

## МЕТОД БОРЬБЫ С ВНУТРИСИСТЕМНЫМИ РАДИОПОМЕХАМИ

В.П. Лысечко, к.т.н. В.Н. Харченко  
(представил д.т.н., проф. Ю.В. Стасев)

*В статье предлагается метод формирования последовательностей коротких видеоимпульсов, применение которых для синтеза сложных сигналов дает возможность уменьшить уровень внутрисистемных помех.*

**Постановка проблемы.** Характерной особенностью одновременной работы близкорасположенных радиосредств в одном частотном диапазоне является возникновение внутрисистемных помех. Существующие методы борьбы с внутрисистемными помехами не обеспечивают требований по уровню взаимных помех [1, 3 – 5]. Таким образом, существует необходимость модернизации используемых и разработки новых методов борьбы с внутрисистемными помехами, возникающими при большом числе одновременно работающих радиосредств.

**Анализ литературы.** В современной зарубежной и отечественной литературе рассматриваются следующие методы борьбы с внутрисистемными помехами: применение частотного разделения сигналов [3 – 5], применение временного разделения сигналов [5, 6], пространственная селекция сигналов, при использовании антенн с узкими диаграммами направленности [4, 5]. Однако, при большом числе одновременно работающих радиосредств, применение частотного и временного разделения сигналов ограничено частотно-временным ресурсом [2, 5], а применение антенн с узкими диаграммами направленностей приводит к усложнению их конструкции и не всегда приемлемо при построении полнодоступных сетей радиосвязи [4, 5].

**Цель статьи.** Целью статьи является разработка метода синтеза специальных последовательностей коротких видеоимпульсов, применение которых для формирования радиосигналов обеспечивает снижение уровня внутрисистемных помех, возникающих при большом числе одновременно работающих радиостанций в одном частотном диапазоне.

**Основной материал.** Предлагается метод синтеза последовательностей коротких видеоимпульсов с улучшенными взаимными корреляционными свойствами. Последовательность видеоимпульсов, согласно [5], представим в виде

$$s_i(t) = \sum_{k=1}^{n_i} U_{k_i} \text{rect} [t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_{и}], \quad (1)$$

где  $k = 1, \dots, n_i$ , – количество импульсов в  $i$ -й последовательности,  $i = 1, \dots, L$ ;  $U_{k_i}$  –  $k$ -й элемент  $i$ -й кодовой последовательности, принимающий значения  $[-1, 1]$ ;  $\tau_{и}$  – длительность импульса;  $Q_i = T_i/\tau_{и}$  – скважность  $i$ -й последовательности импульсов;  $T_i$  – период следования импульсов в  $i$ -й последовательности; функция  $\text{rect}$  имеет вид [6]:

$$\text{rect} [t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_{и}] = \begin{cases} 1, & \text{при } (kQ - 1) \tau \leq t \leq kQ_i \tau_{и}; \\ 0, & \text{при } (kQ - 1) \tau > t > kQ_i \tau_{и}. \end{cases} \quad (2)$$

Стыковая функция взаимной корреляции (ФВК) последовательностей определяется выражением [3]:

$$R_{ij}(\tau) = \int_{-T}^T s_i(t) s_j(t - \tau) dt, \quad (3)$$

где  $s_i(t)$ ,  $s_j(t)$  –  $i$ -я и  $j$ -я последовательности видеоимпульсов,  $i \neq j$ ;  $T$  – интервал, на котором определены функции  $s_i(t)$  и  $s_j(t)$ .

Для выполнения условия минимального подобия  $i$ -й и  $j$ -й последовательностей ФВК не должна превышать значения [3]:

$$R_{ij}(\tau) \leq 1/n_i, \quad (4)$$

где  $n_i \leq n_j$  – количество импульсов в последовательностях.

В частном случае, для последовательностей с приблизительно одинаковой длительностью, но с разным количеством элементов ( $n_i \neq n_j$ ), для определения ФВК может быть использовано выражение

$$R_{ij}(\tau) \leq 1/\sqrt{n_i n_j}. \quad (5)$$

Для выполнения условий (4), (5) предлагается использовать последовательности видеоимпульсов, которые удовлетворяют следующим требованиям:

- количество коротких импульсов ( $n_i, n_j$ ) в последовательностях  $s_j(t)$  является неодинаковым ( $n_i < n_j$ );
- длительности импульсов в каждой последовательности равны ( $\tau_i = \tau_j$ );
- периоды следования импульсов ( $T_i, T_j$ ) в каждой последовательности подобраны таким образом, что  $n_i \cdot T_i \approx n_j \cdot T_j \approx T$ , причем скважности каждой последовательности  $Q_i > Q_j \gg 1$ , при  $n_i < n_j$ .

