

## ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ТАЙМЕРНЫМИ СИГНАЛЬНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ И ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

*В статье рассмотрены методы повышения защищённости систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ). В качестве исходного узкополосного источника сигнала предложено использовать непозиционные таймерные сигнальные конструкции (ТСК). Определены граничные значения параметров построения ТСК для систем связи с ППРЧ с учетом требований основных показателей помехозащищённости: помехоустойчивости и скрытности. Рекомендовано при выборе структуры ТСК учитывать параметры расширения спектра узкополосного сигнала методом быстрой ППРЧ.*

*Ключевые слова: скрытность, таймерная сигнальная конструкция, псевдослучайная перестройка рабочей частоты*

V.V. KORCHYNSKII, V.I. KILDISHEV, A.M. BERDNIKOV, E.A. OSADCHUK

Odessa National Academy of Telecommunications named after A.S. Popova

## INCREASING THE PROTECTION OF THE COMMUNICATION SYSTEM WITH TIMER SIGNAL STRUCTURES AND RANDOM ADJUSTMENT OF THE OPERATING FREQUENCY

*Abstract. In the article the method of increasing the security of communication systems with random adjustment of the operating frequency (RAOF) is considered. As an initial narrow-band signal source, it is proposed to use non-position timer signal structures (TSS). The boundary values of the parameters of the construction of the TSS for the communication systems with the RAOF are determined taking into account the requirements of the basic indicators of noise security: noise immunity and secrecy. The researches have shown that the use of TSS in communication systems with RAOF is increased the structural concealment of signal structures, which is explained by the possibility of forming various ensembles of signals, which differ in the structure and number of realizations. The change in time in the process of transferring the ensemble of transmitted signals allows significantly increasing the complexity of recognizing the structure of signals by unauthorized access to the enemy. It has been established that increasing in the structural concealment of TSS due to decreasing in the energy distance between neighboring signal structures leads to decreasing in the noise immunity of the system. It is proposed to assess the structural concealment of TSS with regard to the requirement for reliability of transmission. It is recommended when choosing the TSS structure; taking into account the parameters of spreading the spectrum of the narrowband signal via RAOF.*

*Key words: secrecy, timed signal structures, random adjustment of the operating frequency.*

### 1. Введение

В условиях радиоэлектронного противодействия актуальным является поиск методов передачи, обеспечивающих повышение защищенности существующих систем связи от средств радиотехнической разведки и несанкционированного доступа. Известно, что методы скрытой передачи основаны на расширении спектра исходного информационного узкополосного сигнала с помощью псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) или псевдослучайными последовательностями [1], которые разрабатывались только для позиционных кодов. Как правило, эффективность таких систем оценивается комплексным показателем помехозащищённости, основными показателями которого является помехоустойчивость и скрытность (энергетическая, структурная, информационная и др).

Для повышения защищённости систем связи с ППРЧ в работах [2,3] на основе предложенных алгоритмов показана возможность расширения спектра непозиционных сигналов, примером которых являются таймерные сигнальные конструкции (ТСК) [4]. В [3] показано, что использование ТСК в качестве переносчика информации в узкополосных системах связи по сравнению с разрядно-цифровым кодированием (РЦК) повышает информационную и структурную скрытность сигнальных конструкций, что объясняется способностью кодирующего устройства ТСК формировать в зависимости от задаваемых параметров построения различные ансамбли сигналов, которые отличаются структурой и числом реализаций комбинаций. К сожалению, в этих работах недостаточно исследованы вопросы по оценке взаимного влияния показателей помехоустойчивости и скрытности в зависимости от параметров построения ТСК и временных характеристик расширения спектра сигнала. Поэтому, целью данной работы является синтез сигнальных конструкций на основе ТСК и ППРЧ с учетом требований к помехоустойчивости и структурной скрытности.

### 2 Расширение спектра таймерных сигнальных конструкций

Расширение спектра методом ППРЧ основано на том, что рабочая частота сигнала при передаче битов позиционного кода перестраивается в большом диапазоне частот по закону, который известен только отправителю и получателю, а, следовательно, в начале сеанса передачи недоступен средствам РТР противника. В зависимости от времени передачи информации на одной несущей частоте различают быструю и медленную ППРЧ. Пусть  $t_0$  – длительность передачи одного информационного элемента разрядно-цифрового кода, тогда при быстрой ППРЧ время передачи на одной несущей частоте  $\Delta f_{\text{ппрч}}$  должно быть

$$t_{\text{пер}} \leq t_0 \quad (1)$$

При медленной ППРЧ на одной несущей частоте  $\Delta f_{\text{прч}}$  передается несколько бит, т.е.

