

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цветков Э.И. Основы математической метрологии. СПб: Политехника, 2005. 510 с.
2. Saltelli A., Tarantola S., Chan K. A quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output // *Technometrics*. 1999. Vol. 41, N 1. P. 39—56.
3. Knyazkov K.V. et al. CLAVIRE: e-Science Infrastructure for Data-driven Computing // *J. of Computational Science*. 2012. Vol. 3(6). P. 504—510.
4. Ivanov S.V. et al. Simulation-based collaborative decision support for surge floods prevention in St. Petersburg // *J. of Computational Sci.* 2012. Vol. 3(6). P. 450—455.

**Сведения об авторах****Сергей Владимирович Иванов**

— канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Научно-исследовательский институт Научно-исследовательских компьютерных технологий; E-mail: sergei.v.ivanov@gmail.com

**Александр Валерьевич Бухановский**

— д-р техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Научно-исследовательский институт Научно-исследовательских компьютерных технологий; директор НИИ НКТ; E-mail: avb\_mail@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
высокопроизводительных вычислений

Поступила в редакцию  
07.11.13 г.

УДК: 534.08+004.312+681.787

М. Ю. ПЛОТНИКОВ, И. Г. ДЕЙНЕКА

## РАЗРАБОТКА БЛОКА ГЕНЕРАЦИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СХЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИДРОФОНА

Предложен метод генерации гармонических сигналов на основе полиномов Чебышева для схемы цифровой обработки информации в волоконно-оптическом гидрофоне интерферометрического типа. Разработана и отмоделирована рабочая схема метода для программируемой логической интегральной схемы.

**Ключевые слова:** волоконно-оптический гидрофон, программируемые логические интегральные схемы, гармонические сигналы, полиномы Чебышева.

**Введение.** В волоконно-оптических датчиках интерферометрического типа существует проблема стабилизации положения рабочей точки интерферометра. С целью исключения влияния нестабильности положения рабочей точки на полезный сигнал разработано множество методов приема и демодуляции сигналов для волоконно-оптических гидрофонов [1]. Одним из распространенных методов демодуляции является пассивный гомодинный прием [2].

Согласно схеме [2], рассматриваемый метод приема сигналов предполагает использование в схеме цифровой обработки сигналов волоконно-оптического гидрофона опорного генератора гармонических сигналов.

Статья посвящена разработке стабильного высокоточного опорного генератора гармонических сигналов для цифровой схемы пассивного гомодинного приема на основе ПЛИС в волоконно-оптическом гидрофоне.

Широкое распространение ПЛИС послужило основой для появления новых методов генерации гармонических сигналов, наиболее эффективными из которых являются табличный метод генерации сигналов и метод прямого цифрового синтеза DDS [3].

Несмотря на простоту табличный метод не получил широкого распространения ввиду необходимости хранения очень большого объема данных в памяти ПЛИС [3] — на его основе невозможно создание универсального блока генерации гармонических сигналов.

Метод прямого цифрового синтеза предполагает хранение в памяти ПЛИС значений гармонического сигнала (например, косинуса) за один период, взятых не через интервалы времени, соответствующие требуемой частоте дискретизации, а через промежутки, соответствующие одинаковому изменению фазы. Этот фазовый шаг в аккумуляторе фазы [3] обычно выбирается очень малым для более точного получения требуемой частоты гармонического сигнала. Такая структура DDS имеет некоторые существенные недостатки. В реальных DDS младшие биты аккумулятора фазы отбрасываются для экономии ресурсов ПЛИС, что при преобразовании фазы гармонического сигнала в амплитуду приводит к периодической ошибке.

Для реализации опорного генератора могут потребоваться более точные методы генерации гармонических сигналов, чем метод прямого цифрового синтеза. В процессе реализации метода пассивного гомодинного приема на ПЛИС возникла задача разработки высокоточного стабильного генератора гармонических сигналов, лишённого перечисленных недостатков. Для ее решения разработан алгоритм генерации сигналов на основе разложения гармонических сигналов по полиномам Чебышева.

