

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ ЧАСТОТЫ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LABVIEW

Е.А.Зайцев, канд.техн.наук
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина,
e-mail:zaitsev@i.ua

Рассмотрена имитационная модель блока синтезатора частоты для лазерной частотно-фазовой измерительной системы с использованием программного пакета LabView компании National Instruments. Показано, что в современных рассматриваемых устройствах напряжение лазерного излучателя формируется с помощью цифрового синтезатора частоты, а информативные параметры системы определяются в результате перемножения напряжений исследуемого сигнала и гетеродина с последующей цифровой обработкой на основе преобразований Фурье и Гильберта. Предложена структурная схема блока синтезатора частоты на основе интегральной микросхемы AD9851, удовлетворяющая повышенным требованиям к таким устройствам по диапазону и точности установки синтезируемой частоты. Приведена структура и основные модули разработанной программы. Разработан макетный образец на основе предложенной структурной схемы. Приведены результаты экспериментальных исследований модели и макета синтезатора частоты. Библ. 10, рис. 4.

Ключевые слова: лазер, фаза, частотная модуляция, гетеродин, синтезатор частоты, расстояние.

Частотно-фазовые информационно-измерительные системы (далее ЧФ ИИС) предназначены для бесконтактного определения расстояний и линейных перемещений на расстоянии до 30 м с разрешающей способностью до 0,1 мм. Как показано в [3], технические и метрологические характеристики ЧФ ИИС во многом зависят от технических характеристик источников генерируемых колебаний (гетеродинов). Использование в качестве гетеродинов современных цифровых синтезаторов позволяет одновременно обеспечить уменьшение погрешности и увеличение быстродействия ЧФ ИИС по сравнению с системами, построенными на гетеродинах, конструктивно разработанных еще в 80-х годах. Последние имеют ряд недостатков: малый диапазон перестройки выходных частот, высокую стоимость, большие габариты, что неприемлемо при использовании в современной технике. С учетом вышесказанного, возникает необходимость создания малогабаритного синтезатора частот (далее МСЧ) для ЧФ ИИС. Для реализации лабораторного образца МСЧ, который удовлетворяет требованиям, предъявляемым к синтезаторам ЧФ ИИС, целесообразно использование имитационной модели, позволяющей точно и относительно быстро оценить параметры оборудования и полуфабрикаты для будущего изделия до начала производства [5].

Целью работы является исследование и оценка погрешности воспроизведения значения частоты выходного сигнала МСЧ. Для достижения поставленной цели были проведены разработка и описание имитационной модели МСЧ с учетом особенностей функционирования используемого синтезатора частоты и алгоритма работы ЧФ ИИС в среде графического программирования LabView [4] с последующей реализацией лабораторного образца МСЧ.

Структурная схема ЧФ ИИС детально рассмотрена в [2] и работает следующим образом. Модулированное по интенсивности лазерное излучение полупроводникового излучателя направляется на контролируемый объект (далее КО). Сигнал с частотой модуляции f_M , подаваемый на вход излучателя, формируется с помощью МСЧ, которая управляется цифровым кодом. Как показано в [2] на выходе МСЧ формируется сигнал по циклически возрастающему ступенчатому закону с заданной частотой модуляции f_M в диапазоне 22...90 МГц. При этом текущее значение частоты модуляции $f_M(j)$ можно представить в виде

$$f_M(j) = f_0 + \Delta f \cdot j, \quad (1)$$

где f_0 – начальное значение частоты модуляции, $f_0 = 22$ МГц; Δf – шаг перестройки частоты модуляции; j – номер шага перестройки частоты f_M , целое число, $j = 1..200$ [2]. Отраженный от КО сиг-

нал принимается фотоприемником. Информативный сигнал определяется в результате перемножения напряжений отраженного сигнала и опорного, который формируется также с помощью МСЧ. Полученный сигнал подается на фазовый детектор. Выходной сигнал фазового детектора состоит из значений фазовых сдвигов, изменяющихся по закону зондирующего сигнала. При этом значение фазового сдвига на j -ой частоте f_M определяется

$$\varphi_k(j) \approx 2\pi L/\lambda_s(j) = 4\pi L \cdot (f_M(j) + \delta_M)/c, \quad (2)$$

где L – измеряемое расстояние; $\lambda_s(j) = c/2f_M$ – длина волны модулирующего напряжения f_M ; c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; δ_M – погрешность, вызванная величиной отстройки МСЧ или неточностью формирования частоты на выходе МСЧ. Сигнал с выхода фазового детектора подается на вход АЦП, выходной код которого пересылается в ПК. Сформированный в результате пересылки пакет данных используется вычислительными программами для проведения цифрового анализа на основе преобразований Гильберта и Фурье [2], в результате которого находится измеряемое расстояние.

