

А. В. Кузовников, В. Г. Сомов, В. И. Лавров, А. Л. Дерябин, В. А. Анжина

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрен способ формирования широкополосных сигналов (ШПС) с непосредственным расширением спектра, при котором псевдослучайная последовательность (ПСП) модулируется не гармонической несущей, а биортогональной вейвлет-функцией (W). Показано, что данный способ модуляции ПСП приводит к значительному расширению ширины полосы спектра полученного сигнала. Проведен сравнительный анализ относительной помехозащищенности сигналов, модулированных биортогональной вейвлет-функцией, и ФМ-2 (BPSK).

Ключевые слова: псевдослучайная последовательность, широкополосный сигнал, методы формирования и модуляции сигнала, помехозащищенность.

Интенсивное развитие систем связи различного назначения в условиях сильной загруженности частотного диапазона приводит к необходимости разработки новых типов сигналов. По сообщениям [1; 2], участились случаи несанкционированного использования ресурсов систем связи. Для борьбы с этими негативными факторами постоянно ведется доработка имеющихся и формирование новых типов сигналов. Согласно требованиям, предъявляемым к новым сигналам, они должны обладать следующими качествами:

- способностью противостоять организованной помехе (т. е. обеспечивать связь в условиях сложной радиоэлектронной обстановки);
- широкой полосой сигнала, обеспечивающей сложность обнаружения («скрытность») сигнала;
- электромагнитной совместимостью с другими системами связи за счет формирования сигнала, работающего «ниже» уровня шума [3].

Под помехозащищенностью понимают способность системы противостоять воздействию мощных помех. Помехозащищенность включает в себя скрытность системы связи и ее помехоустойчивость [4].

В настоящее время наиболее распространены следующие способы формирования помехоустойчивых сигналов.

1. Формирование сложных сигналов с помощью частотно-временного кодирования [3].
2. Псевдослучайное формирование сложных дискретных частотно-манипулированных сигналов [3; 4].
3. Псевдослучайная перестройка рабочей частоты [5].
4. Модуляция несущей частоты бинарными псевдослучайными последовательностями (ПСП) [6].

Анализ известных источников литературы [3–6] показал, что наиболее перспективными являются методы, основанные на модуляции несущей частоты бинарными псевдослучайными последовательностями (ПСП) [6]. Псевдослучайная бинарная последовательность заданной длительности – это последовательность, сформированная по определенным правилам из дискретных элементов 0 и 1 так, чтобы ее корреляционные свойства были близки к соответствующим свойствам шумовой реализации той же длительности.

Такие последовательности обладают следующими свойствами:

- М-последовательность является периодической, с периодом, состоящим из N символов;
- боковые пики периодической автокорреляционной функции сигналов, образованных М-последовательностью, равны $(1/N)$.

Сформированная данным способом последовательность используется для формирования высокочастотного широкополосного сигнала. Если полученную последовательность сложных информационных символов подать на модулятор и выполнить манипуляцию одного из параметров несущего колебания, то в результате образуется сложный сигнал, свойства и структура которого полностью определяются свойствами поданной последовательности и видом выбранной модуляции.

В статье проведен анализ использования в качестве модулирующей функции негармонической биортогональной вейвлет-функции.

В общем случае биортогональные (рис. 1) вейвлет-функции [7] используют два дуальных вейвлет-базиса $\psi_{m,k}(t)$ и $\psi_{m,k}^*(t)$, которые удовлетворяют требованию биортогональности скалярного произведения этих вейвлетов:

$$(\psi_{m,k}^*(t), \psi_{m',k'}(t)) = \delta_{m,k;m',k'}. \quad (1)$$

Для оценки помехозащищенности сигналов, модулированных биортогональными вейвлет-функциями, было проведено моделирование [8], которое включает сравнительный анализ помехозащищенности сигналов, модулированных биортогональными вейвлет-функциями, и широкополосных сигналов ФМ-2.

В качестве расширяющей последовательности использовалась ПСП Голда длиной 31. Скорость передачи (V) информационного символа при этом составляла 1 кбит/с.