$$t_{\text{пер}} > t_0 \quad (2)$$

Рассмотрим возможность расширения спектра ТСК с использованием быстрой и медленной ППРЧ. Для построения ТСК используется базовый временной элемент  $\Delta$  и интервал  $T_c = n t_0$ , где  $n$  – количество элементов  $t_0$ . В пределах  $T_c$  сигнальной конструкции длительность импульсов  $\tau_c = t_0 + \Delta \times l$  ( $l \in 0, 1, 2, 3, \dots$ ) и кратно  $\Delta = t_0/s$  ( $s \in 2, 3, \dots k$ ). Таким образом, расстояние между значащими моментами модуляции (ЗММ) ( $\tau_c \geq t_0$ ) меньше интервала Найквиста ( $t_0 = 1/\Delta F_c$ ) и кратно элементу  $\Delta$ . Такое условие позволяет устранить межсимвольные искажения в ТСК. Число  $s$  показывает, насколько меньше временной интервал  $\Delta$  по отношению к  $t_0$ . Число переходов  $i$  в ТСК может быть различным и меняться в пределах  $i = 1, 2, \dots, n-1$ . Пример формирования реализаций ТСК на интервале времени  $T_c = 4t_0$  при базовом элементе  $\Delta$  показан на рис. 1(а).

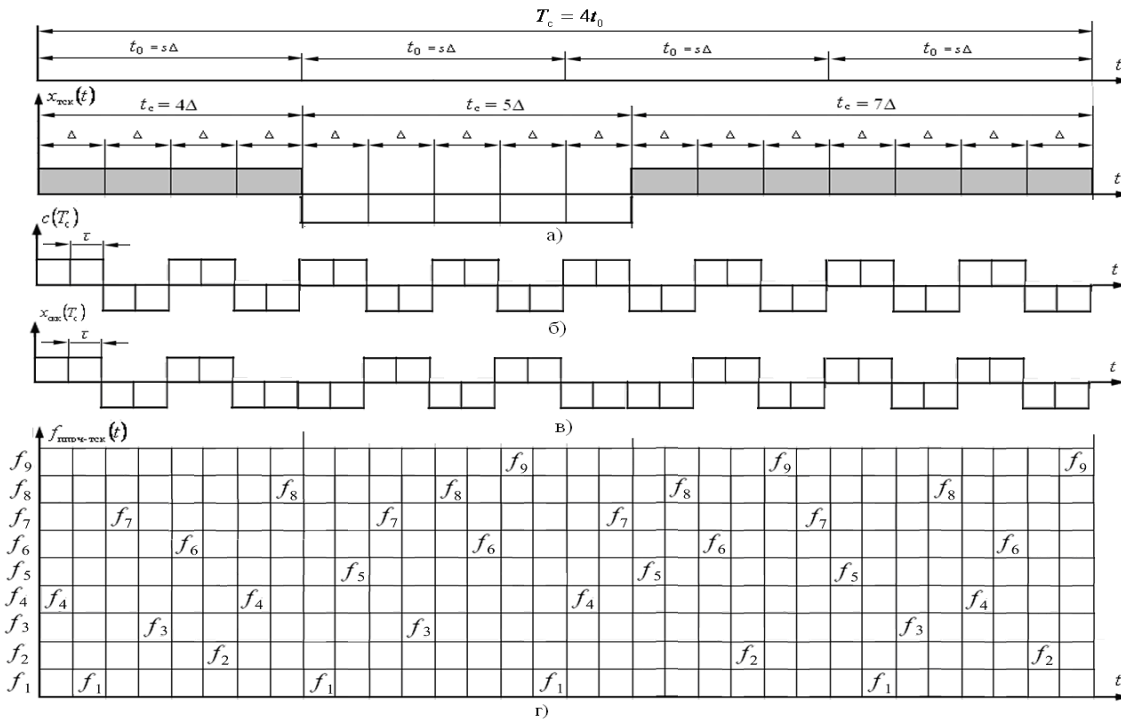


Рис. 1. Расширение спектра ТСК  $x_{\text{тск}}(t_c)$  с помощью ПСП и методом быстрой ППРЧ на интервале  $T_c = 4t_0$

