

Коррекция частоты и фазы с использованием прямого цифрового синтеза для формирования однополосного сигнала с заданным спектральным сдвигом

© Б. Ф. Бабайкин¹, П. В. Белянкин¹, Е. Т. Жуков²,
Н. А. Степанова¹, Д. В. Филиппов³

¹ООО «Навигация-Сервис», г. Санкт-Петербург, Россия

²ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

³АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург, Россия

Предложены способ и устройство для коррекции частоты и фазы сигнала с использованием прямого цифрового синтеза дополнительного сигнала для формирования однополосного сигнала с заданным спектральным сдвигом с помощью двух балансных смесителей.

Описаны принципы построения и математические соотношения для данного устройства. Разработан, изготовлен и испытан с помощью частотного компаратора экспериментальный образец этого устройства.

Испытания показали работоспособность данного устройства и его применимость для коррекции частоты и фазы проходящего сигнала.

Ключевые слова: коррекция частоты и фазы, опорный генератор, однополосный сигнал, прямой цифровой синтез, частотный компаратор.

Введение

При построении групповых стандартов частоты и времени необходима коррекция частоты и фазы сигналов генераторов, входящих в группу, обычно в пределах $1..5 \times 10^{-10}$ с шагом 1×10^{-15} [1]. Она необходима также для одиночного опорного генератора (ОГ). Она должна осуществляться в проходящем сигнале отдельным устройством. Разработка высокоточных устройств коррекции частоты и фазы ОГ является актуальной научно-технической задачей.

В настоящее время для построения устройств коррекции частоты и фазы можно использовать метод прямого цифрового синтеза — direct digital synthesis (DDS), позволяющий синтезировать сигнал с заданной частотой и фазой с высокой точностью. Наилучшим образом характеристики такого устройства с DDS могут быть реализованы при синтезе сигнала с малой частотой, который затем подаётся на аналоговый смеситель и сдвигает исходную частоту на заданное значение. Управляемым фазовым сдвигом этого сигнала можно осуществить также сдвиг фазы выходного сигнала.

Принципы построения устройства коррекции частоты и фазы

Сдвиг частоты (перенос спектра) эквивалентен получению одной боковой полосы в модуляторах однополосного (SSB) сигнала, известных в устройствах радиосвязи. Известны два метода получения однополосного сигнала: фильтровый и фазовый [2]. При смещении частоты на крайне малые значения фильтровый метод не применим, поскольку не существует фильтров, обеспечивающих селекцию на малых отстройках.

Фазовый метод получения однополосного сигнала [2] может быть использован для смещения спектра выходного сигнала с любыми сколь угодно малыми отстройками. Структурная схема устройства коррекции частоты и фазы, реализующего фазовый метод формирования однополосного сигнала с использованием DDS представлена на рис. 1.

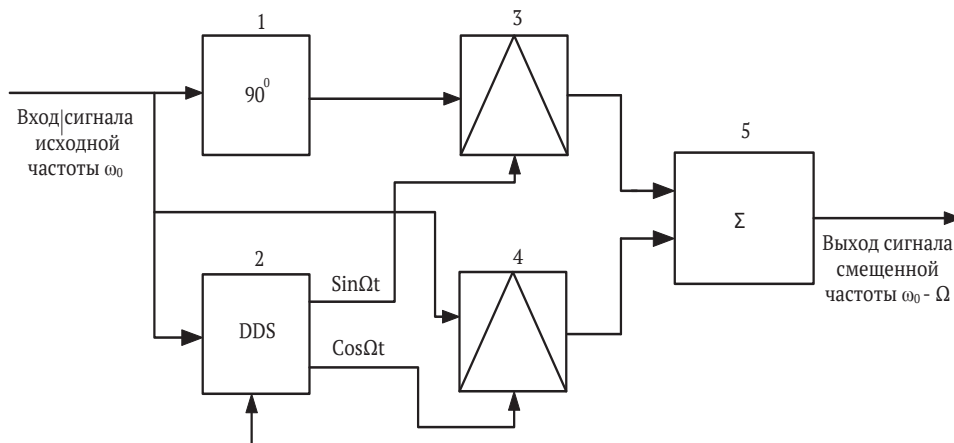


Рис. 1. Структурная схема устройства коррекции частоты и фазы

Входной сигнал с исходной частотой ω_0 , подаётся на вход смесителя 4 непосредственно, а на вход смесителя 3 после фазового сдвига в фазовращателе 1 на 90 градусов. На выходе синтезатора DDS 2 формируются квадратурные синусоидальные сигналы с частотой Ω , равной необходимому значению сдвига частоты. На выходе каждого из двух балансных модуляторов 3 и 4 получаем ток, определяемый произведением их входных напряжений:

$$i_4 = kU_{m\Omega}U_m \cos \Omega t \cos \omega_0 t = \frac{kU_{m\Omega}U_m}{2} [\cos(\omega_0 - \Omega)t + \cos(\omega_0 + \Omega)t]$$

$$i_3 = kU_{m\Omega}U_m \cos \left(\Omega t + \frac{\pi}{2} \right) \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{kU_{m\Omega}U_m}{2} \{ \cos(\omega_0 - \Omega)t + \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \pi] \}.$$

После суммирования получаем ток с частотой, смещенной относительно исходной: $i_3 + i_4 = kU_{m\Omega}U_m \cos(\omega_0 - \Omega)t$.

