

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ DDS-СИНТЕЗАТОРОВ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЯХ МАЛЫХ РАССТОЯНИЙ

С.В. Поваляев

Рассмотрены особенности применения DDS-синтезаторов в СВЧ-формирователе зондирующих ЛЧМ-радиосигналов радиолокационного измерителя малых расстояний. Предложен способ повышения девиации частоты зондирующих ЛЧМ-радиосигналов на основе управления квадратурами DDS-синтезатора. Приведены результаты исследования побочных составляющих в спектре сигнала биений, обусловленных эффектами квантования амплитуды и фазы зондирующих ЛЧМ-радиосигналов, синтезированных по DDS-технологии.

Ключевые слова: малые расстояния; ЛЧМ-радиосигнал; DDS-технология; СВЧ-формирователь; сигнал биений.

Введение

Известно [1, 2], что существенное влияние на точность радиолокационного измерителя малых расстояний, реализующего частотный метод измерения расстояния, оказывает структура и параметры сверхвысокочастотного формирователя (СВЧ-формирователя) зондирующих линейно-частотно-модулированных радиосигналов (ЛЧМ-радиосигналов).

Для достижения высокой точности измерения малых расстояний СВЧ-формирователь должен обеспечивать высокую линейность закона изменения частоты и стабильность основных параметров (девиация частоты, период модуляции) зондирующих ЛЧМ-радиосигналов.

Аналоговые методы формирования СВЧ-радиосигналов не могут удовлетворить указанным требованиям без привлечения дополнительных методов коррекции нелинейности закона изменения частоты СВЧ-формирователя и поддержания стабильности параметров модуляции, что ведет к возрастанию стоимости радиолокационного измерителя, усложнению процессов его настройки и эксплуатации.

Интенсивное развитие современной элементной базы в значительной степени способствует широкому применению цифровых методов формирования СВЧ-радиосигналов с линейной частотной модуляцией [3]. Эти методы позволяют оперативно управлять основными параметрами модуляции, обеспечивают высокую стабильность и когерентность формируемых радиосигналов, а также хорошую повторяемость характеристик при серийном производстве.

Цифровой СВЧ-формирователь зондирующих ЛЧМ-радиосигналов в радиолокационном измерителе малых расстояний

Цифровые методы формирования ЛЧМ-радиосигналов в большинстве случаев основаны на использовании метода прямого цифрового синтеза частоты радиосигналов (DDS-технология). В соответствии с этим методом в определенные дискретные моменты времени производится формирование линейно меняющегося во времени цифрового кода, соответствующего амплитуде синтезируемого радиосигнала и преобразование этого кода с помощью цифро-аналогового преобразователя в аналоговую форму [4, 5]. Цифровые устройства, реализующие формирование радиосигналов по DDS-технологии, называют DDS-синтезаторами.

Анализ литературных источников показывает, что наиболее приемлемым методом формирования СВЧ-радиосигналов с линейной частотной модуляцией в радиолокационных измерителях малых расстояний является квадратурный перенос спектра низкочастотных ЛЧМ-радиосигналов, синтезированных по DDS-технологии, в область высоких частот с помощью квадратурного модулятора. Структурная схема СВЧ-формирователя зондирующих ЛЧМ-радиосигналов, реализующая данный метод, приведена на рис. 1.

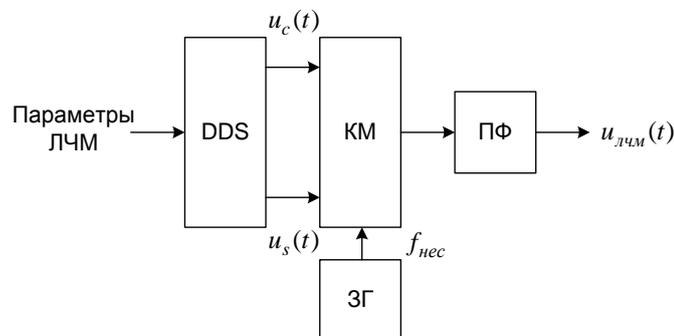


Рис. 1. Структурная схема СВЧ-формирователя зондирующих ЛЧМ-радиосигналов на основе квадратурного переноса спектра низкочастотных ЛЧМ-радиосигналов

В области низких частот DDS-синтезатор (DDS) формирует квадратурные ЛЧМ-радиосигналы, которые подаются на низкочастотные входы квадратурного модулятора (КМ). На высокочастотный вход квадратурного модулятора подается с задающего генератора (ЗГ) СВЧ-радиосигнал частотой $f_{нес}$. На выходе квадратурного модулятора формируется СВЧ-радиосигнал, частота которого изменяется по линейному закону. Полосовой фильтр (ПФ) на выходе квадратурного модулятора предназначен для подавления низкочастотного сигнала DDS-синтезатора и высших гармоник задающего генератора [3].