Исходя из принципа работы ЧФ ИИС, к устройствам МСЧ, входящим в их состав, предъявляются жесткие требования по быстродействию, точности и диапазону перестройки частоты выходного сигнала синтезатора. Исходя из ранее проведенных проектных работ [3,9], для построения МСЧ целесообразно использование AD9851 [8] с шагом перестройки по частоте менее 0,04 Гц, время перестройки не более 10 нс и диапазоном синтезируемых частот от 5 МГц до 90 МГц. Поэтому параметры AD9851 обеспечивают необходимое быстродействие и диапазон перестройки выходной частоты МСЧ. Также важным фактором, влияющим на точность измерения информативного параметра ЧФ ИИС, а, следовательно, и расстояния, является погрешность δ_M , вызванная неточностью формирования частоты МСЧ. Как указано в [1], погрешность задания частоты $\pm 2\%$ приводит к погрешности измерения 2 мм.

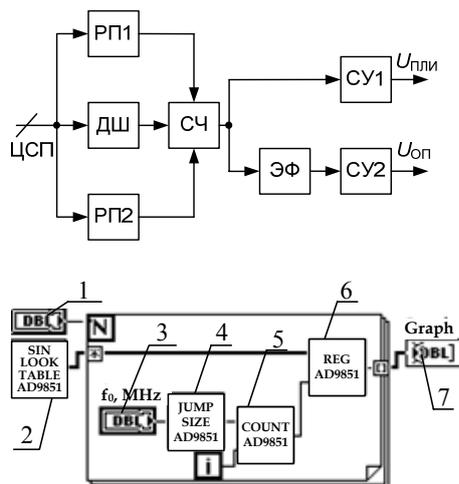


Рис. 1, а, б

Для оценки погрешности δ_M рассмотрим алгоритм работы и структурную схему разработанной МСЧ (рис. 1, а), на которой обозначено: РП1, РП2 – регистры памяти; ДШ – дешифратор; СЧ – синтезатор частоты; ЭФ – эллиптический фильтр; СУ1, СУ2 – согласующие устройства; ЦСП – цифровой сигнальный процессор. МСЧ работает следующим образом: команды с ЦСП поступают на РП1, РП2 и управляющий ДШ, который преобразует эти команды в эквивалентный код управления РП и СЧ. Далее команды записываются в РП и в определенной последовательности переписываются в СЧ [10]. После цикла записи данных в СЧ на его выходе непрерывно формируется сигнал $U_{оп}$, соответствующий синусоиде с заданной частотой. Для сглаживания эффектов, связанных с квантованием, на одном из выходов СЧ стоит ЭФ, параметры которого выбраны согласно [10]. На другом выходе СЧ формируется сигнал $U_{пли}$ с помощью встроенного компаратора в AD9851, на вход которого подается сигнал $U_{оп}$ с выхода СЧ. Для согласования уровней сигналов со следующими блоками структуры ЧФ ИИС используются СУ1, СУ2.

Основным элементом, который определяет точность выходных сигналов МСЧ, а, следовательно, и значение погрешности δ_M , является СЧ. Оценку δ_M произведем путем построения имитационной модели СЧ с учетом особенностей работы AD9851. Алгоритм синтеза частоты AD9851 основывается на методе прямого цифрового синтеза (DDS) и подробно описан в [6,7].

Имитационная модель СЧ выполнена в среде графического программирования NI LabView [7] с помощью специальных модулей, входящих в ее состав, а также простейших арифметических операций. Программный код модели СЧ представлен на рис. 1, б, на котором обозначено: 1 – блок задания количества тактов построения сигнала $U_{оп}$; 2 – таблица значений синусов, составленная с 32 битной разрядностью; 3 – задание частоты сигнала $U_{оп}$; 4 – блок вычисления шага перестройки накапливающего сумматора; 5 – накапливающий сумматор; 6 – регистр хранения текущего значения синтезируемого сигнала; 7 – блок индикации сигнала $U_{оп}$ заданной частоты.

На рис. 2 показаны осциллограммы сигнала (рис. 2, а) и его амплитудного спектра (рис. 2, б) для частоты 24 МГц, полученные при использовании имитационной модели СЧ.