Согласно [9], полиномы для псевдослучайной последовательности Голда длиной 31, имеют следующий вид (рис. 2):

- для верхнего плеча схемы: $g_1(p) = p^5 + p^2 + 1$;
- для нижнего плеча схемы: $g_2(p) = p^5 + p^4 + p^2 + p + 1$.

Сформированы следующие сигналы: полученный при модуляции данной ПСП сигнал ФМ-2 (BPSK) (рис. 3); сигнал с той же длиной ПСП, но модулированный биортогональной вейвлет-функцией (рис. 4).

Анализ полученных спектров (рис. 5, 6) показал увеличение ширины полосы сигнала, модулированного биортогональной вейвлет-функцией, в 10 раз, по сравнению с шириной полосы сигнала, модулированного ФМ-2 (BPSK).

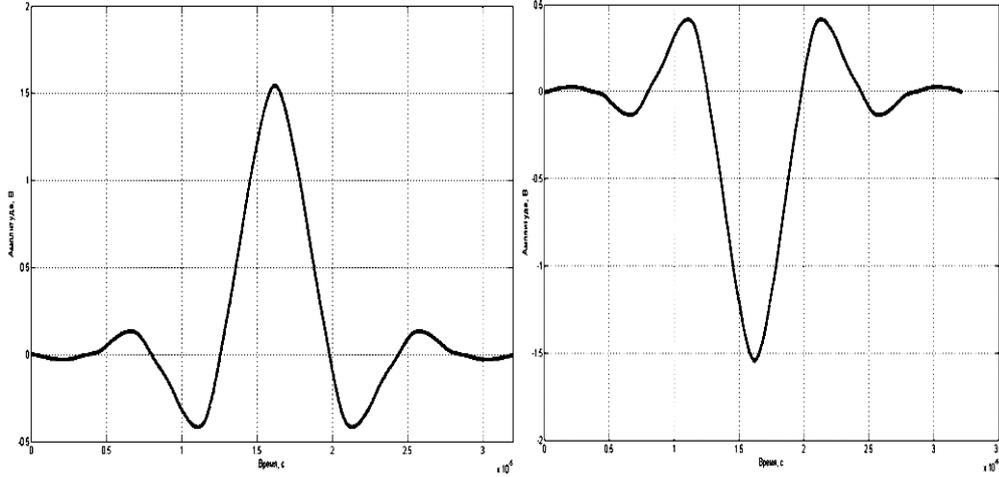


Рис. 1. Общий вид биортогонального вейвлета

