

Цифроаналоговый синтезатор частотно-модулированных сигналов для решения задач радиолокации

И.В. Рябов, Е.С. Ключев

Поволжский Государственный Технологический Университет, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3, RyabovIV@volgatech.net.

Описаны принципы построения и структурно-схемотехнические решения цифроаналоговых синтезаторов с петлей фазовой автоподстройки частоты, построенных на основе метода косвенного аналогового синтеза. Исследуются методы формирования сложных широкополосных сигналов, а также структура цифроаналоговых синтезаторов частот с фазовой автоподстройкой частоты. Представлены структурная схема и спектрограммы выходных сигналов цифроаналогового синтезатора, позволяющего синтезировать сигналы с частотной модуляцией в диапазоне частот до 10 ГГц.

Paper presents principles of construction and structural-circuit design solutions of digital analog synthesizer with a phase locked loop that are based on the indirect method of analog synthesis. Research focused on the methods of formation of complex wideband signals, as well as structure of phase-locked loop analog frequency synthesizer. Presented structural scheme and spectrograms of output signals of the digital analog synthesizer to synthesize signals with frequency modulation in the frequency range up to 10 GHz, which can be used in modern radars.

Повышение требований к качеству радиотехнических систем связи, радиолокации и навигации привели к необходимости построения источников опорных колебаний с прецизионной стабильностью рабочей частоты и чрезвычайно низким уровнем амплитудных и фазовых шумов [1]. Такие параметры позволяют получить цифроаналоговые синтезаторы косвенного синтеза с петлей фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [2].

Цель работы заключается в разработке цифроаналогового синтезатора с ФАПЧ, построенного на базе косвенного аналогового синтеза, позволяющего синтезировать широкополосные частотно-модулированные сигналы для решения задач радиолокации.

Цифровой вычислительный синтезатор формирует сложный частотно-модулированный сигнал в полосе частот $\Delta F = f_1 \dots f_2$, при этом амплитуда, частота и фаза этого сигнала в любой момент времени точно определены, что дает возможность управлять параметрами выходного сигнала ЦВС при помощи цифрового интерфейса. Благодаря этому достигается высокое разрешение по частоте, экстремально быстрое переключение с частоты на частоту без фазовых разрывов. Структурная схема ЦВС на основе аккумулятора фазы представлена на рисунке 1 [3].

Опорный генератор Г формирует сигнал тактовой частоты, который служит для синхронизации работы узлов ЦВС: аккумулятора фазы и цифроаналогового преобразователя.

На вход регистра памяти поступает код начальной частоты C_i . Содержимое аккумулятора фазы с каждым тактовым импульсом $T = \Delta t$ линейно увеличивается во времени и зависит от величины кода начальной частоты C_i .

Выходной код аккумулятора фазы представляет собой код мгновенной фазы выходного сигнала, а постоянное приращение - это приращение фазы за один такт работы устройства. Чем больше значение кода C_i , тем быстрее изменяется фаза во времени, и, следовательно, больше частота генерируемого сигнала. Далее линейно нарастающий код фазы подается на вход функционального преобразователя код-синус, представляющий собой постоянное запоминающее устройство, в котором записаны значения кодов синуса. Задача ЦВС заключается в получении на выходе сигнала

синусоидальной формы с заданной частотой. Так как в ЦВС формирование выходного сигнала происходит в цифровой форме, очевидна необходимость цифроаналогового преобразователя ЦАП и фильтра нижних частот ФНЧ [3].