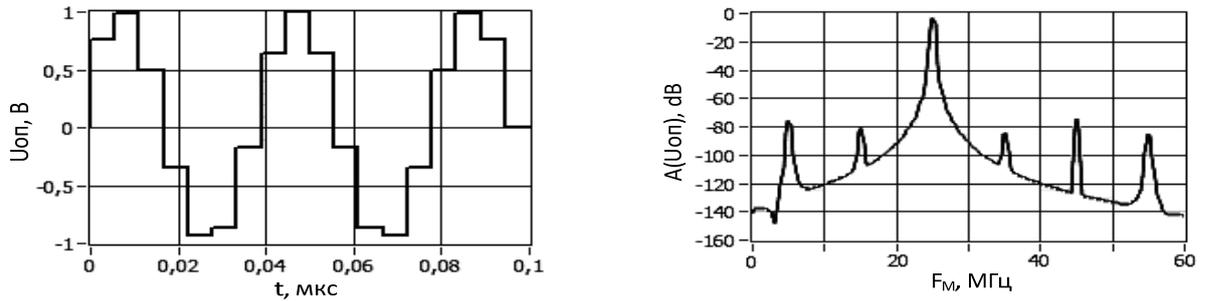


Рис. 2, а, б

Исследование спектров сигналов на рабочих частотах с использованием имитационной модели показало необходимость применения на выходе СЧ фильтра. В [10] предложено применение эллиптического фильтра седьмого порядка, который позволит уменьшить влияние на выходной сигнал СЧ ярко выраженных побочных спектральных составляющих, кратных основной гармонике синтезируемого сигнала, а также уменьшить шумы квантования.

На основании результатов исследований имитационной модели СЧ и разработанного алгоритма работы и схемы МСЧ был реализован лабораторный образец МСЧ. На рис. 3 показаны экспериментально полученные осциллограммы выходного сигнала с макета платы МСЧ (на примере частоты 24 МГц), снятые при помощи цифрового осциллографа Tektronix TDS2014С, для временного отображения сигнала (рис. 3, а) и его спектра без использования ЭФ (рис. 3, б) и с использованием ЭФ (рис. 3, в, г).

