rceil = 15$  элементов. Следовательно, скорость передачи при применении ТСК, то есть количество передаваемой информации на временном интервале  $T_c$ , увеличивается.

Для эффективного использования ТСК в телекоммуникационных системах требуется знание их статистических свойств, однако в литературе отсутствует статистическое описание таймерных сигналов.

**Целью статьи** является исследование и анализ статистических свойств таких сигналов с точки зрения передачи их по каналам связи. Для анализа и исследования статистических свойств формируем ТСК на интервале  $T_c = 16t_0$  и  $s = 4$ , выбирая число информационных ЗММ в сигнале  $i = 5$ , при котором получаем максимальное количество ТСК на интервале  $T_c = 16t_0$  [1]. Парный коэффициент корреляции между наугад выбранными кодовыми конструкциями длиной  $l = 64\Delta$  вычисляем по формуле [2,3]:

$$r_{gj} = \frac{\sum_l \bar{x}_l^g \bar{x}_l^j}{\sqrt{\sum_l (\bar{x}_l^g)^2} \sqrt{\sum_l (\bar{x}_l^j)^2}}. \quad (2)$$

В табл. 2 представлены результаты вычисления коэффициентов взаимной корреляции и соответствующих им кодовых расстояний в  $\Delta$  некоторых ТСК.

Таблица 2 – Коэффициенты взаимной корреляции  $r_{gj}$  и кодовое расстояние  $d$

№ ТСК		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$r_{gj}$	0,181	-0,197	-0,043	-0,474	0,226	0,055	0,088	0,498	0,398
	$d$	26	38	32	43	25	30	29	17	22
2	$r_{gj}$	-	0,365	0,0095	-0,132	-0,273	-0,016	0,463	0,183	0,145
	$d$	-	20	30	33	41	32	17	25	30
3	$r_{gj}$	-	-	-0,162	-0,054	-0,02	-0,143	0,083	-0,031	0,073
	$d$	-	-	34	31	33	36	29	31	32
4	$r_{gj}$	-	-	-	0,109	-0,354	-0,162	0,126	0,11	-0,044
	$d$	-	-	-	19	43	34	27	21	42
5	$r_{gj}$	-	-	-	-	-0,087	-0,132	-0,382	-0,304	-0,695
	$d$	-	-	-	-	36	33	40	30	57
6	$r_{gj}$	-	-	-	-	-	0,36	-0,369	0,334	-0,018
	$d$	-	-	-	-	-	21	44	24	31
7	$r_{gj}$	-	-	-	-	-	-	0,21	0,539	0,073
	$d$	-	-	-	-	-	-	25	15	32
8	$r_{gj}$	-	-	-	-	-	-	-	0,305	0,526
	$d$	-	-	-	-	-	-	-	22	19
9	$r_{gj}$	-	-	-	-	-	-	-	-	0,347
	$d$	-	-	-	-	-	-	-	-	31

Анализ таблицы показывает, что ТСК имеют различные коэффициенты взаимной корреляции и соответствующие им кодовые расстояния в элементах  $\Delta$ , что дает возможность строить эффективные алгоритмы канального кодирования.

Автокорреляционная функция (АКФ) таймерных сигнальных конструкций определена таким образом [3]:

$$R(\tau) = \sum_{l=0}^{L-\tau-1} \bar{x}_l \bar{x}_{l-\tau}, \quad (3)$$

где  $L$  – число  $\Delta$  в кодовой конструкции;  $\tau$  – временной сдвиг на интервал  $\Delta$ .

Для наглядности используем нормированную функцию АКФ

$$r(\tau) = \frac{R(\tau)}{R(0)}. \quad (4)$$

На рис. 2 представлены графики нормированных АКФ некоторых ТСК из приведенных в табл. 2.