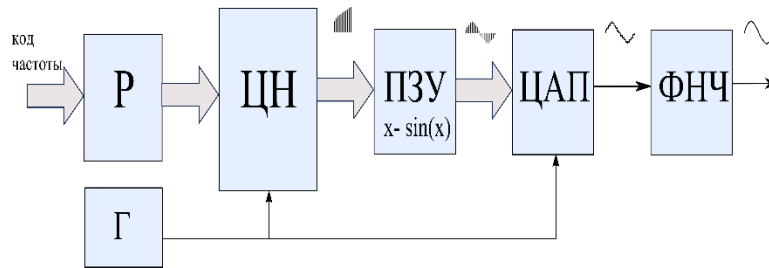


Рис. 1. Цифровой вычислительный синтезатор на основе аккумулятора фазы. Г – опорный генератор, Р – регистр памяти, ЦН – цифровой накопитель, ПЗУ – постоянное запоминающее устройство, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь, ФНЧ – фильтр нижних частот

Чтобы получить синусоидальный сигнал, на вход ЦАП подается последовательность отсчетов функции $\sin(x)$, следующих с частотой дискретизации. Отсчеты кода $\sin(x)$ с выхода ПЗУ поступают в ЦАП. Формируемый на его выходе «ступенчатый» синусоидальный сигнал подвергается фильтрации в ФНЧ, который пропускает на свой выход только первую гармонику формируемого сигнала.

Частота сигнала, синтезируемого ЦВС, определяется выражением:

$$f_{\text{вых}} = C_i \times f_m / 2^n, \quad (1)$$

где $f_{\text{вых}}$ – частота сигнала на выходе ЦВС,

f_m – тактовая частота опорного генератора,

C_i – код начальной частоты,

n – разрядность аккумулятора фазы.

Шаг перестройки частоты δf определяется формулой:

$$\delta f = f_m / 2^n. \quad (2)$$

Максимальная выходная частота синтезируемого сигнала ЦВС не может быть выше половины тактовой частоты f_m , а на практике она в 4 раза меньше [1,2].

Цифроаналоговые синтезаторы сигналов строятся на базе метода косвенного аналогового синтеза и содержат генератор, управляемый напряжением (ГУН), охваченный петлей фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [4].

Структурная схема цифроаналогового синтезатора с ФАПЧ приведена на рисунке 2.

Цифроаналоговый синтезатор (ЦАС) частотно-модулированных сигналов работает следующим образом: опорный генератор формирует синусоидальный сигнал опорной частоты f_0 , которая подается на цифровой вычислительный синтезатор, ЦВС формирует частотно-модулированный сигнал в диапазоне частот ΔF . Выход ЦВС соединен со входом второго делителя частоты, который имеет коэффициент деления, равный M .

ГУН вырабатывает синусоидальный сигнал с частотой $f_{\text{ГУН}}$, поступающий на выход ЦАС, а также на вход первого делителя частоты, который имеет коэффициент деления равный N .

Сигналы с выходов первого и второго делителей частоты поступают на соответствующие входы фазового дискриминатора 6, который формирует сигнал ошибки U_e , который через ФНЧ подается на управляющий вход ГУН [5].

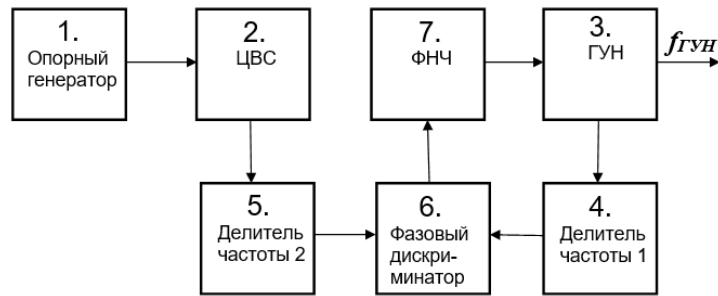


Рис. 2. Структурная схема цифроаналогового синтезатора с ФАПЧ

Когда частоты сигналов, поступающие на входы фазового дискриминатора, совпадают, происходит захват в петле ФАПЧ. Это условие можно записать в виде формулы:

$$f_{\text{ГУН}} / N = f_0 / M \quad (3)$$

При этом на выходе ГУН формируется синусоидальный сигнал, частота которого соотносится с частотой ЦВС по следующей формуле [6], [7]:

$$f_{\text{ГУН}} = f_0 \times N / M \quad (4)$$

Основные технические параметры ЦАС:

Диапазон частот формируемых сигналов: 10 - 10000 МГц;

Шаг сетки частот: не более 0,5 Гц;

Разрядность первого делителя частоты: 8;

Разрядность второго делителя частоты: 13;

Амплитуда выходного сигнала: 1000 мВ;

Виды модуляции сигналов: частотная;

Уровень амплитудных шумов менее -90 дБ/В;

Напряжение питания: периферии: 3,3 В; ядра: 1,8 В.

