

Спектральные и корреляционные характеристики импульсных сигналов с дискретной частотной модуляцией и некратными гармониками в спектре

В. С. Бахолдин, Д. А. Леконцев

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

vka@mil.ru

Аннотация Рассмотрены сигналы с дискретной частотной модуляцией некратными частотами. Приведены результаты моделирования в MATLAB спектральных и корреляционных характеристик импульсных сигналов с некратными гармониками в спектре. Выполнен сравнительный анализ импульсного сигнала с дискретной частотной модуляцией некратными частотами и сигнала с линейной частотной модуляцией.

Ключевые слова: дискретная частотная модуляция, линейная частотная модуляция, некратные спектральные гармоники

I. ВВЕДЕНИЕ

Оценка потенциальной информативности сигналов, то есть максимального количества информации, которое может быть извлечено в результате его приёма и обработки показала, что повышение информационных возможностей систем радиолокации и радионавигации может быть достигнуто путем применения технологии некратных шкал, базирующейся на системе остаточных классов [1, 2]. Технология некратных измерительных шкал полностью использует измерительную информацию, получаемую на каждой шкале, то есть введение в спектр сигнала дополнительных некратных гармоник позволяет увеличивать количество получаемой информации.

В течении последних десятилетий активно развиваются сверхширокополосные (СШП) радиолокационные системы (РЛС). Интерес к СШП сигналам обусловлен стремлением к повышению разрешающей способности по дальности при обнаружении малоразмерных малоподвижных объектов и синтезу высокоинформативных радиолокационных изображений (РЛИ) [3, 4]. Множество СШП сигналов принято разделять на видеоимпульсные и частотно-модулированные. Сигналы с частотной модуляцией находят широкое применение в различных областях науки и техники, в том числе радиолокации и связи. При этом обычно выделяют две разновидности частотной модуляции – непрерывную и дискретную [5, 6]. Каждый из указанных видов частотной модуляции имеет свои преимущества и недостатки, которые достаточно хорошо изучены и позволяют принимать правильные технические решения при проектировании и изготовлении различных радиотехнических систем. В работах [5, 7, 8] рассмотрены многочастотные радиотехнические системы, в которых реализуется обработка сигналов с одинаковыми законами модуляции и на различных несущих частотах.

Сигналы с дискретной частотной модуляцией (ДЧМ) или дискретно-кодированные по частоте сигналы (ДКЧС) представляют собой набор отдельных элементарных радиоимпульсов с различным частотным заполнением и обладают преимуществами, связанными с возможностью гибкой настройки частотно-временных параметров и характеристик сжатия таких сигналов, а также возможностью передачи информации путем изменения порядка чередования импульсов [3, 7, 9].

II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКРАТНЫХ ЧАСТОТ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ

Известно, что разрешающая способность по дальности определяется эквивалентной шириной полосы сигнала, однако, в случае, когда шаг спектральных гармоник по частоте становится неравномерным или, когда их длительности не постоянны, разрешающая способность и интервал однозначного измерения дальности не могут быть вычислены аналитически. Таким образом, для сигнала с ДЧМ некратными частотами требуется выполнить моделирование функции неопределенности или ее сечений с последующей оценкой интересующих параметров.

На рис. 1 приведены результаты моделирования ДЧМ сигнала, использующего частоты 127, 139, 151, 163 и 175 МГц, а на рис. 2 – частоты 131, 139, 147, 155 и 163 МГц.

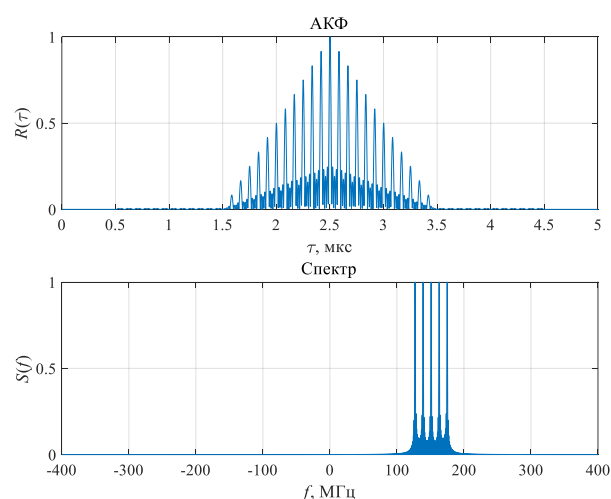


Рис. 1. АКФ и спектр ДЧМ сигнала с частотами 127, 139, 151, 163 и 175 МГц

Для обеспечения наглядности получаемых результатов при моделировании использовалось ограниченное число некрлатных гармоник равное пяти.