Для корректной работы схемы пассивного гомодинного приема в генераторе гармонических сигналов должны отсутствовать ошибки, связанные с усечением значений аккумулятора фазы. Одним из путей решения этой задачи является отказ от табличного представления гармонических сигналов. Для этого необходимо вычислять как текущее значение фазы сигнала, так и его амплитуду.

Для вычисления амплитуды гармонического сигнала удобно использовать разложения гармонической функции в ряд. Так, в основу разрабатываемого метода положено разложение функции косинуса по полиномам Чебышева. Такой выбор обусловлен тем, что они обеспечивают наименьшую максимальную ошибку равномерной аппроксимации на интервале  $-1 < x < 1$  [4].

Применение полиномов Чебышева позволяет использовать старший член аппроксимирующего полинома наименьшей степени, что приводит к уменьшению времени вычислений и затрачиваемых ресурсов ПЛИС.

Для пояснения сути метода рассмотрим однополупериодный одиночный косинусоидальный импульс:

$$f(t) = \cos(2\pi vt), \quad (1)$$

где  $-\frac{T}{4} \leq t \leq \frac{T}{4}$ .

Введя переменную  $x = \frac{4t}{T}$ , получим

$$f(x) = \cos\left(\frac{\pi}{2}x\right), \quad (2)$$

где  $-1 \leq x \leq 1$ . Разложение функции  $f(x)$  по полиномам Чебышева на промежутке  $-1 \leq x \leq 1$  можно представить как [4]:

$$f(x) = C_0T_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_nT_n(x), \quad (3)$$

$$C_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{f(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx, \quad C_n = \frac{2}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{f(x)T_n(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx, \quad (4)$$

Для полиномов Чебышева известно следующее соотношение [5]:

$$\int_0^1 T_{2k}(x) \cos(ax) \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = (-1)^k \frac{\pi}{2} J_{2k}(a), \quad (5)$$

в котором  $J_{2k}(a)$  — функция Бесселя первого рода.

Тогда с учетом (5) можно рассчитать коэффициенты разложения (4) для выражения (3) с учетом четности функции (2).

В результате получим

$$f(x) = J_0\left(\frac{\pi}{2}\right)T_0(x) + \sum_{n=1}^n (-1)^n 2J_{2n}\left(\frac{\pi}{2}\right)T_{2n}(x), \quad (6)$$

где  $T_{2n}(x)$  являются полиномами Чебышева первого рода [5].

Таким образом, из (6) можно получить выражения для аппроксимации функции (2) с различной точностью:

$$f_1(x) = J_0\left(\frac{\pi}{2}\right)T_0(x) - 2J_2\left(\frac{\pi}{2}\right)T_2(x), \quad (7)$$

$$f_2(x) = J_0\left(\frac{\pi}{2}\right)T_0(x) - 2J_2\left(\frac{\pi}{2}\right)T_2(x) + 2J_4\left(\frac{\pi}{2}\right)T_4(x). \quad (8)$$

На рис. 1 представлен график абсолютной погрешности  $\Delta n$  вычисления значений функции (2) для выражения (8). На его основе можно сделать вывод о том, что для разложения функции косинуса с  $\Delta n < 10^{-3}$  (или относительной погрешностью менее 0,1 %) достаточно использовать три члена разложения (6).

