

## АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗА ЧАСТОТЫ ДЛЯ ИМИТАЦИИ И ОБРАБОТКИ ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА МОРСКОЙ ВЫСОКОТОЧНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

канд. техн. наук Кузьмин Е.В.

*ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»*

Постановка задачи. Прием сигналов опорных станций морской высокоточной радионавигационной системы диапазона средних частот осуществляется корабельными станциями при скорости движения объектов  $0 \leq V_{об} \leq 100 \text{ км/ч}$  [1]. Таким образом, доплеровский сдвиг частоты принимаемых сигналов не превышает [2]

$$F_{д \max} \leq f_0 \frac{V_{об}}{c} = 2 \cdot 10^6 \frac{27,78}{299792458} \approx 0,2 \text{ Гц}, \quad (1)$$

где  $f_0$  – средняя частота спектра сигнала,  $c$  – скорость света. Для реализации и отработки алгоритмов прецизионного измерения радионавигационных параметров необходимо обеспечить имитацию сигналов опорных станций принимаемых движущейся корабельной станцией. С учетом обозначенного выше диапазона изменения скоростей, а следовательно и доплеровских сдвигов частот, при имитации необходимо обеспечивать точность синтеза частоты не хуже чем минимально возможный доплеровский сдвиг частоты (в предположении, что  $V_{об} > 0$ ). Так, считая минимальную скорость движения объекта  $V_{об \min} = 0,01 \text{ км/ч}$ , с учетом (1) получим минимальный доплеровский сдвиг частоты:  $F_{д \min} \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ Гц}$ . На современном этапе развития элементной базы, применяемой в радиоэлектронике, формирование сложных сигналов сравнительно легко обеспечить с применением метода прямого цифрового синтеза (DDS – direct digital synthesis).

Цель доклада: обоснование требований к точности цифрового синтеза частоты для задач имитации и обработки шумоподобного сигнала.

При реализации алгоритмов прямого цифрового синтеза частоты основными элементами являются: аккумулятор фазы (счетчик большой разрядности), элемент памяти (содержащий отсчеты одного периода гармонического колебания), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), и фильтр нижних частот (ФНЧ). Минимальный шаг по частоте (разрешающая способность) определяется выражением [3]:

$$\Delta f_{\min} = \frac{f_d}{2^n}, \quad (2)$$

где  $f_d$  – частота дискретизации,  $n$  – разрядность счетчика (аккумулятора фазы).

Задавшись  $f_d = 80 \text{ МГц}$  и используя (2), определим необходимую разрядность аккумулятора фазы для обеспечения высокоточного синтеза частоты при имитации и обработке шумоподобного сигнала:

$$\Delta f_{\min} = F_{д \min} = \frac{f_d}{2^n}, \text{ откуда}$$

$$n = \log_2 \left( \frac{f_d}{F_{д \min}} \right) = \log_2 \left( \frac{80 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^{-5}} \right) \approx 42. \quad (3)$$

Как видно из (3), несмотря на достаточно высокие наложенные требования на точность синтеза, обусловленные малыми значениями доплеровского сдвига частоты,

необходимый аккумулятор фазы может быть реализован при сравнительно невысокой частоте дискретизации. Кроме того, при реализации на программируемых логических интегральных схемах фирмы Xilinx необходимая разрядность аккумулятора фазы ( $n = 42$ ) может быть доведена до  $n = 48$  и более. Специализированное программное обеспечение для разработки устройств на основе FPGA-технологии (Xilinx System Generator for DSP и ISE Foundation) содержит стандартные инструменты для синтеза частоты (IP-ядра). Однако точности синтеза для оговоренных условий не превышают значений  $\Delta f_{\min} \leq 1 \cdot 10^{-3} \text{ Гц}$ , что недостаточно для решения поставленной задачи.

С использованием стандартных элементов библиотеки Xilinx System Generator for DSP разработан программный модуль высокоточного цифрового синтеза сигналов при  $f_d \approx 80 \text{ МГц}$  и  $n = 48$ . Разработанный модуль экспериментально проверен с использованием отладочного средства XtremeDSP Development Kit-IV содержащего FPGA Virtex4 xc4vsx35-10ff668, ЦАП AD9772a и перестраиваемый ФНЧ. При проведении проверок формировались гармонические сигналы и шумоподобные сигналы перспективной радионавигационной системы.

Выводы:

1. Обоснованы требования к точности цифрового синтеза частоты для задач имитации и обработки шумоподобного сигнала перспективной радионавигационной системы. Для рассматриваемой задачи точность синтеза частоты должна быть не хуже  $\Delta f_{\min} \leq 2 \cdot 10^{-5} \text{ Гц}$ .
2. Определены минимальные требования к разрядности аккумулятора фазы цифрового синтезатора. Для обеспечения указанной в п. 1 точности синтеза частоты при частоте дискретизации  $f_d \approx 80 \text{ МГц}$  необходим аккумулятор фазы с разрядностью  $n \geq 42$ .
3. Средствами Xilinx System Generator for DSP разработан и экспериментально проверен программный модуль реализующий алгоритм прямого цифрового синтеза частоты при  $f_d \approx 80 \text{ МГц}$  и  $n = 48$  (потенциальная точность синтеза  $\Delta f_{\min} \approx 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ Гц}$ ). Разработанный программный модуль используется при проведении работ по модернизации перспективной радионавигационной системы с шумоподобным сигналом.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта, выделенного на выполнение поисковых научно-исследовательских работ в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (Государственный контракт от 31.10.2011г. №16.740.11.0764).

#### Библиографический список

1. Kuzmin E.V. Comparative Analysis of Phase-lock Control System Algorithms for Spread-spectrum Signal Receiver / Е.В. Кузьмин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». – Т.4. – №1. – 2011. – С.35–39. Режим доступа: [http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/2276/1/04\\_Kuzmin.pdf](http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/2276/1/04_Kuzmin.pdf).
2. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Ю.Г. Сосулин // учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
3. Ридико Л.И. DDS: прямой цифровой синтез частоты / Л.И. Ридико // Компоненты и технологии. – №7. – 2001. Режим доступа: [http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2001\\_07\\_50.pdf](http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2001_07_50.pdf)