ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ АНСАМБЛЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ С ФМн

Нгуен К.Д., магистрант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Карпушкин Э.М. – канд. техн. наук, доцент

В докладе исследуются алгоритм формирования ансамбля ортогональных щумоподобных сигналов, проведен анализ их корреляционо-спектральных характеристик.

Широкополосные радиосистемы (ШПРС) передачи информации с использованием ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов являются одним из важных направлений в современных радиосистемах передачи информации. ШПРС позволяет улучшить такие показатели качества как помехозащищенность, скрытность действия. Алгоритмы формирования ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов являются актуальными в связи с различными требованиями к качеству передачи информации в условиях наличия помех и ограниченных ресурсов, таких как широта полосы частот и мощность передатчика.

Один из алгоритмов формирования ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов с фазовой манипуляцией (ФМн) - это метод "Четверично-кодированные последовательности".

Четверично-кодированные последовательности (ЧКП), в [7,8] их называют Д-кодами, относятся, как и М-последовательности, к классу бинарных ПСП. В отличие от М-последовательностей семейство ЧКП формируются нелинейным способом и имеют значность $N = 2k$, где $k = 1, 2, 3...$.

Наиболее наглядно процесс формирования ЧКП можно проследить, проанализировав порождающее выражение

$$A_j^{\,k} = \overline{\sum_{i=1}^{K-1} Bi^{(k+1)-i}\, B_{i+1}^{\;\;k-i} + \sum_{i=1}^{K} X_i^{\,j}\, B_i^{\,(k+1)-i}} \tag{1}$$

где $A_j^{\,k} = (a_1, a_2, ..., a_N)$ условная запись одиночной ЧКП длительности $T = N\tau_0$ порядка k номера j, символы которой $a_i \in \{0,1\}$; $B_i^{(k+1)-i}$ – функция Радемахера (меандровая функция), определяемая на длительности T с номером i и порядком $[(k+1)-i]$; $X_i^{\,j} \in \{0,1\}$ значение I-го разряда номера последовательности $A_j^{\,k}$ представленного в двоичном виде (для ЧКП порядка k номер определяется k -разрядным двоичным числом). В (1) суммирование осуществляется по модулю 2, умножение – логическое, черта сверху – негатив.

Второй член выражения (1) при изменении номера j описывает строки матрицы Адамара. Матрица Адамара – ортогональная квадратичная матрица (обозначается HN) размера $N = 2^k$; $k = 1, 2, 3...$ составленная из символов $\{0,1\}$ или $\{-1,1\}$. Строки матрицы Адамара образуют полную ортонормированную систему с количеством функций $2^k = N$. Эти функции называются функциями Уолша, упорядоченные по Адамару. Простейшей матрицей Адамара является матрица размера 2:

$$H_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} \tag{2}$$

Любую малицу Адамара размера $2N$ можно получить из матрицы размера N , используя следующее преобразование:

$$H_{2N} = \begin{vmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{vmatrix} \tag{3}$$

где $\overline{H}_N$ – матрица Адамара размера N , у которой значение символов изменены на противоположные.

Если в выражении (1) все разряды номера $X_i^{\,j}$ равны нулю, то остается только первый член выражения, формирующий нулевую ЧКП:

$$A_0^k = \overline{\sum_{i=1}^{K-1} B_i^{(k+1)-1} B_{i+1}^{k-i}} \tag{4}$$

Следовательно, для получения ЧКП любого номера j достаточно сложить по модулю 2 $\overline{A_0^k}$ с каждой строкой матрицы Адамара:

$$\left\{A_j^k\right\} = \overline{A_0^k} + H_N \tag{5}$$

В качестве примера получим семейство ЧКП значности $N=8$ на основе матрицы Адамара. Матрица Адамара размера $N=8$ имеет вид

$$H_8 = \begin{array}{|cccccccc|cc} & & & & & & & & j & X_i^j \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 000 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 001 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 010 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 3 & 011 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 100 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 5 & 101 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 6 & 110 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 7 & 111 \end{array} \tag{6}$$

В соответствии с (1.22) A_0^3 примет вид

$$1\,1\,1\,0\,1\,1\,0\,1 \tag{7}$$

Подставив в (6) значения (7) и (8), получим квадратную матрицу размера $N=8$, строки которой являются полным семейством ЧКП значности $N=8$:

$$\left\{A_j^3\right\} = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0\end{bmatrix} + \begin{vmatrix} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = \begin{array}{|cccccccc|cc} & & & & & & & & j & X_i^j \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 000 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 001 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 010 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 3 & 011 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 4 & 100 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 5 & 101 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 6 & 110 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 7 & 111. \end{array} \tag{8}$$

