

Ефремова М.С.

*Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук К.К. Храмов
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: efremowa.margarita2013@ya.ru*

Обзор и анализ методов повышения спектральной эффективности радиосигналов

Как известно [1], в радиотехнических системах и системах телекоммуникаций для передачи информации используются различные виды модуляции. При этом под модуляцией понимается изменение параметров сигналов, в соответствии с передаваемой информацией.

Для передачи дискретной информации в цифровых системах передачи чаще всего применяются сигналы с частотной манипуляцией (frequency shift keying, FSK). Такие сигналы просты в генерировании и приеме, так как нечувствительны к начальной фазе. Однако у таких сигналов есть недостаток в виде широкого спектра. Модификацией FSK модуляции является частотная манипуляция с непрерывной фазой (continuous-phase frequency-shift keying, CPFSK). Такие сигналы в основном применяются в военной и сотовой связи [2]. При данном виде модуляции переход между дискретными значениями сигнала происходит без разрыва фазы. Отсутствие разрывов фазы приводит к существенному снижению уровня максимального бокового лепестка на 6..8 дБ. Кроме этого скорость убывания боковых лепестков возрастает.

Частным случаем CPFSK модуляции являются сигналы с минимальной частотной манипуляцией (minimum-shift keying, MSK). При MSK модуляции разнос частот, соответствующих двоичным информационным значениям, при котором обеспечивается ортогональность передаваемых дискретных значений на интервале их длительности, минимален. Применение MSK модуляции дает возможность уменьшить ширину главного лепестка спектра MSK и сделать ее минимальной среди всех возможных сигналов с двоичной частотной манипуляцией.

Следующим шагом при повышении спектральной эффективности радиосигналов была разработка GMSK – гауссовской двухпозиционной частотной манипуляции с минимальным сдвигом, которая имеет две особенности: первая – "минимальный сдвиг" между ближайшими битами передаваемой информации, другая – гауссовская фильтрация, которая позволяет снизить уровень боковых лепестков спектра, а также значительно увеличивает скорость убывания спектра GMSK сигнала по сравнению с MSK. Например, максимальный уровень бокового лепестка при GMSK-модуляции и значении $BT=0,3$, где B – полоса фильтра Гаусса по уровню -3дБ, T – длительность единичного импульса цифровой информации, на 15 дБ меньше чем у MSK сигнала. При этом скорость убывания спектра линейно зависит от частоты [1].

Вместе с тем, для передачи дискретной информации также широко применяются сигналы с фазовой манипуляцией (phase-shift keying, PSK), в частности BPSK, QPSK и их разновидности [2]. Известно, что применение бинарных сигналов с фазовой манипуляцией (ФКМ), которая чаще всего выполняется по закону псевдослучайных прямоугольных последовательностей, имеет нежелательные эффекты, которые выражаются в расширении спектра сигнала, а также в большом уровне боковых лепестков. Один из путей улучшения спектральных характеристик и корреляционных свойств зондирующих сигналов и обеспечения электромагнитной совместимости является применение весовых функций, чтобы сформировать элементарные модулирующие импульсы последовательностей. В общем случае для снижения уровня боковых лепестков корреляционной функции требуется применять частотную весовую обработку сигнала, а использование временной весовой функции позволит уменьшать боковые лепестки в спектральной области [3]. На практике такую обработку, в основном, применяют для ЛЧМ-радиоимпульсов.

По аналогии с GMSK модуляцией для ограничения спектра ФКМ сигналов используется формирование комплексной огибающей каждого дискрета последовательности путем

взвешивания окном Гаусса функции отсчетов $\text{sinc}(x)$. Эта обработка позволяет ограничить его спектр значительно.

Еще одним достаточно эффективным способом сужения спектра ФКМ сигнала является плавное управление фазой формируемых колебаний в моменты ее коммутации [3, 4], что, по сути, является разновидностью весовой обработки комплексной огибающей ФКМ сигнала. Наиболее простым законом изменения фазы сигнала является линейный, другая широко распространенная функция скругления – функция типа косинус-квадрат, также возможно применение экспоненциальной функции.

В докладе рассматриваются вопросы анализа различных законов изменения фазы при формировании радиосигналов с фазовой манипуляцией с точки зрения их спектральной эффективности, приводятся корреляционные и спектральные характеристики таких ФКМ сигналов, обсуждаются вопросы их практического применения.

Литература

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр; пер. с англ. Е.Г. Грозы [и др.]; под ред. А. В. Назаренко. – 2-е изд., испр. – М.: Вильямс, 2014.
2. Унгер А.Ю. Синхронизация приемников сигналов с циклически изменяющимся индексом модуляции // 2-я Международная заочная научно-техническая конференция ITRT-2012: сб. статей. Тольятти, 2012.
3. Levanon N., Mozeson E. Radar Signals. – John Wiley & Sons, Inc., 2004. – 427 p.
4. Ромашов В.В., Храмов К.К. Обеспечение требуемой полосы спектра внеполосных излучений при формировании ФКМ сигналов // Радиопромышленность. – 2012. – № 2. – С.48-56.