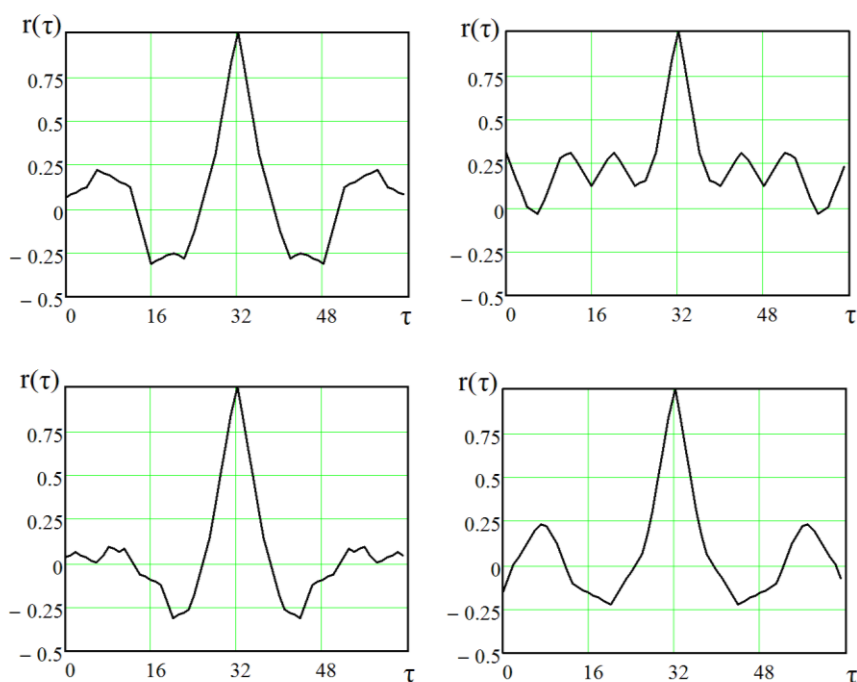


Рисунок 2 – Графики нормированных АКФ таймерных сигнальных конструкций

Взаимокорреляционные функции (ВКФ) вычислялись по формуле [3]:

$$R_{gj}(\tau) = \sum_{l=0}^{L-\tau-1} \bar{x}_{g,l} \bar{x}_{j,l-\tau}. \quad (5)$$

Графики нормированных ВКФ таймерных сигнальных конструкций представлены на рис. 3, из которого видно, что их максимальные выбросы не превышают значение 0,5.

Анализ АКФ показывает, что они отличаются формой, каждой конструкции соответствует своя форма АКФ. Различие формы АКФ позволяет осуществлять в целом прием ТСК в системах передачи информации. В случае приема в целом вся информация, содержащаяся в принятом сигнале относительно переданного сообщения, может быть использована объединенной решающей схемой. Предполагая линейность системы и наличие идеальной синхронизации в канале, рассмотрим корреляционный метод приема ТСК. Метод заключается в том, что в приемнике вычисляется корреляция принятой комбинации ТСК со

всеми разрешенными. Обозначим принятую реализацию ТСК через  $y(t)$ , а все разрешенные комбинации как  $C_i(t)$ .

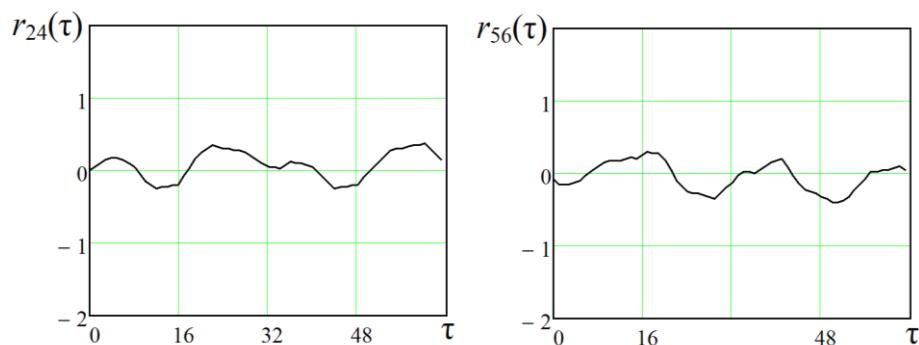


Рисунок 3 – Графики нормированных ВКФ таймерных сигнальных конструкций

Приемник вычисляет вектор корреляции

$$z_i = \int_0^{T_c} y(t)C_i(t)dt, \quad (6)$$

где  $T_c$  – длина кодовой комбинации;  $i$  – номер и количество разрешенных.