С учетом того, что  $\tau_c$  может быть больше  $t_0$ , применить условие (1) или (2) для расширения спектра таймерных сигналов с помощью методов ППРЧ не представляется возможным из-за непоозиционности ЗММ конструкции интервалам Найквиста  $t_0$ . Однако при условии  $t_{\text{пер}} < t_0$  и  $t_{\text{пер}} = \Delta$  возможно реализовать быструю ППРЧ, используя интервал  $\Delta$  для передачи одной несущей частоты. На рис. 1 приведен пример реализации расширения спектра на интервале  $T_c = 4t_0$  с комбинацией двух методов. Сначала спектр таймерной конструкции  $x_{\text{тск}}(t_c)$  расширяется с помощью элементов  $\tau = \Delta/j$  (где  $j = 1, 2, 3, \dots$  – количество элементов  $\tau$  на интервале  $\Delta$ ) псевдослучайной последовательности  $c(T_c)$  (рис. 1(б)) в широкополосный сигнал  $x_{\text{скк}}(T_c) = x_{\text{тск}}(t_c) \times c(T_c)$  (рис. 1(в)), а затем с помощью быстрого метода ППРЧ формируется сигнал  $u'(t) = x_{\text{тск}}(t) U_0 \cos(\omega(g(t)t))$  (рис. 1(г)), где  $\cos(\omega(g(t)t))$  – набор частот, который представляет собой функцию от кодового сигнала  $g(t)$ .

### 3 Оценка помехоустойчивости и потенциальной скрытности ТСК

Значения  $\Delta$ ,  $s$ ,  $n$  и  $i$ , которые используются для построения ТСК, влияют на помехоустойчивость и скрытности сигнальных конструкций. Потенциальная структурная скрытность определяется количеством двоичных измерений (д.из), которое необходимо выполнить для раскрытия структуры перехваченного сигнала без учёта алгоритмов его обработки на станции НСД [4]:

$$S = \log_2 A, \quad (3)$$

где  $A$  – множество реализаций, определяемый количеством всех возможных значений каких-либо параметров сигнала. Такими параметрами могут быть несущая частота, структура кода, время прихода сигнала и др. В общем случае скрытность зависит от способа построения конкретного вида сигнала.

Число реализаций ТСК для фиксированного числа  $i$  при различных значениях  $s$  и  $n$  [4]

$$A = N_{\text{р ттк}}(i = \text{const}) = \frac{[(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]]!}{i! [(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i] - i]!}, \quad (4)$$

где  $i$  – число информационных значащих моментов модуляции (ЗММ) в сигнале. Если используются ТСК с разным числом ЗММ, тогда

$$A = N_{\text{р ттк}}(i = \text{var}) = \sum_{i=1}^n \frac{[(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]]!}{i! [(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i] - i]!}. \quad (5)$$

Изменение ансамбля реализаций ТСК  $N_{\text{р ттк}}$  в зависимости от параметров  $n$ ,  $s$  и  $i$  показано на рис. 2.

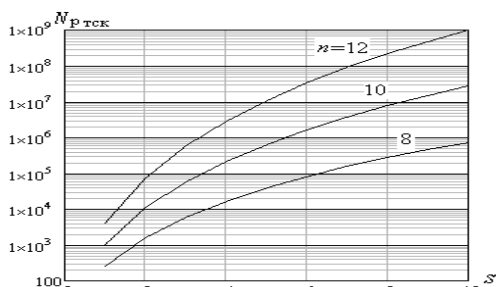


Рис. 2. Количество реализаций ТСК в зависимости от  $s$  при значениях  $n=8, 10, 12$

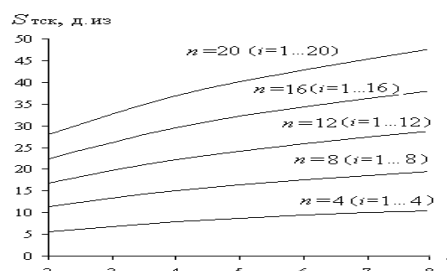


Рис. 3. Зависимости структурной скрытности ТСК от параметров  $n$ ,  $s$  и  $i$

Из рисунка видно, что количество реализаций ТСК существенно увеличивается с ростом  $n$  и  $s$  при  $i=1 \dots n$  по сравнению с РЦК. На рис. 3 представлены зависимости структурной скрытности ТСК от изменения параметров  $n$ ,  $s$  и  $i$ . Видно, что структурная скрытность ТСК увеличивается с ростом  $n$  и  $s$  при  $i=1 \dots n$ . Из этих зависимостей следует, что чем больше  $s$  и  $n$  тем больше будет значение структурной скрытности  $S_{\text{тск}}$ . Однако увеличение  $s$  приводит к помехоустойчивости и снижению скорости передачи, поэтому требуется определить граничные значения этого показателя. При работе по каналам с гауссовым шумом неточность ошибочного приема кодовой конструкции ТСК  $P_{\text{ош}}$  определяется величиной зоны  $\Delta$ , среднеквадратичным отклонением ЗМВ, что в свою очередь зависит от соотношения сигнал/помеха, а также числом переходов в слове  $i$

