

В.В. Шутова, Н.Д. Комиссарова  
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета  
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23  
e-mail: shutik13@mail.ru

### Исследование методов формирования цифровых квадратурных составляющих сигналов

Устройства цифровой обработки сигналов (ЦОС) находят всё более широкое применение, так как с помощью ЦОС можно создавать устройства с характеристиками, недостижимыми для аналоговых методов обработки сигналов. Цифровые устройства отличаются быстродействием, малыми габаритами (по сравнению с аналоговыми), возможностью реализации сложных алгоритмов обработки, высокой точностью измерений. Кроме того, реализация устройства с ЦОС оказывается более выгодной с технической и экономической точек зрения из-за их универсальности и возможности работать в различных режимах. В устройствах ЦОС широко используются квадратурные составляющие сигнала.

Целью работы является исследование методов формирования цифровых квадратурных составляющих сигналов.

В настоящее время для передачи сигналов на большие расстояния используется перенос сигналов по частоте. В результате образуются высокочастотные сигналы, которые являются узкополосными сигналами в широком смысле. Это означает, что в узкополосных сигналах отношение верхней частоты к нижней частоте близко к единице. Разложение узкополосного сигнала на квадратурные компоненты описывается следующей формулой:

$$S(t) = A(t) \cdot e^{j2\pi ft + \phi(t)} = I(t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + Q(t) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t),$$

где  $I(t) = A(t) \cdot \cos(\phi)t$  и  $Q(t) = A(t) \cdot \sin(\phi)t$  – синфазная и квадратурная составляющие сигнала.

Отсчеты квадратурных составляющих можно получить, производя дискретизацию мгновенных значений радиосигнала. Этот принцип можно реализовать с помощью:

1. Двухканального формирователя квадратур на основе отсчетов исходного сигнала  $s(t)$  и его преобразования Гильберта  $\hat{s}(t)$ .
2. Двухканального формирователя квадратур на основе отсчетов сигнала с выходов смесителей, опорные сигналы гетеродина которых сдвинуты на  $90^\circ$ .
3. Двухканального формирователя квадратур с использованием линии задержки.
4. Одноканального формирователя квадратур на основе дискретизации радиосигнала.

Для формирования квадратурных составляющих полосового радиосигнала при его аналого-цифровом преобразовании в цифровом радиоприемном устройстве и их анализа была разработана программа моделирования, которая работает в соответствии со схемой двухканального формирователя квадратур с использованием линии задержки.

Для моделирования рассчитана частота дискретизации по заданным значениям несущей частоты  $f_0$ , и полосы сигнала  $\Delta f_s$  из условия равномерного распределения образов спектра в частотной области. Задана минимальная частота спектра  $f_1$ , равная 20 МГц. Шаг изменения частоты равен 0,1 МГц. Сигнал состоит из 70 гармоник.

При моделировании получены реализации сигналов и их квадратурные составляющие при прохождении через схему двухканального формирователя квадратур с использованием линии задержки. Проведено исследование влияния нелинейности аналогового тракта, влияния разрядности АЦП на качество формирования квадратур, исследование зависимостей относительных ошибок формирования квадратур от параметра нелинейности  $\gamma$  и разрядности АЦП  $N$ , исследование влияния дискретизации и квантования на спектр сигнала.

В результате проведенных исследований было показано, что формирование квадратур с использованием линии задержки является наиболее предпочтительным методом формирования квадратур узкополосного сигнала, поскольку в меньшей степени сказываются нестабильности опорных генераторов и источников сигнала. Кроме того, в этой схеме достигаются малые погрешности представления, достигающие не более 2% по результатам моделирования.

Литература

## Секция 10. Мониторинг окружающей среды

1. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Учебн. пособие. – М.: Радио и связь, 1990.
2. Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры ЦОС. – СПб.: БХВ-Петербург. 2001.
3. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. Изд. 2-е, испр. – М.: Техносфера, 2007.