Спектрограммы выходных сигналов при различных параметрах работы синтезатора представлены на рисунке 3:

Цифроаналоговые синтезаторы с петлей фазовой автоподстройки частоты позволяют формировать частотно-модулируемые сигналы в более широкой полосе частот и имеют более «чистый спектр» выходного сигнала по сравнению с другими видами синтезаторов.

Сравнительный анализ современных методов синтеза частот и сигналов показал, что наиболее перспективным для радиотехнических систем является метод прямого цифрового синтеза.

Предложенный ЦАСЧ. позволяет синтезировать сигналы с частотной модуляцией, причем управление частотой осуществляется путем задания параметров ЦВС при помощи удобного цифрового интерфейса.

Данный ЦАСЧ. может быть использован в качестве возбудителя передатчика и гетеродина приемника современных радиолокаторов, что позволит одновременно увеличить разрешающую способность РЛС по дальности и по скорости.

Цифроаналоговые синтезаторы с петлей фазовой автоподстройки частоты позволяют формировать частотно-модулируемые сигналы в более широкой полосе частот и имеют более «чистый спектр» выходного сигнала по сравнению с другими видами синтезаторов.

Сравнительный анализ современных методов синтеза частот и сигналов показал, что наиболее перспективным для радиотехнических систем является метод прямого цифрового синтеза.