$$P_{\text{ош}} = 1 - [F(\Delta/2\sigma)]^i, \quad (6)$$

где  $i$  – среднее число ЗММ в кодовом слове;  $F(x) = 1/\sqrt{2\pi} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$  – интеграл вероятностей. Среднее число переходов  $i$  в сигнальной конструкции можно представить как

$$\bar{i} = \sum_{n=1}^m \frac{n C_{ms-n}^2}{C_{ms-n}^n}. \quad (7)$$

Потери в канале за счет неопределенности в приеме кодовой сигнальной конструкции:

$$H_n = - \left[ p_b \log p_b + \left( (1 - p_b) \log \frac{1 - p_b}{N_{\text{р}\Sigma-1}} \right) \right]; \quad (8)$$

где  $p_b = [2F(\Delta/2\sigma)]^i$  – вероятность правильного приема ТСК. С увеличением  $s$  растет  $N_{\text{р ттк}}$  и  $P_{\text{ош}}$ , поэтому для каждого канала можно определить свое значение  $\Delta$ , при котором обеспечивается максимальная пропускная способность системы  $C_m$ . Выражение для  $C_m$  определяется числом реализаций сигналов с учетом потерь и записывается для количества информации на переданный один бит:

$$C_m = 1/m [\log_2 N_{\text{р}\Sigma} - H_n], \text{ бит/с.} \quad (9)$$

На рис. 4 приведены зависимости пропускной способности каналов с различным уровнем флуктуационных шумов  $h = u_c/u_n$  (кривые 1–3 для  $h = 7,5$  и  $m = 8, 6, 5$  соответственно), из которых следует, что для каждого значения  $h$  имеется значение зоны, при котором  $C_m$  будут максимальными. Таким образом, значение оптимальной величины зоны  $\Delta$  определяется уровнем помех в канале  $h$ . Снижение вероятности правильного приема ТСК  $p_b$

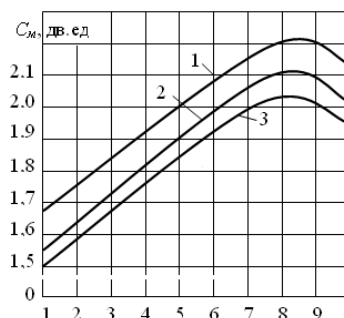


Рис. 4. Зависимости пропускной способности каналов с различным уровнем флуктуационных шумов

бинарном канале ограничивает использование больших значений  $s$ , поэтому при расчете потенциальной структурной скрытности необходимо учитывать требование по обеспечению помехоустойчивости.

#### 4 Вывод

Использование ТСК совместно с методом ППРЧ повышает структурную скрытность сигнальных конструкций. Повышение структурной скрытности ТСК за счет увеличения  $s$  снижает помехоустойчивость системы, что необходимо учитывать при выборе параметров сигнальной конструкции.

#### Литература

1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев и др.; под ред. В.М. Борисова. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.

2. Корчинский В.В. Конфиденциальная система связи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов / В.В. Корчинский // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: ХПИ, 2013. – № 16(989). – С.82-85.

3. Корчинский В.В. Повышение скрытности передачи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов / В.В. Корчинский // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: ХПИ, 2012. – № 66 (972). – С.63-67.

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. Pomehozaschischennost sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov metodom psevdosluchaynoy perestroyki rabochey chastoty / V.I. Borisov, V.M. Zinchuk, A.E. Limarev i dr.; pod red. V.M. Borisova. – M.: Radio i svyaz, 2000. – 384 s.

2. Korchinskiy V.V. Konfidentsialnaya sistema svyazi na osnove psevdosluchaynoy perestroyki rabochey chastoty i taymernykh signalov / V.V. Korchinskiy // Vestnik NTU «HPI». – Harkov: HPI, 2013. – # 16(989). – S.82-85.

3. Korchinskiy V.V. Povyishenie skryitnosti peredachi na osnove psevdosluchaynoy perestroyki rabochey chastoty i taymernykh signalov / V.V. Korchinskiy // Vestnik NTU «HPI». Harkov: HPI, 2012. – # 66 (972). – S.63-67.

4. Zaharchenko N. V. Otsenka informatsionnoy skryitnosti taymernykh signalnykh konstruktsiy v sistemah peredachi konfidentsialnoy informatsii / N. V. Zaharchenko, V. V. Korchinskiy, B. K. Radzimovskiy // ZbІrnik naukovih prats ONAZ Im.O.S.Popova. – 2011. – # 1. – S. 3–8.

Рецензія/Peer review : 24.4.2017 р.

Надрукована/Printed :9.7.2017 р.

Стаття рецензована редакційною колегією