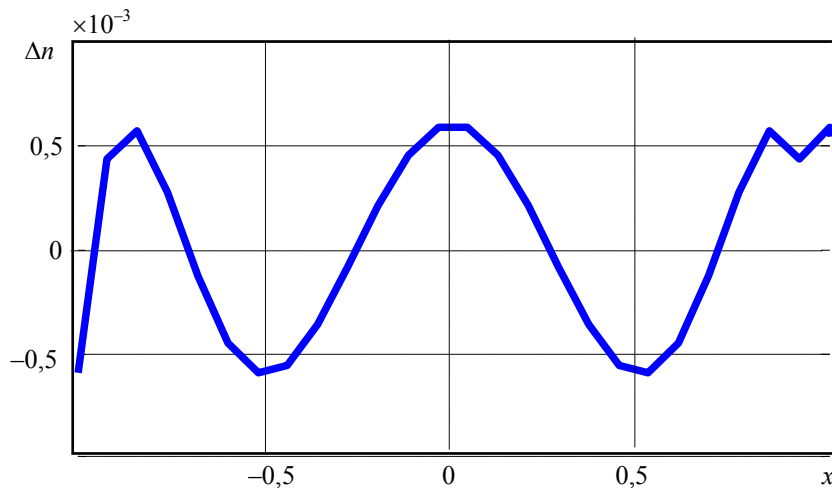


Рис. 1

Использование выражения (8) позволяет получить значения косинуса на промежутке  $-1 \leq x \leq 1$  ввиду периодичности функции косинуса. Выражение (8) может быть использовано для генерации гармонического сигнала косинуса.

На рис. 2 представлены результаты функционального моделирования схемы генератора гармонических сигналов на основе полиномов Чебышева, выполненного в программе верификации логических схем iSim среды разработки ISE Xilinx Design Suite 13.4 [6].

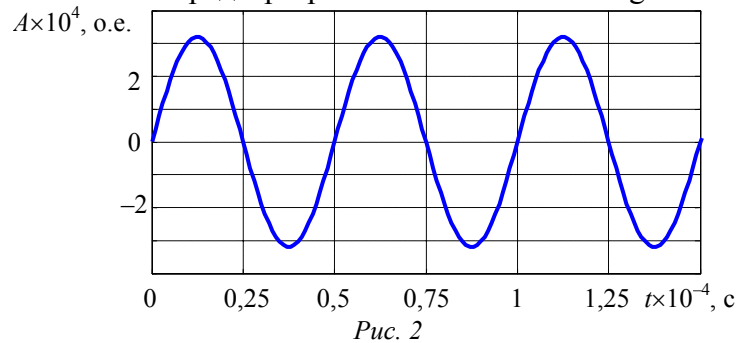


Рис. 2

График косинуса с амплитудой  $A$  и частотой 20 кГц подтверждает работоспособность предложенного алгоритма генерации гармонических сигналов на основе полиномов Чебышева и правильность построения схемы генерации гармонических сигналов на ПЛИС.

Таким образом, представлены метод генерации гармонических сигналов и его программная реализация на ПЛИС. Преимуществами предложенного метода являются возможность вычисления значений гармонического сигнала с высокой точностью, отсутствие ошибок, связанных с конечными размерами аккумулятора фазы, а также устранение необходимости хранения в памяти ПЛИС значений фазы или отсчетов гармонических сигналов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yin Sh., Ruffin P. B., Yu F. T. S. Fiber Optic Sensors. Pennsylvania State University: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. 477 p.
2. Варжель С. В., Стригалева В. Е. Метод устранения влияния сигнала помехи на чувствительность приема гидроакустической антенны на основе волоконных брэгговских решеток // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2010. Вып. 5(69). С. 5—8.
3. Ридико Л. DDS: прямой цифровой синтез частоты // Компоненты и технологии. 2001. № 7. С. 50—54.
4. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Сов. радио, 1977. 608 с.
5. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов сумм рядов и произведений. М.: Физматгиз, 1963. 1100 с.
6. Тарасов И. Е. Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx с применением языка VHDL. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 252 с.

#### Сведения об авторах

**Михаил Юрьевич Плотников**

— аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра физики и техники оптической связи; инженер-исследователь; E-mail: plotnikov-michael@yandex.ru

**Иван Геннадьевич Дейнека**

— аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра физики и техники оптической связи; младший научный сотрудник; E-mail: vanoDNK@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
физики и техники оптической связи

Поступила в редакцию  
13.05.13 г.