УДК 621.376.56

СИНТЕЗ КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ КОМПОЗИЦИИ АНСАМБЛЯ МНОГОФАЗНЫХ СИГНАЛОВ

И.Н.Жукова

QUASI-CONTINUOUS SIGNALS SYNTHESIS USING THE METHOD OF MULTIPHASE SIGNALS ENSEMBLE COMPOSITION

I.N.Zhukova

Институт электронных и информационных систем НовГУ, Irina.Zhukova@novsu.ru

Рассмотрен метод синтеза сигнала большой длительности из ранее сформированного ансамбля многофазных сигналов с одинаковой двухуровневой нерегулярной структурой огибающей энергетического спектра. Проведен анализ спектральных характеристик синтезированных сигналов.

Ключевые слова: радиолокационные системы, сложные сигналы, квазинепрерывный режим излучения и приема сигналов, квазинепрерывный энергетический спектр

The method of long-duration signal synthesis based on previously formed ensemble of multiphase signals with nonregular two-level energy spectrum envelope is presented. The analysis of synthesized signals spectral characteristics is performed.

Keywords: radar systems, wideband signals, quasi-continuous mode of signals transmission and receptions, quasi-continuous energy spectrum

Постановка задачи

Известные [1,2] методы синтеза позволяют формировать непрерывные многофазные сигналы, значения модуля спектральной плотности которых обладают псевдослучайной двухуровневой структурой, состоящей из компонент с высоким и достаточно низким уровнем. Данные свойства энергетического спектра позволяют производить эффективную частотную режекцию мощных отражений, смещенных относительно обнаруживаемых сигналов на некоторый доплеровский сдвиг частоты. Подавление пассивных помех в частотной области заключается в режекции только тех активных спектральных отсчетов опорного (канального) сигнала, которые перекрываются по частоте с активными спектральными отсчетами режектируемого мощного сигнала, обладающего априори известным диапазоном доплеровских сдвигов частоты [3].

Однако непрерывный режим излучения зондирующих сигналов не позволяет обеспечить достаточную высокую развязку приемно-передающего тракта. Это, естественно, снижает дальность обнаружения полезных сигналов. Данный недостаток устраняется при квазинепрерывном режиме излучения и приема сложных сигналов [4]. Известные амплитудно-фазоманипулированные (квазинепрерывные) сигналы не обладают двухуровневой структурой энергетического спектра и не позволяют производить частотную режекцию мешающих отражений.

Поэтому синтез сложных квазинепрерывных сигналов с псевдослучайной двухуровневой структурой энергетического спектра является весьма актуальным.

В настоящей работе предлагается метод синтеза квазинепрерывных сигналов с псевдослучайным двухуровневым энергетическим спектром на основе композиции исходных непрерывных многофазных сигналов из заданного множества.

Будем полагать, что исходные сигналы из множества непрерывных многофазных сигналов обладают одинаковой длительностью, имеют одинаковый закон амплитудной огибающей энергетического спектра и различаются только законом фазовой модуляции.

Метод композиции многофазных сигналов с формой огибающей спектральной плотности, изменяющейся по псевдослучайному закону

Квазинепрерывный сигнал $s(t)$ длительностью $T=N_x\Delta_x$ образован N_x примыкающими друг к другу импульсами прямоугольной формы длительностью Δ_x. При средней скважности $Q=N_x/K$ только K из N_x импульсов (чипов) имеют единичную амплитуду.

Огибающая квазинепрерывного сигнала описывается суммой огибающих чипов $x(t)=\sum_{k=0}^{K-1}x_0(t-t_k)$, где $x_0(t)=\begin{cases}1, & 0\le t<\Delta_x\\ 0, & t<0, t\ge\Delta_x\end{cases}$, а $t_k=b_k\Delta_x$ определяет задержку k-го чипа, выраженную номером b_k его временного сдвига. Амплитудная манипуляция квазинепрерывного сигнала осуществляется по псевдослучайному закону некоторой двоичной последовательности, поэтому значения b_k не имеют регулярной величины приращения.

Пусть имеется ансамбль из K дискретных многофазных сигналов, обладающих двухуровневой псевдослучайной огибающей спектральной плотности мощности.

$$u_k(t)=\sum_{i=0}^{N_u-1}e^{j\varphi_k(i)}u_0(t-i\Delta),\quad \varphi_k(i)\in[0,2\pi], \qquad (1)$$

где $u_0(t)$ — прямоугольный импульс длительностью Δ, $u_0(t)=\begin{cases}1, & 0\le t<\Delta\\ 0, & t<0, t\ge\Delta\end{cases}$.