Тогда одновременно будет совпадать (энергетически взаимодействовать) не более одного импульса каждой последовательности, т.е. взаимная корреляция таких последовательностей будет удовлетворять

условиям (4), (5). Указанным требованиям соответствует структурная схема алгоритма синтеза последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием, представленная на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема алгоритма синтеза последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием

Алгоритм синтеза ансамбля последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием включает выполнение следующих операций.

1. Определяются исходные данные:
  - $\tau_i$  – длительность импульсов последовательностей  $s_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, L$ ;
  - $T$  – интервал, на котором определены функции  $s_i(t)$ ;
  - $Q_{\min} = T/(\tau_i \cdot n_{\max})$ , где  $Q_{\min}$  – скважность импульсов в последовательности с максимальным количеством элементов  $n_{\max}$ ;
  - $n_i$  – количество элементов в последовательности  $i = 1, \dots, L$ , ( $n_i \neq n_j$ ,  $i \neq j$ ).

2. Рассчитывают период следования импульсов  $T_i$  в  $i$ -й последовательности

$$[T_i] = \frac{Q_{\min} \cdot \tau_{и} \cdot n_{\max} \cdot (Q_{\min} \cdot n_{\max} - n_i)}{n_i \cdot (Q_{\min} \cdot n_{\max} - n_{\max})}, \quad (6)$$

где  $T_i$  округляется до ближайшего значения, кратного  $\tau_{и}$ .

3. Формируют  $L$  последовательностей  $s_i(t)$ , где  $i = 1, \dots, L$ .

4. Выполняют расчет попарных ВКФ для всего ансамбля последовательностей.

5. Выполняют проверку ВКФ сформированных последовательностей ансамбля на выполнение условия минимального подобия.

6. Если условие (4) не выполняется, то наименьший период следования  $T_i$  для пары последовательностей, для которых не выполняется условие (4), увеличивается на величину длительности импульса  $\tau_{и}$ , после чего выполняются пункты 3, 4, 5 до тех пор, пока не выполнится условие (4).

7. При выполнении условия (4), полученные последовательности используют для формирования систем сигналов с минимальным энергетическим взаимодействием.

Работоспособность предложенного алгоритма иллюстрируется примером, в котором использовано четыре последовательности  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_3(t)$ ,  $s_4(t)$  с количеством элементов  $n_1 = 19$ ,  $n_2 = 20$ ,  $n_3 = 21$ ,  $n_4 = 23$ , длительностями сигналов  $T \approx 230$  мкс, длительностями импульсов  $\tau_{и} = 10$  нс. Периоды следования импульсов в каждой последовательности были выбраны соответственно:  $T_1 = 12.2$  мкс,  $T_2 = 11.5$  мкс,  $T_3 = 10.94$  мкс и  $T_4 = 10$  мкс. Вид последовательностей  $s_1(t)$  и  $s_2(t)$  представлен на рис. 2.

Задав равные значения амплитуды импульсов, определим энергию каждой последовательности

$$E_i = n_i \cdot U_i^2 \cdot \tau_{и}, \quad (7)$$

где  $n_i$  – количество импульсов в  $i$ -й последовательности;  $\tau$  – длительность импульса.

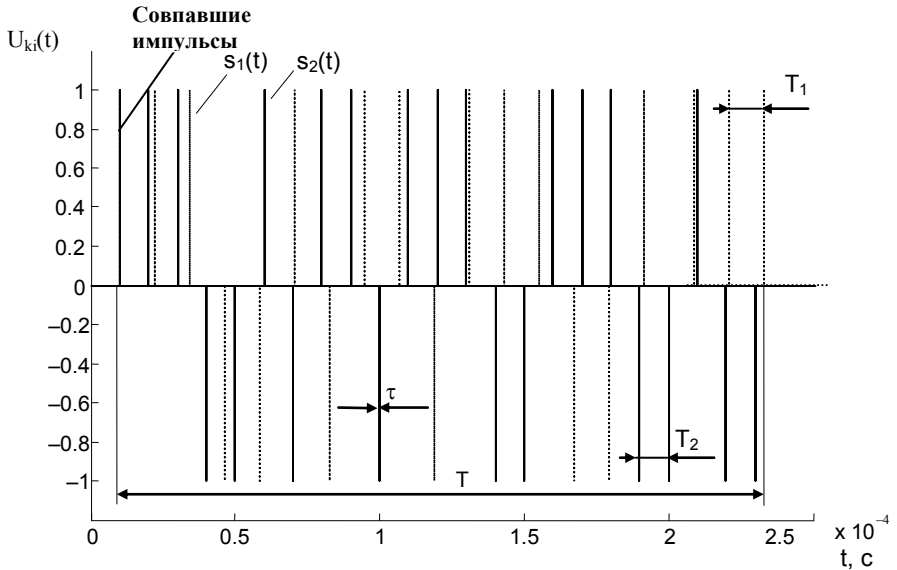
Очевидно, что энергии сигналов различаются вследствие неодинакового количества импульсов в каждой последовательности. Так как последовательности имеют разные энергии, то для оценки ФВК по выражению (3) их необходимо нормировать [2]

