

Цифровой вычислительный синтезатор с быстрой перестройкой синтезируемой частоты

И.В. Рябов, И.В. Стрельников

Поволжский государственный технологический университет
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3. E-mail: ryabov22@mail.ru

Введение

Технические устройства, которые осуществляют синтез частот, называют системами синтеза частот (ССЧ). Синтезатор частот - это ССЧ, конструктивно оформленная в виде функционально законченного устройства (блока, узла, платы, модуля, микросхемы). Если в ССЧ используется несколько опорных частот, ее считают многоопорной. Если все выходные частоты синтезированы из одного исходного колебания, то ССЧ - одноопорная. В таких синтезаторах точность и стабильность выходных частот определяются опорным генератором.

Для пояснения принципа функционирования устройств цифрового синтеза сложных сигналов напомним, что цифровой сигнал может быть получен из аналогового путем дискретизации последнего по времени и квантования по амплитуде. Каждая выборка может быть представлена числом, называемым кодом выборки. Такие сигналы очень удобны для обработки цифровыми интегральными микросхемами.

Принцип работы многоуровневого цифрового синтезатора частот (ЦСЧ) сводится к следующему:

1. Осуществляется формирование кода циклической фазы цифрового сигнала в соответствии с входным кодом.
2. В соответствие отсчетам фазы ставятся отсчеты амплитуды синтезируемого колебания.
3. Если совокупность кодов, полученных на выходе ЦСЧ, подать на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), то на его выходе будет формироваться «ступенчатый» аналоговый сигнал, причем интервал времени, занимаемый одной «ступенькой», будет равен Δt [1].

Если частота опорного генератора равна f_0 , то многоуровневый ЦСЧ, согласно теореме Котельникова, может синтезировать максимальную частоту

$$f_c = 1/(2 \Delta t) = f_0 / 2, \quad (1)$$

т.е. в 2 раза ниже опорной, что соответствует взятию двух выборок на периоде T_c . На практике, однако, многоуровневые ЦСЧ работают не с двумя, а с четырьмя выборками на периоде T_c , что связано с необходимостью иметь более высокую спектральную чистоту синтезируемых колебаний [2].

Прямые цифровые синтезаторы частот, также как и аналоговые, не имеют обратной связи, что обеспечивает малое время переключения с одной частоты на другую. В общем случае время переключения (перестройки) складывается из времени срабатывания самого ЦСЧ и времени задержки в полосовом фильтре, и составляет при $f_0 = 1$ ГГц величину порядка 10 нс. Кроме того, прямые ЦВС способны формировать большое число частот с малым шагом сетки частот ($\sim 10^{-6}$ Гц) [3,4].

Цель работы – повышение быстродействия цифрового вычислительного синтезатора и увеличение скорости перестройки частоты синтезируемых колебаний.

1. Цифровой вычислительный синтезатор с быстрой перестройкой частоты

Цифровой вычислительный синтезатор (рис. 1) содержит эталонный генератор 1, блок формирования и задержки 2, первый регистр памяти 3, первый счетчик 4, умножитель кодов 5, цифровой накопитель 6, преобразователь кодов 7, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) 8, фильтр нижних частот (ФНЧ) 9, второй регистр памяти 10, второй счетчик 11, третий регистр памяти 12, делитель с переменным коэффициентом деления 13. Входы первого, второго и третьего регистров памяти являются цифровыми входами ЦВС, а его аналоговым выходом является выход ФНЧ [5].