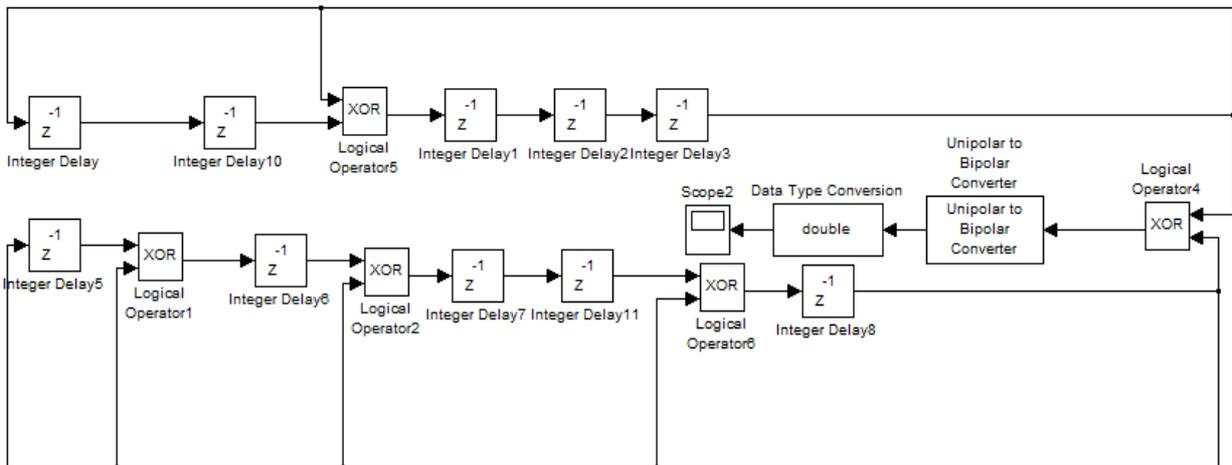


Рис. 2. Схема реализации последовательности Голда в Simulink MatLab

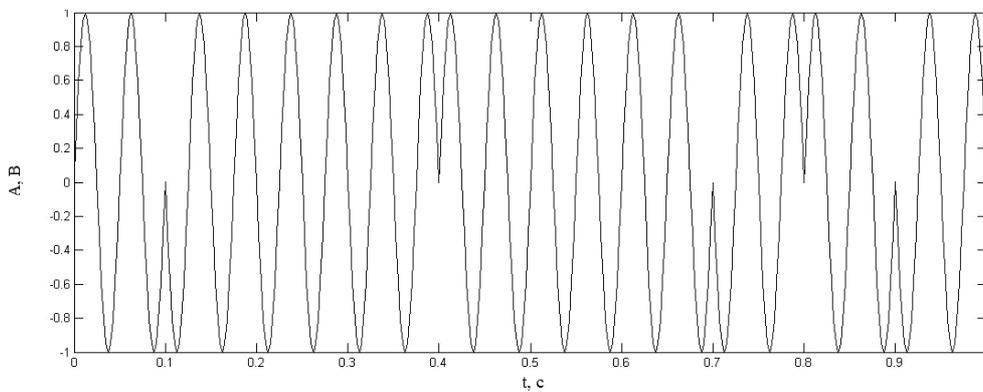


Рис. 3. Сигнал, модулированный BPSK

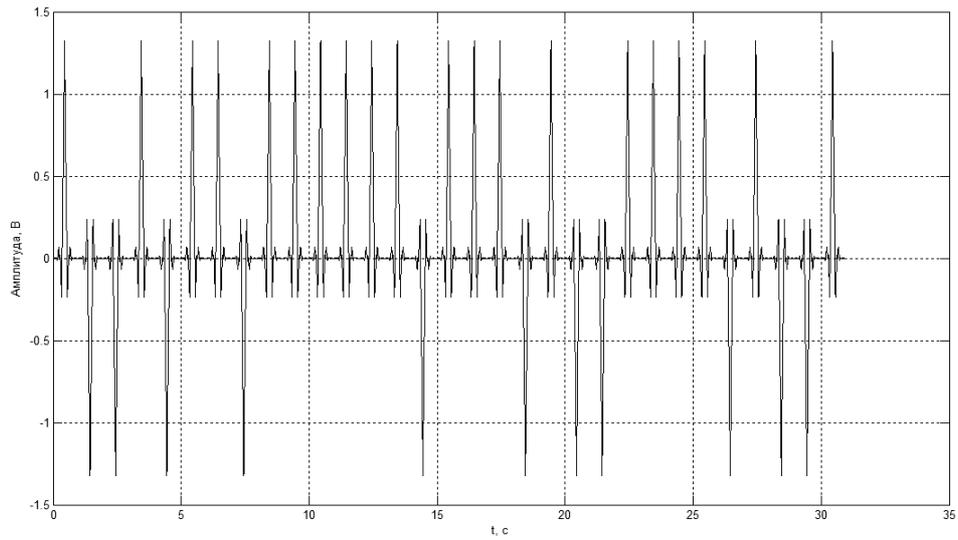


Рис. 4. Сигнал, модулированный биортогональной вейвлет-функцией

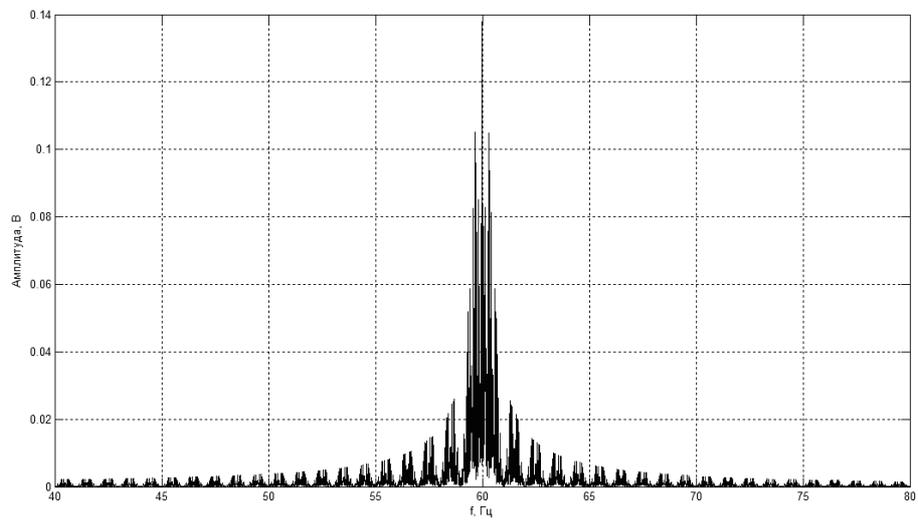


Рис. 5. Спектр сигнала, модулированного BPSK

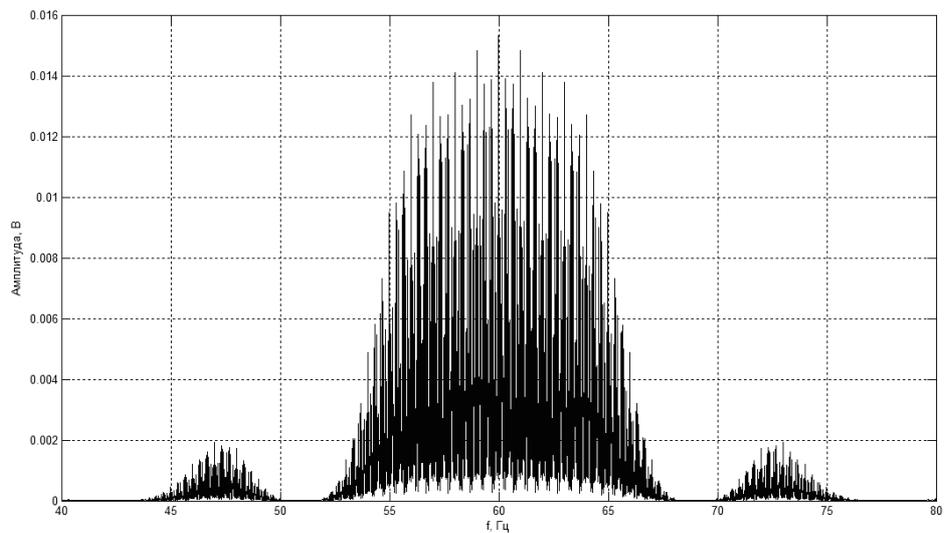


Рис. 6. Спектр сигнала, модулированного биортогональной вейвлет-функцией

При этом увеличение помехозащищенности, согласно [5; 6], пропорционально увеличению ширины полосы сигнала. Для количественной оценки величины относительной помехозащищенности рассмотрена система связи со следующими параметрами:

- общая ширина полосы системы связи $\Delta f = 70$ МГц;
- тактовая частота информационного сигнала $f_{\text{ТИ}} = 9,6$ кГц;
- скорость передачи символов $V_{\text{сим}} = 9,6$ кбит/с.

Расчет относительной помехозащищенности при использовании биортогональной вейвлет-функции, проведен согласно [6]:

$$P_{0(w)\text{ШПС}} = \frac{M \cdot f_{\text{ТШ}}}{\eta_c f_{\text{ТИ}} h_0^2}, \quad (2)$$

где $f_{\text{ТШ}}$ – тактовая частота ПСП; $f_{\text{ТИ}}$ – тактовая частота информационного сигнала; M – величина, показывающая, во сколько раз ширина спектра сигнала, модулированного вейвлет-функцией, больше сигнала, модулированного BPSK.