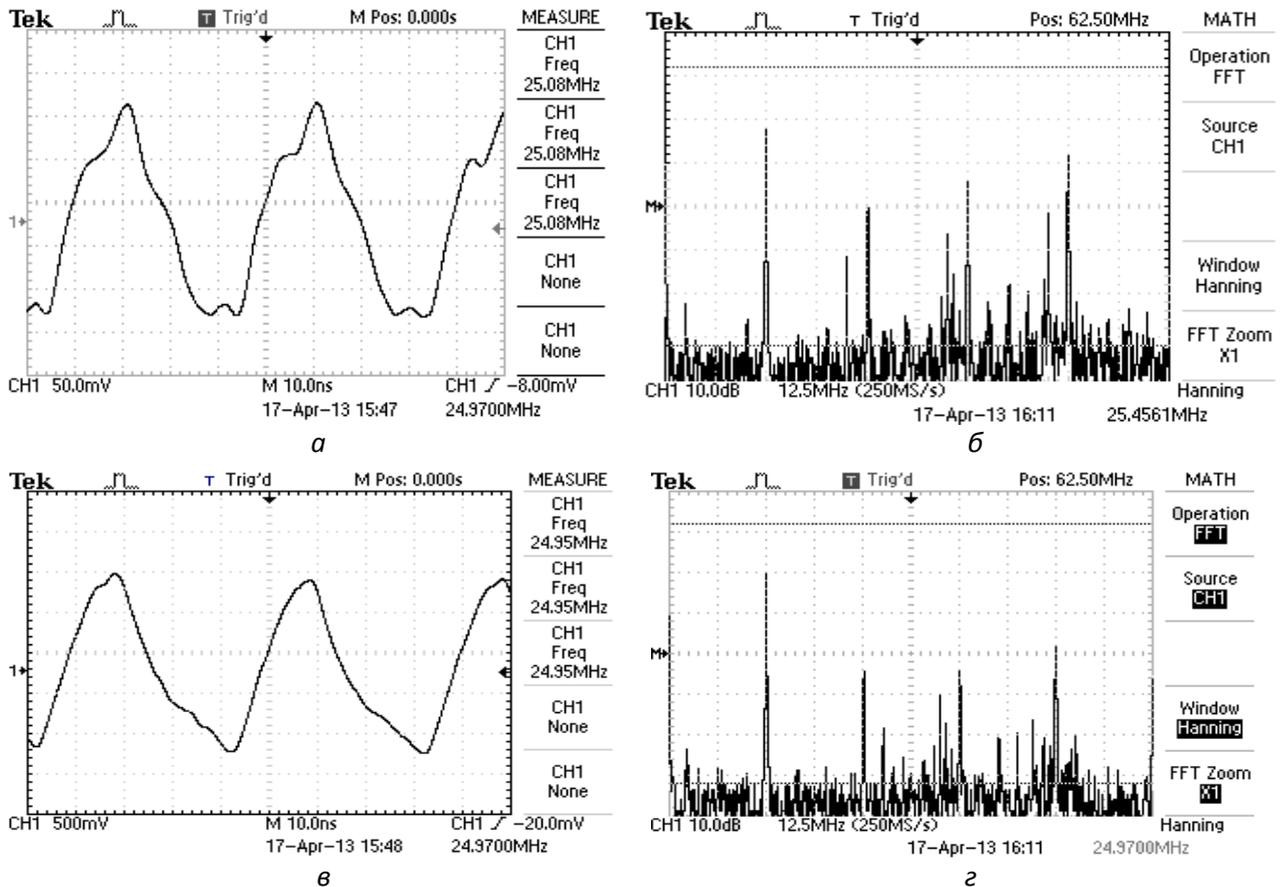


Рис. 3

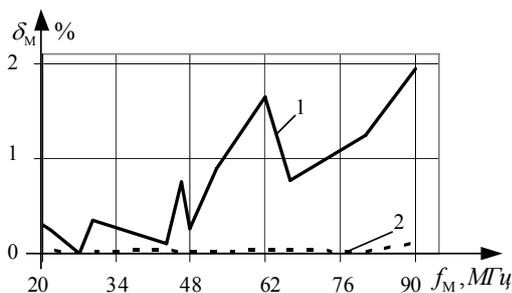


Рис. 4

выяснено, что дополнительное обогащение спектра выходного сигнала происходит за счет внутренних и внешних наводок, фазовых шумов МСЧ, а также за счет флуктуаций используемого опорного генератора по сравнению с результатами работы имитационной модели. Полученные экспериментальные данные показывают, что применение эллиптического фильтра седьмого порядка, рекомендуемого в [10], не дает желаемого результата по подавлению дополнительных спектральных составляющих, отличных от основной гармоники. Наличие дополнительных гармоник на спектрограмме (рис. 4, з) вызывает необходимость в разработке перестраиваемого частотно-избирательного фильтра взамен существующего эллиптического.

Заключение. Применение имитационной модели СЧ для лазерной дальномерной ЧФ ИИС, позволило осуществить оценку потенциальных возможностей МСЧ, а также реализовать ее лабораторный образец. В результате исследований имитационной модели и лабораторного образца МСЧ была построена зависимость погрешности, которая определяет значение погрешности формирования частоты сигнала на выходе МСЧ. Среднее значение погрешности для лабораторного образца не превышает 1%. Погрешность определялась с учетом особенностей алгоритма функционирования рассматриваемой ЧФ ИИС для диапазона рабочих частот модуляции без использования фильтра на выходе СЧ. Результаты экспериментальных исследований МСЧ подтвердили достоверность используемых теоретических положений при разработке имитационной модели СЧ. Разработанная имитационная модель СЧ может быть использована для дальнейших исследований ЧФ ИИС.

1. Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д., Латенко В.И., Орнатский И.А. Специфические погрешности фазово-частотных лазерных измерителей расстояния // Технічна електродинаміка. – 2009. – № 3. – С. 50–54.

2. Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д. Частотно-фазовые лазерные измерители перемещений и вибраций с оптической калибровкой // Технічна електродинаміка. – 2011. – №6. – С. 71–77.

3. Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Латенко В.И., Орнатский И.А., Логвиненко И.В. Динамические свойства частотно-фазовых лазерных дальномерных систем с цифровыми синтезаторами частоты // Технічна електродинаміка. – 2013. – №3. – С. 87–92.

4. Загидулин Р.Ш. LabView в исследованиях и разработках. – М.: Горячая линия "Телеком", 2005. – 352 с.

5. Лоу Аверилл М., В. Кельтон Дэвид. Имитационное моделирование. – Санкт-Петербург: Питер ВHV, 2004. – 848 с.

6. Ридико Л.И. DDS: прямой цифровой синтез частоты // Компоненты и технологии. – 2001. – № 7. – С. 50–54.

7. Грэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 880 с.