СВЧ-формирователь зондирующих ЛЧМ-радиосигналов на основе квадратурного переноса спектра низкочастотных ЛЧМ-радиосигналов позволяет добиться высокой линейности и стабильности изменения частоты зондирующих ЛЧМ-радиосигналов, а также обеспечивает возможность перестройки несущей частоты ЛЧМ-радиосигналов путем изменения частоты задающего генератора. Недостатком данного СВЧ-формирователя является невозможность генерирования широкополосных ЛЧМ-радиосигналов с девиацией частоты, превышающей величину, равную половине тактовой частоты f_T DDS-синтезатора.

Метод повышения девиации частоты ЛЧМ-радиосигналов на основе управления квадратурами DDS-синтезатора

Для расширения диапазона значений девиации частоты ЛЧМ-радиосигналов, генерируемых DDS-синтезатором, автором под руководством д.т.н., проф. Ю.Т. Карманова был разработан метод повышения девиации частоты, основанный на управлении квадратурами DDS-синтезатора.

Сущность предлагаемого метода повышения девиации частоты ЛЧМ-радиосигналов заключается в следующем. DDS-синтезатор формирует два квадратурных ЛЧМ-радиосигнала $u_c(t)$ и $u_s(t)$ с симметричным треугольным законом изменения частоты, длительностью T_c и девиацией F_{dev} (рис. 2). Синфазный сигнал $u_c(t)$ поступает на первый низкочастотный вход квадратурного модулятора (КМ), а квадратурный $u_s(t)$ – на вход делителя мощности (ДМ), распределяющего мощность сигнала на два выхода.

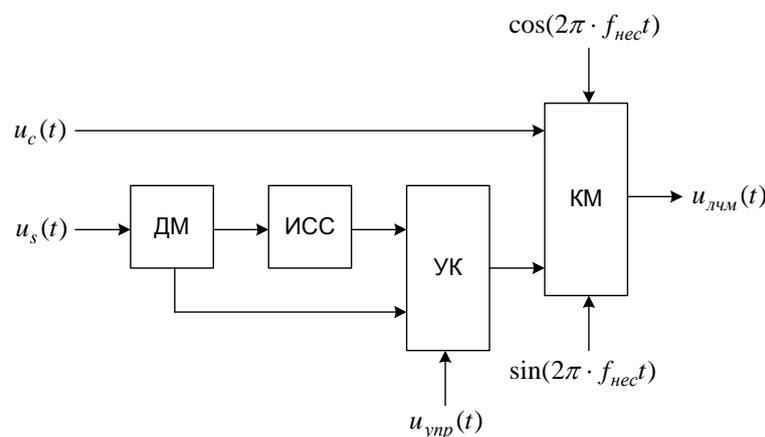


Рис. 2. Структурная схема СВЧ-формирователя зондирующих ЛЧМ-радиосигналов с расширенным диапазоном девиации частоты

Сигнал с первого выхода делителя мощности после прохождения инвертора синусоидального сигнала (ИСС) поступает на первый аналоговый вход управляемого электронного ключа (УК), на второй вход которого подается сигнал со второго выхода делителя мощности. В результате формируются два дифференциальных сигнала $u_s(t)$ и $-u_s(t)$, которые поступают на аналоговые входы управляемого ключа.

Управляемый ключ осуществляет коммутацию одного из входных аналоговых сигналов на второй низкочастотный вход квадратурного модулятора в моменты времени, определяемые управляющим сигналом $u_{упр}(t)$, поступающим от устройства управления:

$$u_{упр}(t) = \begin{cases} -1, iT_c \leq t \leq (i+0,5)T_c, i = 0, 1, 2, \dots \\ 1, (j+0,5)T_c \leq t \leq (j+1)T_c, j = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (1)$$

На высокочастотные входы квадратурного модулятора подаются от задающего генератора квадратуры несущего радиосигнала частотой $f_{нес}$.

В результате на выходе квадратурного модулятора формируется широкополосный ЛЧМ-радиосигнал:

$$u(t) = u_c(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_{нес}t) + u_{упр}(t) \cdot u_s(t) \cdot \sin(2\pi \cdot f_{нес}t) \quad (2)$$

Частота ЛЧМ-радиосигнала (2) изменяется от $f_{нес} - F_{дев}$ до $f_{нес} + F_{дев}$, при этом верхняя граница диапазона девиации частоты ЛЧМ-радиосигнала смещается к значению $(0,8...0,9)f_T$.