$$s_{i\text{норм}}(t) = \frac{s_i(t)}{\sqrt{E_i}}. \quad (8)$$

Максимальные значения функций взаимной корреляции последовательностей, рассчитанные по формуле (3), с учетом выражения (8) представлены в табл. 1.

Максимальные значения ВКФ

	$s_1(t)$	$s_2(t)$	$s_3(t)$	$s_4(t)$
$s_1(t)$	1	0,0513	0,0501	0,0488
$s_2(t)$	0,0513	1	0,0478	0,0466
$s_3(t)$	0,0501	0,0478	1	0,0455
$s_4(t)$	0,0488	0,0466	0,0455	1

Рис. 2. Вид последовательностей  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ 

На рис. 3 сопоставляются результаты расчетов максимумов ВКФ для синтезированных последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием с условием минимального подобия (5). Очевидно, что полученные последовательности обеспечивают выполнение условия минимального подобия.

**Выводы.** Использование предложенного алгоритма формирования последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием позволяет минимизировать взаимодействие между сигналами во временной области, и, как следствие, существенно уменьшить уровень внутрисистемных помех. Излучение и прием коротких видеоимпульсов является отдельной научной задачей [7], которая в данной статье не рассматривалась. В то же время, есть основание полагать, что использование полосовой фильтрации последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием

при определенных условиях незначительно ухудшит взаимные корреляционные свойства сигналов, что обеспечит возможность их использования в

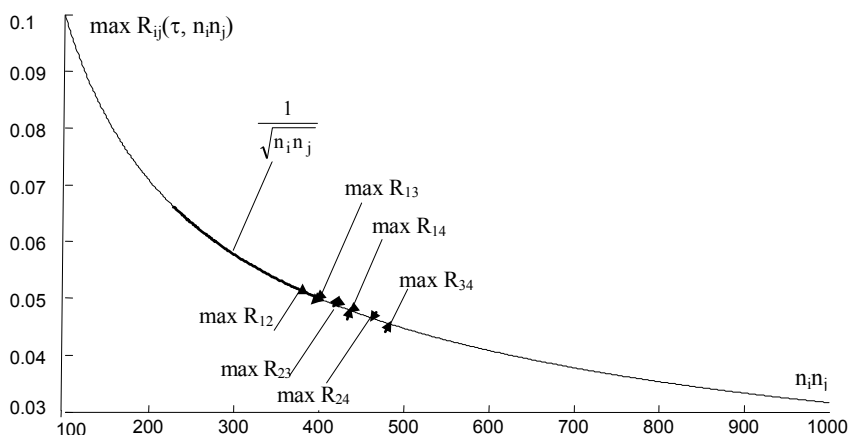


Рис. 3. Изменение коэффициента взаимной корреляции последовательностей в зависимости от количества элементов

существующих системах радиосвязи. Результаты таких исследований предполагается опубликовать в последующих статьях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 284 с.
2. Оганов Т.А. Помехоустойчивость инвариантного приема импульсных сигналов. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
4. Петров В.А. Внутрисистемные помехи в сотовой связи. – [www.drst.sut.rts.ru](http://www.drst.sut.rts.ru).
5. Защита от радиопомех / Под ред. М.В. Максимова. – М.: Сов. радио, 1999. – 496 с.
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 1988. – 448 с.
8. Хармут Х.Ф. Передача информации ортогональными функциями. – М.: Связь, 1975. – 272 с.

Поступила 19.01.2004

**ЛЫСЕЧКО Владимир Петрович**, адъюнкт ХВУ. В 1998 году окончил КВИУС. Область научных интересов – применение сложных сигналов в системах радиосвязи множественного доступа с кодовым разделением каналов.

**ХАРЧЕНКО Виктор Николаевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ХВУ. В 1972 году окончил ХВКИУ. Область научных интересов – системы связи, применение сложных сигналов в системах радиосвязи множественного доступа с кодовым разделением каналов.