8. http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/450968421DDS_Tutorial_rev12-2-99.pdf – A technical tutorial on digital signal synthesis

9. Borodii V., Zaitsev E. FMCW laser range finder systems with DDS AD9851 // IX International Students Conference 2012 "Innovations in Science and Technology". – 2012. – Vol.2. – 104 p.

10. <http://www.analog.com/ru/rfif-components/direct-digital-synthesis-dds/ad9851/products/product.html>

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ ВСТАНОВЛЕННЯ ЧАСТОТИ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТНО-ФАЗОВОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ LABVIEW

Є.О.Зайцев, канд.техн.наук

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

e-mail:zaitsev@i.ua

Розглянуто імітаційну модель блоку синтезатора частоти для лазерної частотно-фазової вимірювальної системи з використанням програмного пакету LabView компанії National Instruments. Показано, що в розглянутих пристроях напруга лазерного випромінювача формується за допомогою цифрового синтезатора частоти, а інформативні параметри системи визначаються в результаті перемноження напруг досліджуваного сигналу і гетеродина з подальшою цифровою обробкою на основі перетворень Фур'є і Гільберта. Запропоновано структурну схему блоку синтезатора частоти на основі інтегральної мікросхеми AD9851, що задовольняє підвищені вимоги по діапазону та точності встановлення частоти. Наведено структуру і основні модулі розробленої програми. Розроблено макетний зразок на основі запропонованої структурної схеми. Наведено результати експериментальних досліджень моделі та макета синтезатора частоти. Бібл. 10, рис. 4.

Ключові слова: лазер, частотна модуляція, відстань, гетеродин, похибка.

A STUDY OF SYNTHESIZERS FOR MULTI FREQUENCY PHASE RANGE FINDER SYSTEM WITH USING LABVIEW

E.O.Zaitsev

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine,

e-mail:zaitsev@i.ua

This paper is devoted to software realization in NI LabVIEW frequency synthesizer for multi frequency phase measurement system of the measurement distances and linear motion of technical objects. It is shown that in these devices, laser voltage is generated by a digital frequency synthesizer, and informative parameters of the system are determined as a result of multiplying the voltage of the signal and local oscillator with subsequent digital processing based on the Fourier and Hilbert transform. A block diagram of a frequency synthesizer based on an integrated circuit AD9851. The structure and main modules of developed software is represented in the article. Developed prototype based on the proposed block diagram. The results of experimental investigations of the model and the layout of the frequency synthesizer. References 10, figures 4.

Key words: Laser, frequency modulation, distance, heterodyne, error.

1. Zaitsev E.A., Kononenko A.G., Masiurenko Yu.A., Nizhenskii A.D., Latenko V.I., Ornatskii I.A. Specific errors of phase-frequency laser distance meters // Tekhnichna elektrodynamika. – 2009. – № 3. – Pp. 50–54. (Rus)
2. Braginets I.A., Zaitsev E.A., Kononenko A.G., Masiurenko Yu.A., Nizhenskii A.D. The laser frequency-phase displacement and vibration controllers with optical calibration // Tekhnichna elektrodynamika. – 2011. – № 6. – Pp. 71–77. (Rus)
3. Braginets I.A., Zaitsev E.A., Latenko V.I., Ornatskyi I.A., Logvinenko I.V. Dynamic properties of frequency-phase laser range finder systems with digital frequency synthesizers // Tekhnichna elektrodynamika. – 2013. – № 3. – Pp. 87–92. (Rus)
4. Zagidulin R.Sh. LabVIEW in research and development. – Moskva: Goriachaia Liniia, 2005. – 352 p. (Rus)
5. Law M. Averill, Kelton W. David. Simulation modeling and analysis. – Sankt-Petersburg: Piter BHV, 2004. – 848 p. (Rus)
6. Ridiko L.I. DDS: direct digital frequency synthesis // Komponenty i Tekhnologii. – 2001. – № 7. – Pp. 50–54. (Rus)
7. Travis J., Kring J. LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun. – Moskva: DMK Press, 2010. – 880 p. (Rus)
8. http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/450968421DDS_Tutorial_rev12-2-99.pdf – A technical tutorial on digital signal synthesis.
9. Borodii V., Zaitsev E. FMCW laser range finder systems with DDS AD9851 // IX International Students Conference 2012 “Innovations in Science and Technology”. – 2012. – Vol.2. – 104 p.
10. http://www.analog.com/ru/rfif-components/direct-digital-synthesis-dds/ad9851/products/_product.html – Manual AD9851. Manual AD9851 180 MHz Complete DDS synthesizer Reference Manual.

Надійшла 04.09.2014

Остаточний варіант 23.10.2014