Эффекты квантования при формировании зондирующих ЛЧМ-радиосигналов по DDS-технологии

Эффекты квантования амплитуды и фазы, которые имеют место в DDS-технологии, приводят к появлению в спектре формируемого ЛЧМ-радиосигнала побочных составляющих. Поскольку в радиолокационных измерителях малых расстояний с зондирующими ЛЧМ-радиосигналами реализуется частотный метод измерения расстояния, то побочные спектральные составляющие в зондирующем ЛЧМ-радиосигнале приводят к возникновению побочных составляющих в спектре сигнала биений.

Для исследования влияния эффектов квантования амплитуды и фазы ЛЧМ-радиосигнала на характеристики спектра сигнала биений были разработаны две модели зондирующего ЛЧМ-радиосигнала: одна модель учитывала конечную разрядность шины данных преобразователя амплитуда-фаза DDS-синтезатора (квантование амплитуды), другая – усечение кода на выходе аккумулятора фазы DDS-синтезатора (квантование фазы).

Исследование характеристик спектра сигнала биений проводилось путем анализа энергетического спектра сигнала биений, рассчитанного в системе компьютерной математики MATLAB [6].

Анализ полученных результатов показывает, что квантование амплитуды и фазы зондирующего ЛЧМ-радиосигнала в DDS-синтезаторе приводит к появлению в спектре сигнала биений множества побочных спектральных составляющих. Амплитуды побочных составляющих распределены случайным образом, что позволяет рассматривать их как фазовый шум.

В качестве примера на рис. 3 приведены энергетические спектры сигнала биений, полученные при следующих параметрах: девиация частоты 200 МГц, длительность ЛЧМ-радиосигнала 970 мкс, время переключе-

ния частот в DDS-синтезаторе 10 нс, несущая частота 3 ГГц, дальность 23 м, разрядность аккумулятора фазы 14 бит, разрядность шины данных преобразователя фаза-амплитуда 6 бит.

Исследования уровня побочных составляющих в спектре сигнала биений, проведенные при использовании параметров современных DDS-синтезаторов (AD9910, AD9914, AD9958), показывают, что амплитуды побочных спектральных составляющих, обусловленных квантованием фазы и амплитуды зондирующего ЛЧМ-радиосигнала, практически не превосходят уровня боковых лепестков спектра сигнала биений.

На рис. 4 приведены энергетические спектры сигнала биений, рассчитанные при использовании DDS-синтезатора AD9910. Максимальные уровни шумовых составляющих (по отношению к уровню сигнала биений, полученного без учета эффектов квантования ЛЧМ-радиосигнала), при квантовании фазы и амплитуды составляют 1,8 дБ и 1,6 дБ соответственно.

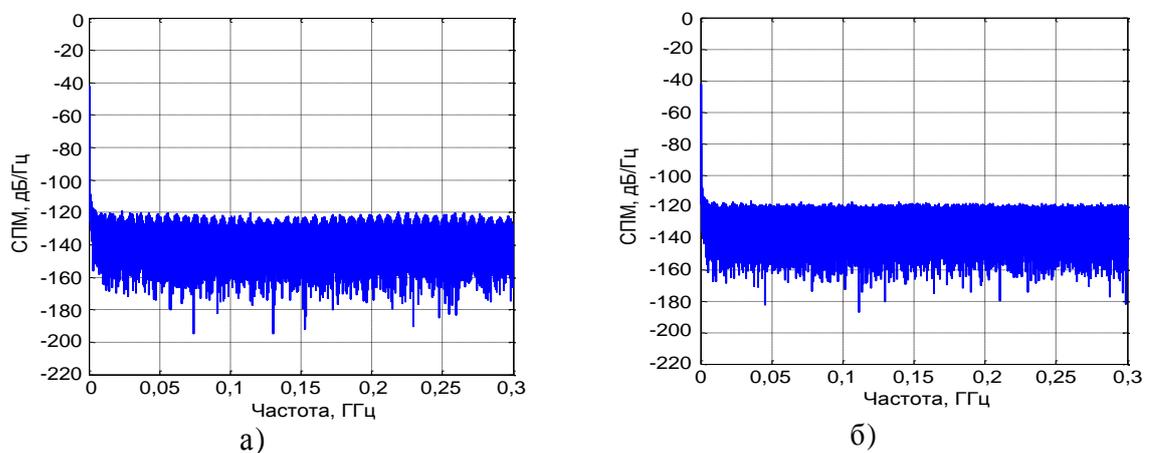


Рис. 3. Энергетические спектры сигнала биений при квантовании фазы (а) и амплитуды (б) ЛЧМ-радиосигнала