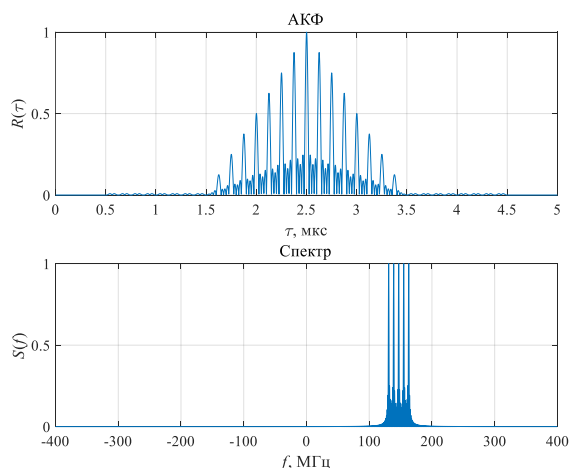


Рис. 2. АКФ и спектр ДЧМ сигнала с частотами 131, 139, 147, 155 и 163 МГц

Использование ДЧМ сигналов с некрлатными гармониками в спектре и постоянным шагом по частоте приводит к периодичности лепестков в автокорреляционной функции (АКФ) сигнала. Шаг гармоник по частоте для первого сигнала составил 12 МГц, а для второго – 8 МГц. Как показывают результаты моделирования ДЧМ сигнала, использование некрлатных гармоник с меньшим шагом по частоте приводит к снижению числа боковых лепестков в АКФ. Добавление нерегулярности в частотную структуру сигнала позволяет избавиться от данной периодичности и уменьшить уровень боковых лепестков, ограничивающих период однозначного определения дальности (рис. 3). Переход к неравномерной сетке частот также приводит к уменьшению уровня периодических повторений центрального лепестка функции неопределенности и увеличению среднего уровня боковых лепестков в областях дальностей между периодами однозначного определения дальности [3].

Влияние номиналов модулирующих частот на уровень боковых лепестков показано в различных работах и монографиях. Так в работах [8, 11] отмечается, что псевдослучайные коды частоты, основанные на массивах Костаса, позволяют добиться «кнопочного» вида функции неопределенности, с равномерным распределением боковых лепестков функции неопределенности в координатах время – частота Доплера. Кроме того, как показывают результаты компьютерного моделирования, узкополосные ДКЧС Костаса являются достаточно устойчивыми к случайным фазовым нестабильностям [3]. Однако для синтеза сверхширокополосных сигналов требуется использовать большое множество частот, формируемое на основе простых или взаимно простых чисел, в соответствии с технологией некрлатных шкал.

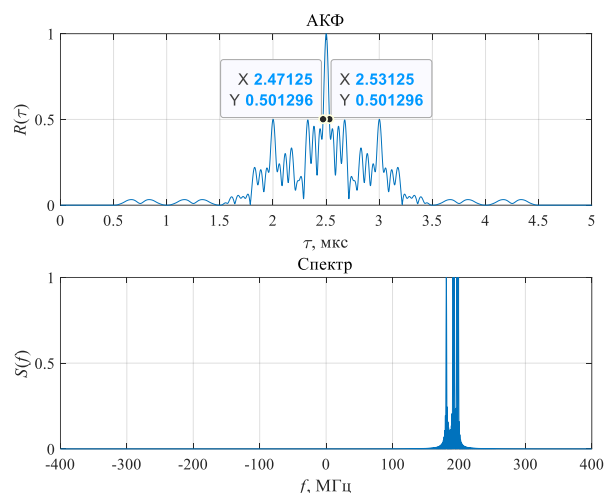


Рис. 3. АКФ и спектр ДЧМ сигнала с частотами 181, 191, 193, 197 и 199 МГц

На рис. 4 приведены результаты моделирования ДЧМ сигнала, полученного с использованием модуляции частотами 169, 173, 179, 181 и 191 МГц. Частотное смещение между соседними гармониками в спектре составляет соответственно 4, 6, 2 и 10 МГц соответственно. Идентичная АКФ получается при использовании для модуляции некрлатных частот 127, 131, 137, 139 и 149 МГц. Ширина спектра для обоих сигналов равна 22 МГц. Анализ результатов моделирования позволил сделать вывод о том, что на вид АКФ существенное влияние оказывает величина частотного смещения между соседними гармониками в спектре, а порядок следования модулирующих частот не является определяющим фактором.

Разрешающая способность ДЧМ сигнала соответствует разрешающей способности ЛЧМ сигнала с идентичной шириной спектра (рис. 5).