Максимально возможное число каналов в рассматриваемой системе связи рассчитывалось по формуле

$$K_{(w)\text{ШПС}} = \frac{\Delta F}{M \cdot f_{\text{ТИ}} \cdot N_{\text{ПСП}}}. \quad (3)$$

Значения относительной помехозащищенности P_0 , тактовой частоты ПСП $f_{\text{ТШ}}$, числа каналов K для сигналов, модулированных ФМ-2 (BPSK) и биортогональной вейвлет-функцией при различной длине кодирующей ПСП $N_{\text{ПСП}}$, приведены в таблице.

Сравнение графиков относительной помехозащищенности сигналов, полученных обоими способами, от тактовой частоты ПСП (рис. 7) и числа каналов (рис. 8), показало, что при одинаковой длине ПСП сигналы, модулированные биортогональной вейвлет-функцией, обладают большей относительной помехозащищенностью по сравнению с сигналами, модулированными ФМ-2 (BPSK). Выигрыш относительной помехозащищенности сигналов, модулированных биортогональной вейвлет-функцией, составляет порядка 10 дБ. Однако число каналов связи, которые можно реализовать в данной системе при использовании такого широкополосного сигнала, сокращается в 10 раз.

Итак, результаты проведенных исследований показали, что рассматриваемый способ формирования широкополосных сигналов позволяет повысить относительную помехозащищенность. Результаты математического моделирования показали, что выигрыш помехозащищенности обусловлен увеличением ширины полосы сигнала, модулированного биортогональной вейвлет-функцией. Предложенный способ формирования широкополосных сигналов является наиболее эффективным для систем связи или передачи информации, когда требуется высокая скрытность и помехозащищенность.

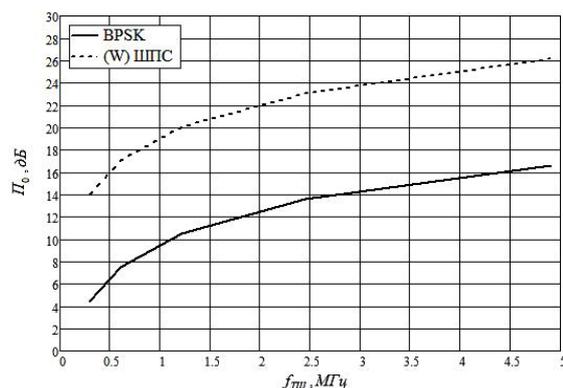


Рис. 7. График зависимости относительной помехозащищенности от тактовой частоты ПСП для разных типов сигналов

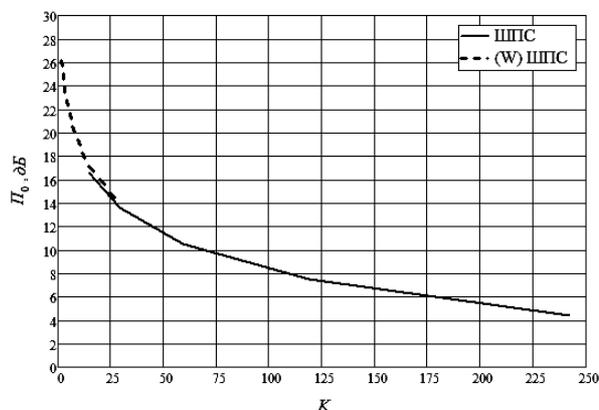


Рис. 8. График зависимости относительной помехозащищенности от числа каналов для разных типов сигналов

Библиографические ссылки

1. Колубакин В. Конференция в Дубне // ТЕЛЕ-Спутник. Май. 1999. С. 40.
2. Панько. С. П., Сухотин В. В. Несанкционированный доступ в системы спутниковых коммуникаций // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2002. № 4. С. 15–27.
3. Семенов И. И. Широкополосные системы радиосвязи : учеб. пособие. Омск, 2000.
4. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М. : Радио и связь, 1985.
5. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов [и др.]. М. : Радио и связь, 2000.
6. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / В. И. Борисов [и др.]. М. : Радио и связь, 2003.
7. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М. : ДМК Пресс, 2008.
8. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. М. : Солон-Пресс, 2005.
9. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред. Д. Д. Кловского. М. : Радио и связь. 2000.