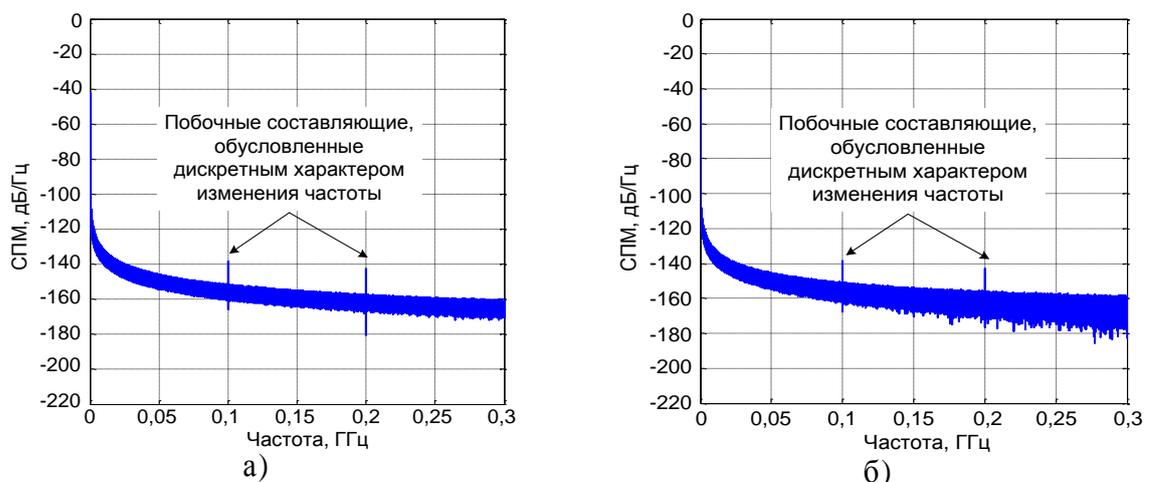


Рис. 4. Энергетические спектры сигнала биений при квантовании фазы (а) и амплитуды (б) ЛЧМ-радиосигнала в DDS-синтезаторе AD9910

Выводы

1. Наиболее приемлемым методом формирования зондирующих ЛЧМ-радиосигналов в радиолокационных измерителях малых расстояний является квадратурный перенос спектра ЛЧМ-радиосигналов, синтезированных по DDS-технологии, в высокочастотную область при помощи квадратурного модулятора.

2. Для расширения диапазона возможных значений девиации частоты зондирующих ЛЧМ-радиосигналов в радиолокационных измерителях малых расстояний можно использовать метод повышения девиации частоты, основанный на управлении квадратурами DDS-синтезатора.

3. При использовании современных DDS-синтезаторов для формирования зондирующих ЛЧМ-радиосигналов характеристики спектра сигнала биений в радиолокационных измерителях малых расстояний практически совпадают с характеристиками, присущими идеальным ЛЧМ-радиосигналам.

Библиографический список

1. Комаров, И.В. Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний / И.В. Комаров, С.М. Смольский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 392 с.

2. Атаянц, Б.А. Проблема шумов и нелинейности модуляционной характеристики передатчика в прецизионных промышленных системах ближней частотной радиолокации / Б.А. Атаянц, В.В. Езерский, С.М. Смольский, Б.И. Шахтарин // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – № 3. – С. 3–29.

3. Кочемасов, В.Н. Методы формирования сверхширокополосных линейно-частотно-модулированных сигналов / В.Н. Кочемасов, А.В. Голубков, В.Г. Голубков, А.А. Черкашин, Е.В. Янковский // Сборник материалов IV общероссийской научно-технической конференции «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем». – 2012. – С. 113–124.

4. Ямпурин, Н.П. Формирование прецизионных частот и сигналов / Н.П. Ямпурин, В.В. Болознев, Е.В. Сафонова, Е.Б. Жалнин. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та, 2003. – 187 с.

5. Карманов, Ю.Т. Характеристики радиолокационных дальномеров с ЛЧМ-зондирующими сигналами, синтезированными по цифровой технологии DDS / Ю.Т. Карманов, С.В. Поваляев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – Вып. 14. – № 1. – С. 14–22.

6. Дьяконов, В.П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 976 с.

[К содержанию](#)