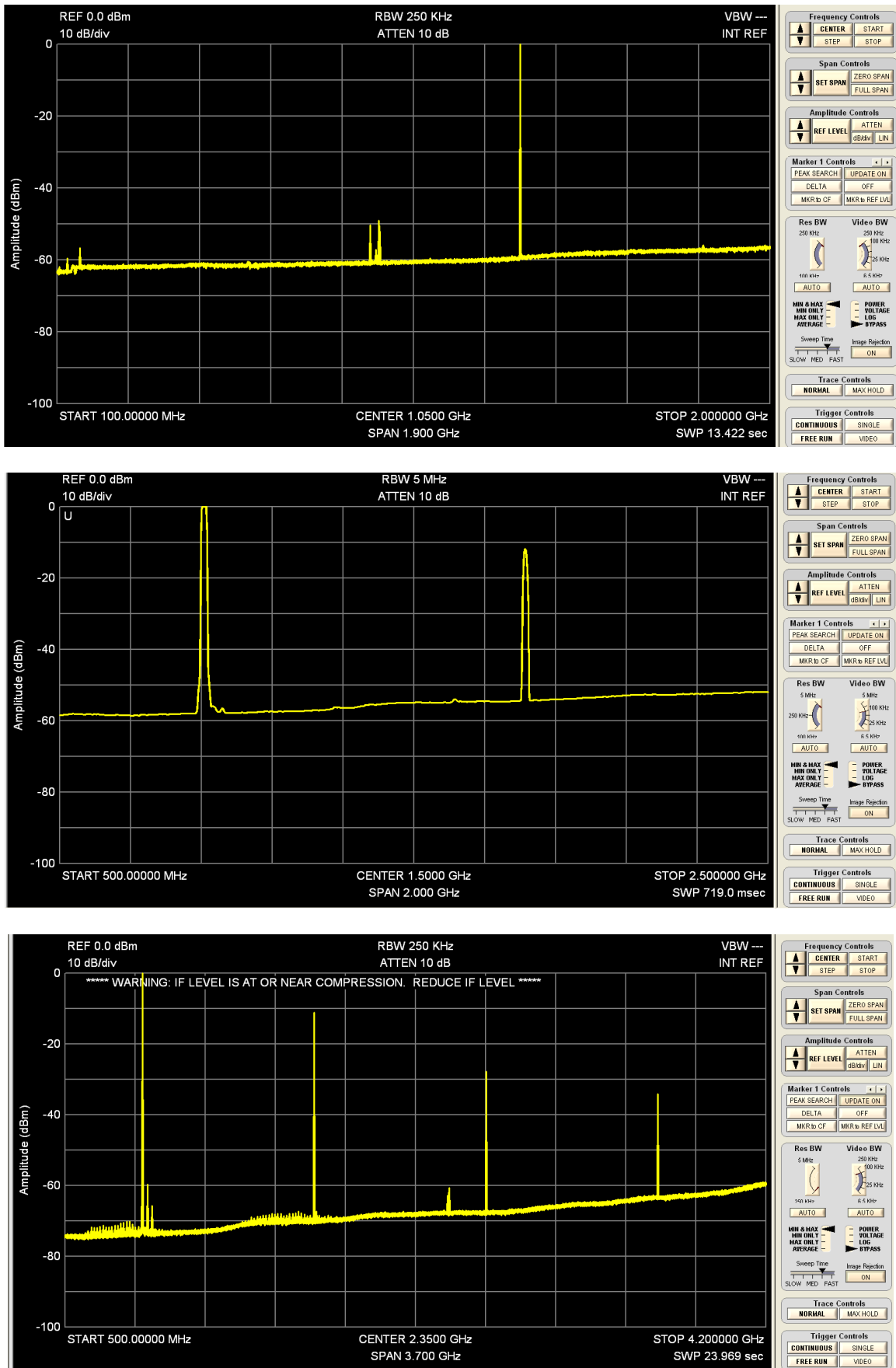


Рис. 3. Спектрограммы выходных сигналов ЦАСЧ

Предложенный ЦАСЧ. позволяет синтезировать сигналы с частотной модуляцией, причем управление частотой осуществляется путем задания параметров ЦВС при помощи удобного цифрового интерфейса.

Данный ЦАСЧ. может быть использован в качестве возбудителя передатчика и гетеродина приемника современных радиолокаторов, что позволит одновременно увеличить разрешающую способность РЛС по дальности и по скорости.

Работа выполнена при поддержке программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (У.М.Н.И.К) по государственному контракту «Научное обеспечение, высокотехнологичные разработки новых образцов техники в области машиностроения, средств связи и природопользования».

Литература

1. Белов Л.А. Формирование стабильных частот и сигналов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / М.: ИЦ «Академия», 2005. – 224 с.
2. Ямпурин Н.П., Болознев В.В., Сафонов Е.В., Жалнин Е.Б. Формирование прецизионных частот и сигналов: Учеб. пособие / под ред. Н.П. Ямпурин. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет, 2003 - 187 с.
3. Рябов И.В. Цифровой синтез прецизионных сигналов: монография / И. В. Рябов; Йошкар-Ола: РИЦ МарГТУ, 2005 - 150 с.
4. Рябов И.В. // Цифровые синтезаторы частотно-модулированных сигналов. Приборы и техника эксперимента. 2001. № 2. С. 62-69.
5. Рябов И.В. // Цифровой синтезатор с V-образным законом изменения частоты. Приборы и техника эксперимента. 2006. № 3. С. 88-90.
6. Рябов И.В., Толмачев С.В., Чернов Д.А. // Цифровой вычислительный синтезатор сложных широкополосных сигналов. Приборы и техника эксперимента. 2014. № 4. С. 49.
7. Рябов, И.В. Метод прямого цифрового синтеза прецизионных сигналов: научное издание / И. В. Рябов // Радиотехника. - 2006. - №9. - С. 13-16.