Установим соответствие между длительностями импульсов $u_0(t)$ и $x_0(t)$ таким, что $\Delta_x = N_u\Delta$ и $x_0(t) = \sum_{i=0}^{N_u-1} u_0(t - i\Delta)$. Осуществим модуляцию b_k-го чипа сигнала $s(t)$ по закону сигнала $u_k(t)$.

Сформированный сигнал $s(t)$ описывается выражением

$$s(t) = \sum_{k=0}^{K-1} u_k(t - b_k\Delta_x) = \sum_{k=0}^{K-1}\sum_{i=0}^{N_u-1} e^{j\varphi_k(i)} u_0\left(t - (b_k N_u + i)\Delta\right). \quad (2)$$

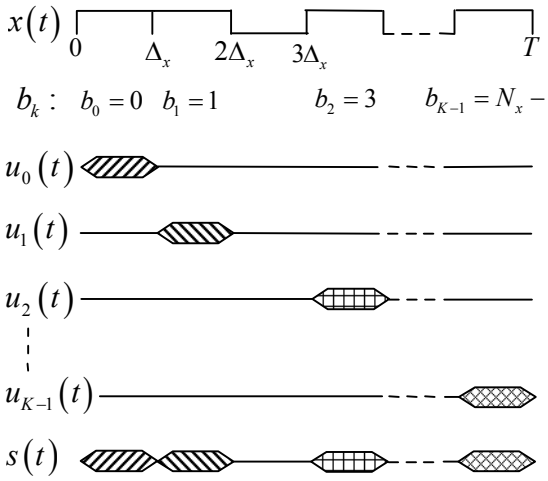


Рис.1. Схема синтеза

Синтез квазинепрерывного сигнала, представленный графически рис.1, заключается в суммировании задержанных на величину $b_k\Delta_x$ сигналов $u_k(t)$. Результат такой композиции определяет не только структурные, но и спектрально-корреляционные свойства синтезированного сигнала.

Одинаковый закон амплитудной огибающей энергетического спектра сигналов ансамбля при одной и той же ширине служит основанием ожидать, что спектральная плотность мощности сигнала $s(t)$ сохранит заданную форму. Однако изначальное различие в фазовом спектре сигналов, а также его дополнительная трансформация вследствие временного сдвига сигналов $u_k(t)$ требует проведения исследований для оценки величины возможного снижения отношения активных и пассивных компонент в спектре результирующего сигнала.

Исследование спектрально-корреляционных свойств композиционных сигналов

Пусть определены 64 непрерывных многофазных сигнала длиной N_x=128, обладающих близкой по характеру модуляции формой огибающей спектральной плотности, определяемой при синтезе последовательностью со скважностью 2. На рис.2 представлены временные диаграммы мгновенных значений фазы $\varphi_k(i)$, $i = 0..N_u - 1$, и модуля спектральной плотности $U_k(f_\nu)$, $f_\nu = \nu/\Delta_x$ трех сигналов $u_k(i\Delta)$