Сравнение относительной помехозащищенности разных типов сигналов

$N_{\text{ПСП}}$	31	63	127	255	511
$f_{\text{ТШ}}, \text{МГц}$	0,298	0,605	1,219	2,448	4,906
$K_{\text{ВПСК}}$	241	119	59	29	14
$K_{(W)\text{ШПС}}$	26	13	6	3	1
$\Pi_{\text{ОВПСК}}, \text{дБ}$	4,41	7,49	10,54	13,57	16,58
$\Pi_{0(W)\text{ШПС}}, \text{дБ}$	13,96	17,04	20,08	23,11	26,13

A. V. Kuzovnikov, V. G. Somov, V. I. Lavrov, A. L. Deryabin, V. A. Anzhina

METHOD OF FORMING OF NOISE-STOP SIGNALS

The article considers way of generation of broad-band signals (BBS) with direct expansion of a spectrum at which the pseudo-random sequence (PRS) is modulated not with harmonious bearing but with biorthogonal wavelet-function. It is shown, that this way of modulation PNS leads to considerable dilation of a bandwidth of a spectrum of the received signal. Comparative analysis of relative jam-protection of PSK BBS and wavelet (W) BBS signals is carried out.

Keywords: pseudorandom sequence, broad-band signal, methods of forming and modulation of signals, jam-protection.

© Кузовников А. В., Сомов В. Г., Лавров В. И., Дерябин А. Л., Анжина В. А., 2010

УДК 539

А. В. Лопатин, Р. А. Удальцов

СИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ*

Решена задача определения частоты симметричных колебаний трехслойной пластины с одинаковыми композитными несущими слоями и ортотропным заполнителем. Основное дифференциальное уравнение четвертого порядка получено с помощью принципа Гамильтона. Приведена формула для частоты симметричных колебаний трехслойной пластины с шарнирно-закрепленными несущими слоями.

Ключевые слова: трехслойная пластина, симметричные колебания.

Колебания трехслойных пластин отличаются большим разнообразием форм движения несущих слоев и заполнителя. Наиболее изученными из них являются поперечные изгибные колебания, при которых оба несущих слоя и заполнитель движутся в одну сторону. Вместе с тем трехслойные пластины могут совершать колебания, формы которых отличаются от форм поперечных колебаний. К ним относятся симметричные колебания трехслойных пластин с одинаковыми несущими слоями. При таких колебаниях срединная плоскость пластины не движется, а несущие слои и части заполнителя, лежащие по разные стороны срединной плоскости, движутся в противоположных направлениях. Очевидно, что для моделирования симметричных колебаний трехслойных пластин необходимо учитывать податливость заполнителя. Отметим, что число исследований, в которых рас-

сматривается влияние податливости заполнителя на динамическое поведение трехслойных пластин, невелико. Одним из первых было исследование, выполненное Фростингом и Томсоном [1]. Анализ решенных к настоящему времени вибрационных задач, в которых учитывается влияние податливости заполнителя на динамическое поведение трехслойных пластин, позволяет сделать вывод, что эти исследования далеки от своего завершения и могут быть дополнены новыми результатами.

Уравнения движения. Рассмотрим трехслойную пластину, состоящую из двух одинаковых композитных слоев и ортотропного заполнителя. Введем декартову систему координат x, y, z , связанную со срединной плоскостью трехслойной пластины. Пусть a, b – размеры пластины по осям x и y , а t, h – толщины несущего слоя и заполнителя.

*Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.