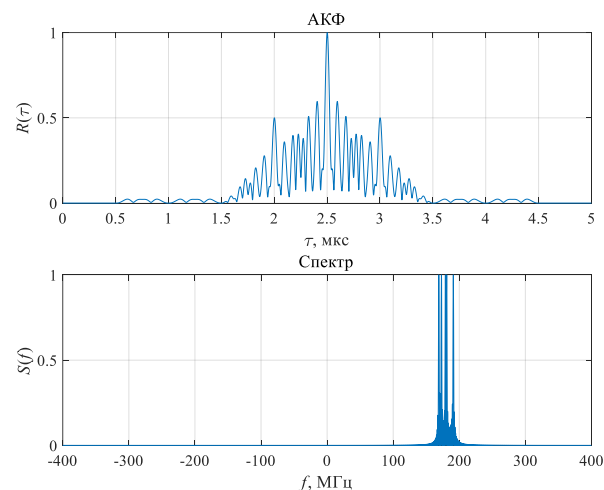


Рис. 4. АКФ и спектр ДЧМ сигнала с частотами 169, 173, 179, 181 и 191 МГц

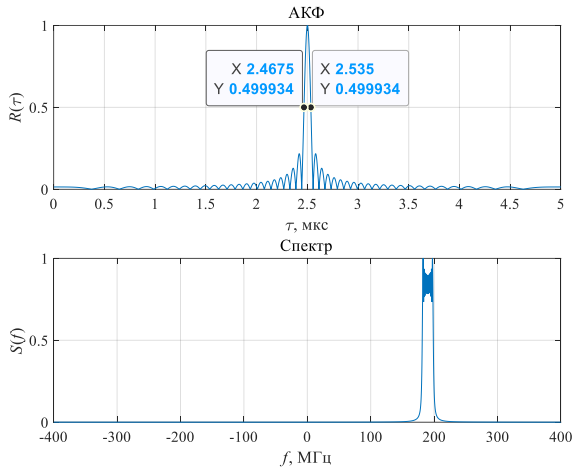


Рис. 5. АКФ и спектр ЛЧМ сигнала с девиацией 18 МГц (181 – 199 МГц)

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты моделирования сигналов с использованием в структуре некротных гармоник показывают, что изменение вида АКФ и спектра ДЧМ сигналов можно использовать для управления разрешающей способностью РЛС. Появление нерегулярности в частотной структуре спектра может положительно сказаться на помехоустойчивости РЛС. Полученные в работе результаты показали, что использование импульсных сигналов с дискретной частотной модуляцией некротными гармониками позволяет обеспечить требуемые качественные показатели сечений ФН при меньшем числе частот, используемых при формировании сигнала, по сравнению с количеством частот необходимых при использовании классических методов формирования ДЧС и достичь аналогичных характеристик функции неопределенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Алешкин А.П., Бахолдин В.С., Балашов В.М. К вопросу совершенствования технологии обработки радиосигналов РЭС-локации и навигации на основе анализа их информационных характеристик // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 4 (4). С. 12–20.
- [2] Алешкин А.П., Бахолдин В.С., Леконцев Д.А. Анализ информационных характеристик сигналов систем космической радиолокации и радионавигации и предложения по их улучшению // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 647. С. 37–42.
- [3] Сапронов Д.И. Совместное оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах с использованием сверхширокополосных дискретно-кодированных по частоте сигналов: дис. ... канд.техн.наук. / Москва МАИ – 2020, 112 с.
- [4] Stepped-frequency radar sensor analysis theory, analysis and design / Nguyen C., Park J. Springer Briefs in Electrical and Computer Engineering – Springer. 2016. P. 129.
- [5] Вишин Г.М. Многочастотная радиолокация // Москва: Воен. изво МО СССР, 1973. 89 с.
- [6] Радиолокационные сигналы / Ч. Кук, М. Бернфельд. Пер. с англ. под ред. В.С. Кельзона. М.: Сов. Радио, 1971. 568 с.
- [7] Метод повышения разрешающей способности многопозиционных радиолокационных систем с синтезированной апертурой на основе расщепления спектра сигнала с линейной частотной модуляцией / В.С. Бахолдин, Д.А. Гаврилов, Д.А. Леконцев, В.Ф. Иванов // Труды ВКА имени А.Ф.Можайского СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского. 2019. Вып. 670. Т.1. С. 27–31.
- [8] Каменский И.В., Плёкин В.Я. Свойства функции неопределённости дискретно-кодированных по частоте сигналов Костаса // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2001. № 5. С. 59–68.
- [9] Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. М.: Радио и связь, 1985. 384с.
- [10] Патент RU № 2616970. МПК G01S19/24. Способ обработки сигнала системы ГЛОНАСС с частотным разделением / Бахолдин В.С., Гаврилов Д.А., Леконцев Д.А. и др. 2017-04-19.
- [11] Костас Дж. П. Свойства сигналов с почти идеальной функцией неопределенности в координатах «дальность-доплеровская частота» // ТИИЭР. 1984. Т. 72. № 8. С. 5-18.