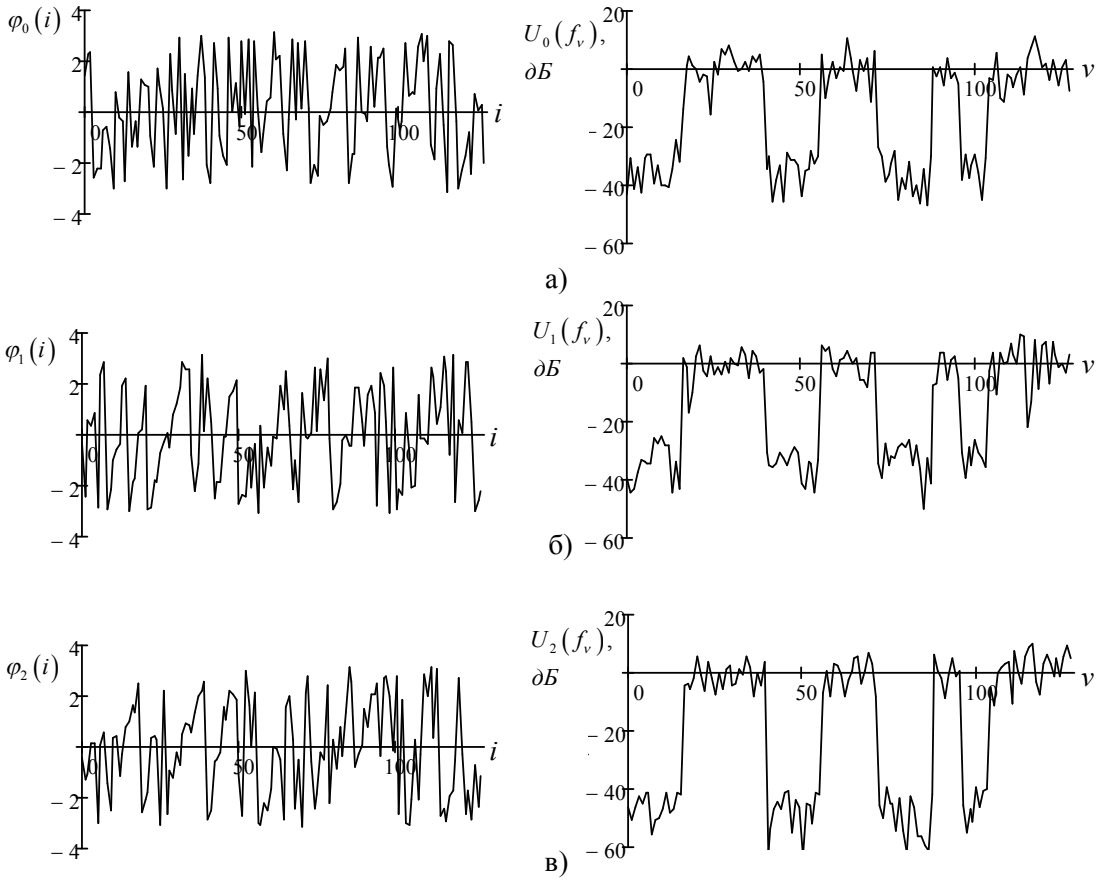
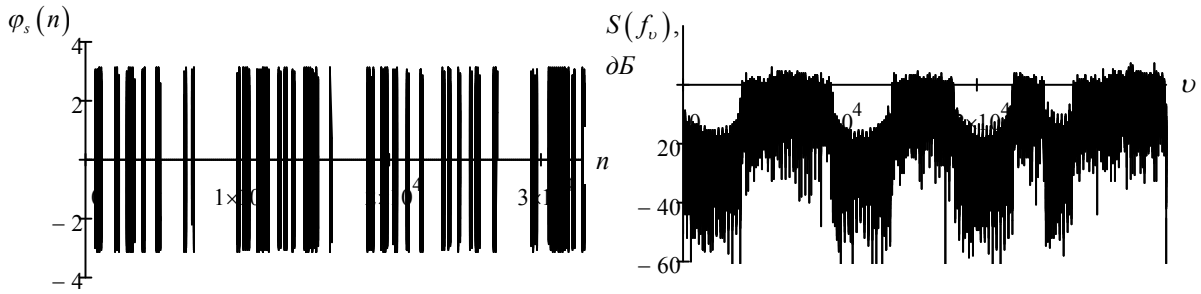


Рис.2. Мгновенные значения фаз трех исходных сигналов (графики слева) и соответствующие им спектральные плотности (графики справа)



а) б)

Рис.3. Сигнал, синтезированный методом композиции: а) временная диаграмма мгновенных значений фазы, б) модуль спектральной плотности

ансамбля. Отношение уровней активных и пассивных компонент спектра сигналов $u_k(i\Delta)$ при кратных значениях частоты составляет от 30 до 50 дБ.

Мгновенные значения фазы $\varphi_s(n)$, $n=0..N-1$, синтезированного квазинепрерывного сигнала со скважностью Q=4 на длине $N=QKN_u=4\cdot64\cdot128=32768$ и огибающая спектральной плотности $S(f_\upsilon)$, $f_\upsilon=\upsilon/T$, отображены на рис.3.

Форма огибающей спектральной плотности синтезированного сигнала повторяет форму огибающих спектральных плотностей исходных многофазных сигналов. Сохраняется и минимальный диапазон по частоте, занимаемый в спектре сигнала пассивными и активными компонентами. Его величина определяет минимальный диапазон частотной режекции и задает минимальную скорость обнаружения движущихся объектов.

Эффективность частотной режекции определяется отношением уровней активных и пассивных компонент спектра [5], которое в синтезированном сигнале снижается и составляет в приведенном примере порядка 20 дБ. Для повышения эффективности частотной режекции целесообразно выполнять дополнительный перебор множества многофазных сигналов с целью поиска среди них сигналов с наибольшим отношением активных и пассивных компонент спектра.