Отсюда мы исследуем новый ансамбль последовательностей путем присоединения из двух смежных последовательностей той же значности, следовательно:

$$\left\{A_j^{k+1}\right\} = A_j^k * A_{\sim j}^k \tag{9}$$

Из которого мы получаем следующие последовательностей значности $N=16$:

$$\left\{A_j^4\right\}=\begin{array}{c|cccccccccccccccc|cc} & & & & & & & & & & & & & & & & & j & A_j^4 \\ & 1&1&1&0&1&1&0&1&1&0&1&1&1&0&0&0 & 0 & A_0^4 \\ & 1&0&1&1&1&0&0&0&1&1&1&0&1&1&0&1 & 1 & A_1^4 \\ & 1&1&0&1&1&1&1&0&1&0&0&0&1&0&1&1 & 2 & A_2^4 \\ & 1&0&0&0&1&0&1&1&1&1&0&1&1&1&1&0 & 3 & A_3^4 \\ & 1&1&1&0&0&0&1&0&1&0&1&1&0&1&1&1 & 4 & A_4^4 \\ & 1&0&1&1&0&1&1&1&1&1&1&0&0&0&1&0 & 5 & A_5^4 \\ & 1&1&0&1&0&0&0&1&1&0&0&0&0&1&0&0 & 6 & A_6^4 \\ & 1&0&0&0&0&1&0&0&1&1&0&1&0&0&0&1 & 7 & A_7^4 \end{array} \qquad (10)$$

На рис. 1 приведена схема генератора новых ЧКП:

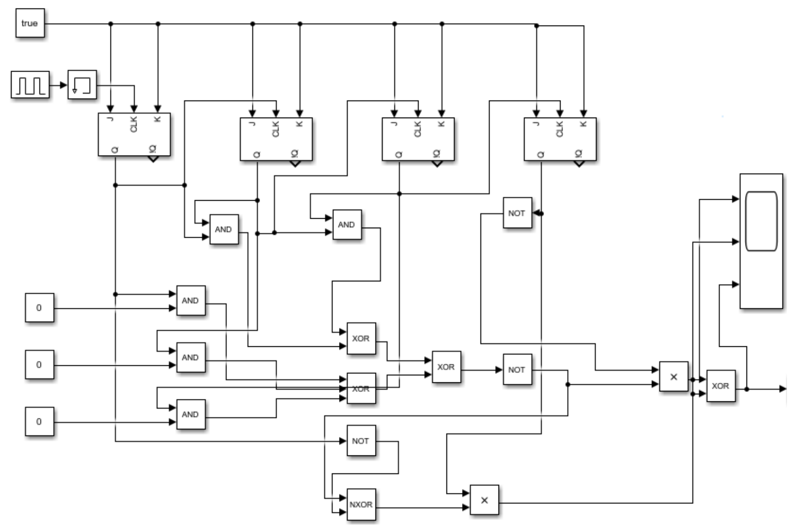

Рисунок 1 – Схема генератора ЧКП

Последовательность $A_0^4 = \{A_0^3 * A_{\sim 0}^3\}$:

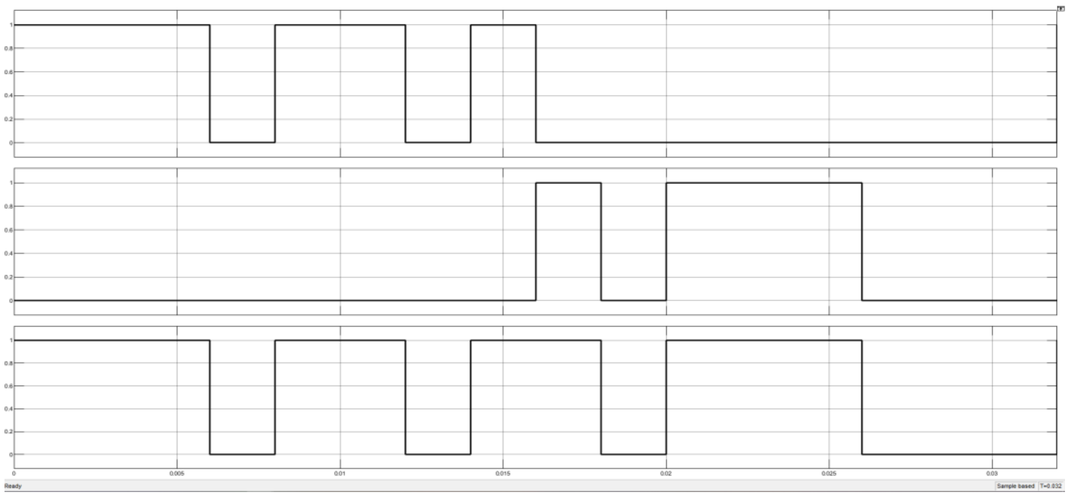

Рисунок 2 – Последовательность $A_0^4 = \{A_0^3 * A_{\sim 0}^3\}$

На рис. 3, 4 соответственно приведены автокорреляционная функция A_0^4, A_1^4, их взаимкорреляционная функция и спектр ЧКП A_0^4:

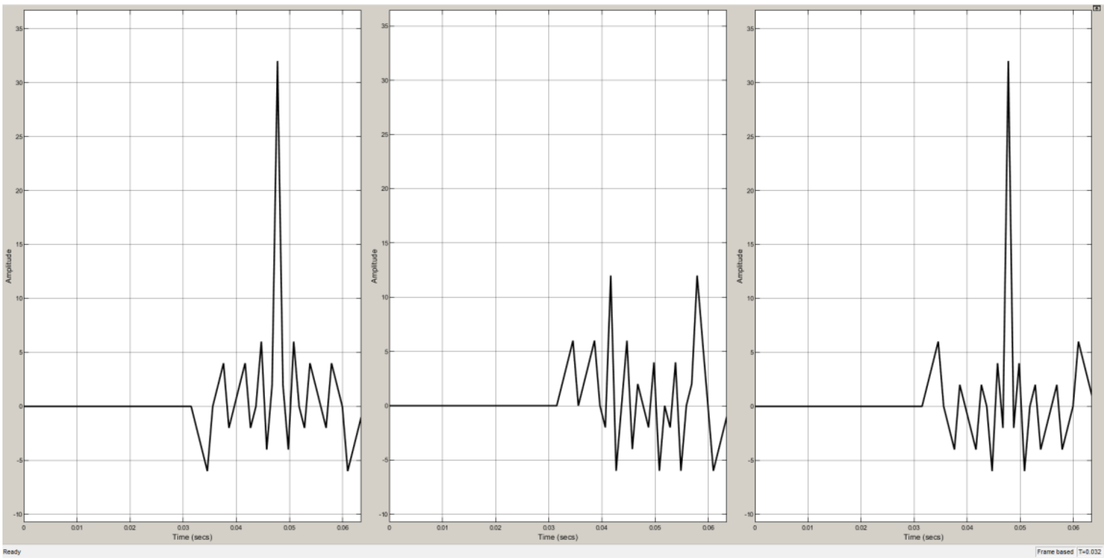

Рисунок 3 – $АКФ-\{A_0^4\}, ВКФ-\{A_0^4 * A_1^4\}, АКФ-\{A_1^4\}$

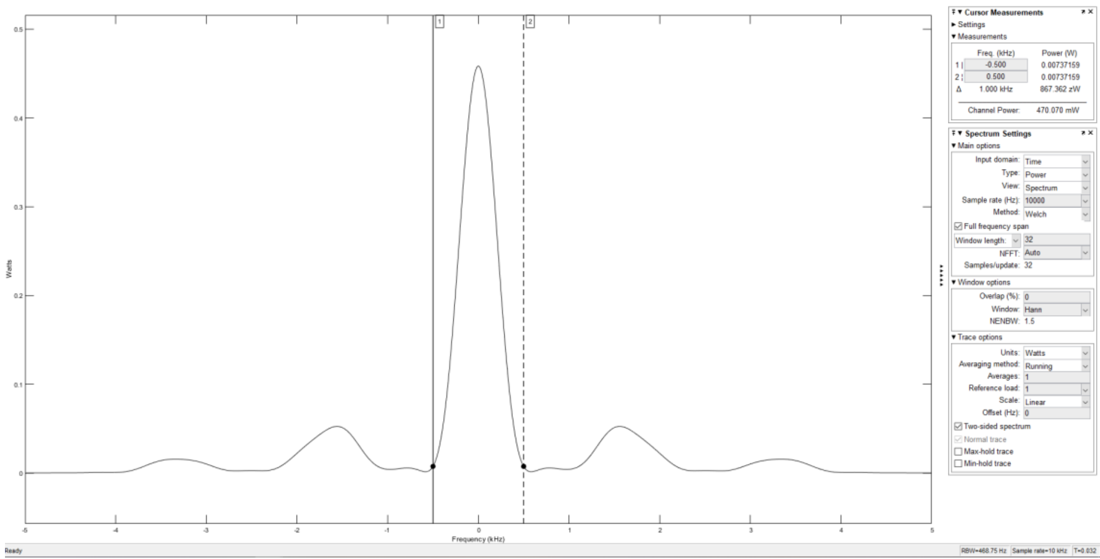

Рисунок 4 – Спектр ЧКП A_0^4

Список использованных источников:

1. Барабашов Б.Г, Анишин М.М. / учебно-методическое пособие Широкополосные системы связи и сигналы, 2008. – 38 с.

2. Радзиевский В.Г. / Обработка сверхширокополосных сигналов и помех / В.Г. Радзиевский, П.А. Трифонов. — М.: Радиотехника, 2009. — 290 с.

3. Ипатов, В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. П. Ипатов. – М. : Техносфера, 2007. – 408 с.

4. Р. К. Диксон [и др.]. / Широкополосные системы – М. : ЭКОМ, 2007. –224 с.

5. Карпушкин, Э. М. / Исследование широкополосной радиосистемы передачи цифровой информации : метод. указания к лаб. Работе по дисц. «Радиосистемы передачи информации» для студ. спец. «Радиоэлектронные системы» / Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2012. – 20 с.

6. Вишневский, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации [Текст] / В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович // М.: Техносфера, 2005 – 592 с.