Экспериментальные исследования

Изготовлен экспериментальный образец предложенного устройства коррекции частоты и фазы с использованием для балансных модуляторов отечественной микросхемы 526ПС1, а в качестве синтезатора DDS — генератора сигналов DG1022A компании RIGOL Technologies, Inc (КНР), имеющего два выхода, способных выдавать биполярные квадратурные синусоидальные сигналы в диапазоне $10^{-6} \dots 2 \times 10^6$ Гц. Собран стенд для испытания устройства. В качестве ОГ использован кварцевый генератор «Гиацинт-М» на 5 МГц.

Структурная схема стенда для испытания устройства коррекции частоты и фазы приведена на рис. 2.

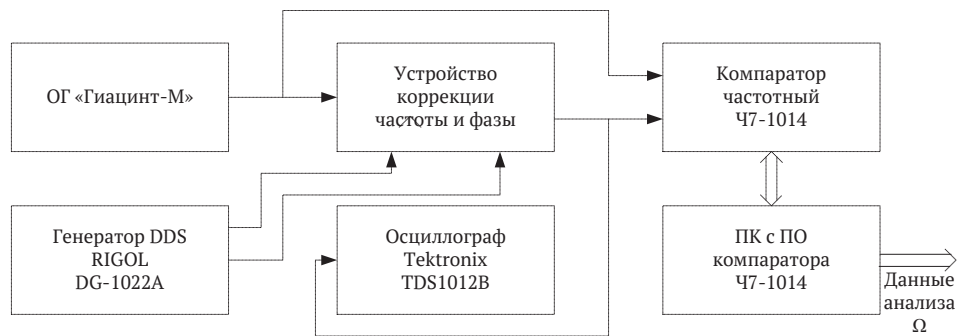


Рис. 2. Схема стенда для испытания устройства коррекции частоты и фазы

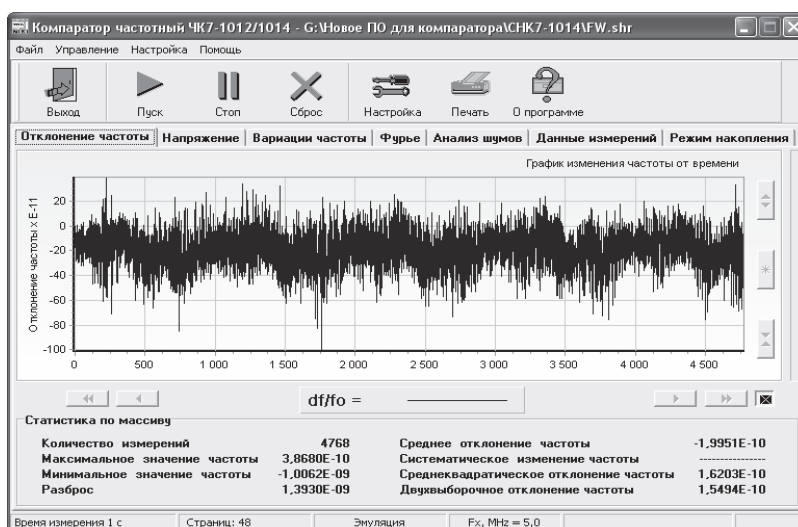


Рис. 3. Результаты измерений коррекции частоты сигнала

Полученные при испытании устройства экспериментальные данные подтвердили правильность технических решений. На рис. 3 представлены результаты анализа коррекции частоты сигнала, полученные на мониторе ПК.

Измерения выполнены с помощью частотного компаратора Ч7-1014, (ЗАО «Рукнар», Нижний Новгород), предназначенного для определения относительной разности частот прецизионных генераторов. Его погрешность составляет 1×10^{-13} за 1000 с.

Задавалось относительное отклонение частоты 2×10^{-10} , т. е. 0.001 Гц (период 1000 с). При этом среднее отклонение частоты, измеренное на интервале 80 минут (4800 секунд) составило 1.9951×10^{-10} , что подтверждает работоспособность предложенного устройства коррекции частоты и фазы.

Заключение

Предложенные способ и устройств коррекции частоты и фазы проходящего сигнала являются новыми эффективными техническими решениями для аппаратной реализации групповых стандартов частоты и времени и построения систем и комплексов частотно-временной аппаратуры различного назначения. Они обеспечивают простоту, компактность и экономичность технической реализации коррекции частоты и фазы сигнала ОГ с высокой точностью.

Литература

1. Базаров Е. Н., Демидов Н. А., Жуков Е. Т. и др. Кварцевые и квантовые меры частоты. / Под ред. Б. И. Макаренко. — МО СССР, 1989. — 536 с.
2. Айзинов М. М. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: «Транспорт», 1966. — 511 с.

Frequency and Phase Correction Using the Direct Digital Synthesis to Produce a Single-Sideband Signal with a Given Spectral Offset

**B. F. Babaykin, P. V. Beliankin, E. T. Zhukov, N. A. Stepanova,
D. V. Filippov**

A method and a device are proposed to correct frequency and phase of a transmitted signal using the direct digital synthesis of an added signal to produce a single-sideband (SSB) signal with a given spectral offset by two balanced mixers. Basic principles and mathematical relations for the device are described. An experimental unit of this device has been developed, mounted and tested by the frequency comparator. Experimental data have demonstrated normal operation of this device and its applicability to correct frequency and phase of the transmitted signal.

Keywords: correcting frequency and phase, reference signal, single-sideband signal, direct digital synthesis, frequency comparator.