С увеличением длительности сигналов ансамбля отношение уровней активных и пассивных компонент в их спектре увеличивается. При этом размер по частоте дискрета изменения огибающей спектральной плотности сохраняется. Однако возрастание длительности излучаемых чипов расширяет «мертвую зону» по дальности, а также увеличивает зону «затенения» в окрестности источников сильных отражений.

Функция неопределенности $\chi(\tau,f)$ синтезированного сигнала, представленная на рис.4, имеет рельеф, схожий с рельефом функции неопределенности сложных сигналов с псевдослучайными законами двухуровневой манипуляции амплитуды и фазы. На фоне практически плоского «пьедестала» выделяется главный пик и «гребень», локализованный по задержке и протяженный по частоте и повышенным уровнем боковых лепестков.

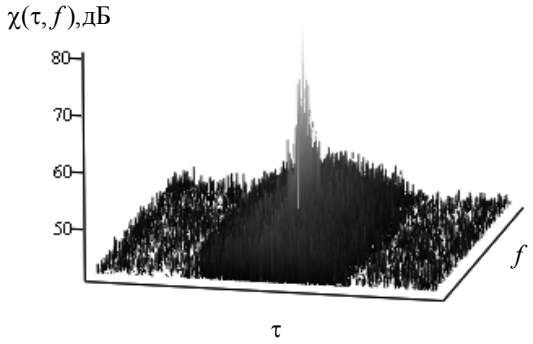


Рис.4. Функция неопределенности синтезированного сигнала

В ходе проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. Разработан метод композиции ансамбля сигналов с близкой по характеру модуляции формой огибающей спектральной плотности для формирования на их основе квазинепрерывного сигнала заданной средней скважности и длины.

2. Исследованы спектрально-корреляционные свойства композиционных сигналов. Моделирование подтвердило сохранение формы огибающей спектральной плотности синтезированного сигнала.

3. Выявлена необходимость поиска модификаций метода синтеза для увеличения отношения активных и пассивных спектральных компонент в спектре квазинепрерывного сигнала.

1. Быстров Н.Е., Чеботарев С.Д. Характеристики сигналов с квазинепрерывным энергетическим спектром // Вестник НовГУ. 2012. №68. С.27-31.
2. Быстров Н.Е., Жукова И.Н., Чеботарев С.Д. Синтез сложных сигналов с квазинепрерывным энергетическим спектром // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2012. Вып.2. С.37-43.
3. Быстров Н.Е., Чеботарев С.Д. Методы повышения эффективности частотной режекции сигналов с квазинепрерывным энергетическим спектром // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2012. Вып.5. С.27-35.
4. Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка. СПб.: Наука и техника, 2005. 400 с.
5. Быстров Н.Е., Чеботарев С.Д. Энергетические показатели частотной режекции мешающих отражений // Вестник НовГУ. 2012. № 67. С.4-8.

References

1. Bystrov N.E., Chebotarev S.D. Kharakteristiki signalov s kvazinepreryvnym energeticheskim spektrom [The structure of signals with quasi-continuous energy spectrum]. Vestnik NovGU – Vestnik NovSU, 2012, no. 68, pp. 27-31.
2. Bystrov N.E., Zhukova I.N., Chebotarev S.D. Sintez slozhnykh signalov s kvazinepreryvnym energeticheskim spektrom [Synthesis of wideband signals with quasicontinuous energy spectrum]. Izvestiia vuzov Rossii. Radioelektronika, 2012, iss. 2, pp. 37-43.
3. Bystrov N.E., Chebotarev S.D. Metody povysheniia effektivnosti chastotnoi rezhektsii signalov s kvazinepreryvnym energeticheskim spektrom [Methods of spectral rejection efficiency increasing of signals with quasi continuous energy spectrum]. Izvestiia vuzov Rossii. Radioelektronika, 2012, iss. 5, pp. 27-35.
4. Gantmakher V. E., Bystrov N. E., Chebotarev D. V. Shumopodobnye signaly. Analiz, sintez, obrabotka [Spread-spectrum signals. Analysis, synthesis and processing]. St. Petersburg, “Nauka i tekhnika” Publ., 2005. 400 p.
5. Bystrov N.E., Chebotarev S.D. Energeticheskie pokazateli chastotnoi rezhektsii meshaiushchikh otrazhenii [Energy datum of frequency rejection of clutter].Vestnik NovGU – Vestnik NovSU, 2012, no. 67, pp. 4-8.