В конце каждого интервала  $T_c$  осуществляется отбор максимального значения  $z_i$  корреляционных интегралов и принимается решение, что принята комбинация ТСК с номером  $i$ .

После чего интеграторы сбрасываются в нулевое состояние, а решающее устройство выдает принятую реализацию таймерного сигнала получателю с задержкой на тактовый интервал  $T_c$ .

Односторонняя спектральная плотность таймерных сигнальных конструкций представлена на рис. 4.

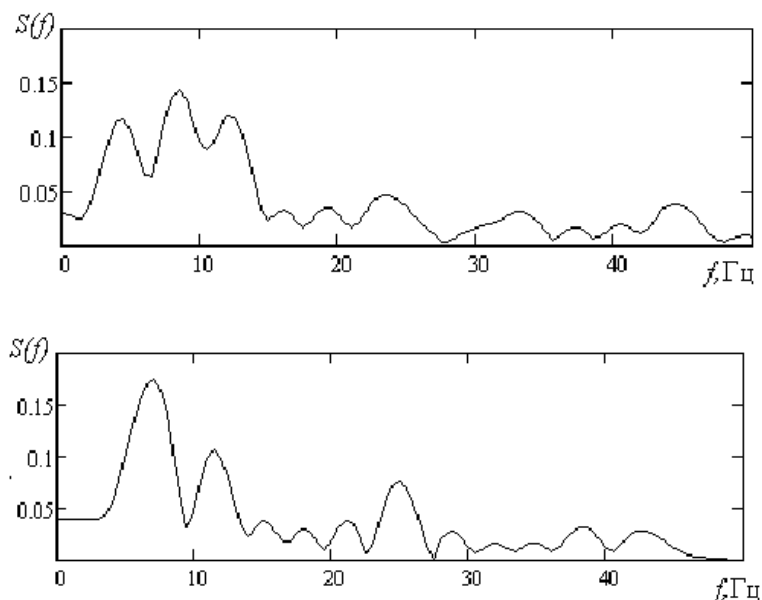


Рисунок 4 – Односторонняя спектральная плотность таймерных сигнальных конструкций

Видно, что основная часть энергии сосредоточена до значений  $f = 1/t_0$ , а форма спектра индивидуальна для каждой комбинации ТСК. Следовательно, определение номера

ТСК можно производить и в результате анализа спектра в приемном устройстве. При обратном преобразовании Фурье от спектра мощности определяется автокорреляционная функция принятой комбинации ТСК согласно теореме Винера-Хинчина:

$$R_g(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_g(f) e^{j2\pi f\tau} df . \quad (7)$$

Автокорреляционная функция может быть вычислена цифровым процессором методом обратного преобразования Фурье от спектральной плотности мощности принятой комбинации ТСК. Пороговое устройство на выходе процессора по наибольшему значению автокорреляционной функции принимает решение о номере принятой кодовой комбинации, в результате производится однозначное восстановление переданной комбинации ТСК.

Таким образом, в статье показано, что знание статистических свойств таймерных сигнальных конструкций позволяет применить новые подходы к их декодированию на приеме как во временной, так и в частотной области.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Захарченко Н.В. Синтез таймерных сигнальных конструкций с разделенными множествами синдромов обнаруживаемых и исправляемых ошибок / Н.В. Захарченко, М.М. Гаджиев, Е.А. Осадчук. // Научный и производственно-практический сборник трудов ОПУ. – 2007. – № 1(27). – С. 157.
2. Куликов Е. И. Прикладной статистический анализ / Куликов Е. И. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 464 с.
3. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / Ипатов В. П.; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2007. – 487 с.

#### REFERENCES:

1. Zaxarchenko M. V., Gadgiev M. M., Osadchuk K. O. (2007). Synthesis of timer signals constructions separated by a plurality of syndromes to detect and correct errors / Scientific and practical production ONU works collection – 2007. – № 1 (27). – P. 157.
2. Kulikov E. I. (2008). Applied statistical analysis. Hot line – Telecom, 2008. – P. 464.
3. Ipatov V. P. (2007). Broadband systems, and code division signals. Principles and applications. Technocfera, 2007. – P. 487.