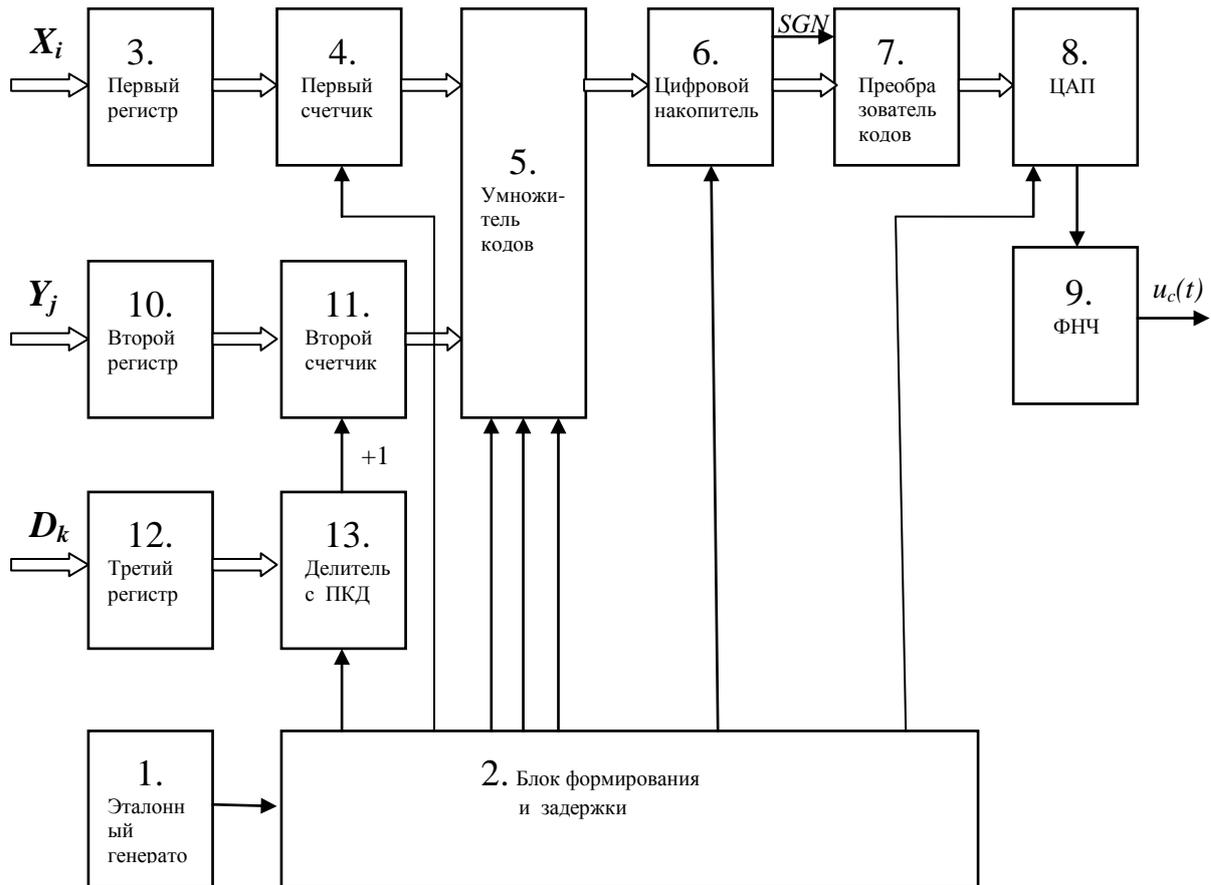


Рис. 1. Цифровой вычислительный синтезатор с быстрой перестройкой рабочей частоты

Цифровой вычислительный синтезатор работает следующим образом.

Эталонный генератор 1 вырабатывает синусоидальный сигнал опорной частоты, из которого в блоке формирования и задержки 2 формируются тактовые импульсы формы «меандр», служащие для синхронизации основных узлов ЦВС.

На вход первого регистра памяти 3 поступает код X_i (код множимого), на вход второго регистра памяти 10 поступает код Y_j (код множителя), на вход третьего регистра памяти 12 поступает код D_k .

Эти коды записываются соответственно: код X_i - в первый счетчик 4, код Y_j - во второй счетчик 11, код D_k - в делитель с переменным коэффициентом деления 13.

С первым тактовым импульсом в момент t_1 коды X_i и Y_j поступают на входы множителя и множителя умножителя кодов 5 соответственно. А начиная со второго тактового импульса – момент t_2 и далее код произведения P (код частоты ЦВС) в умножителе кодов будет изменяться по формуле:

$$P = (X_i + T) \times Y_j = X_i \times Y_j + Y_j \times T \quad (2)$$

Код суммы S в цифровом накопителе 6 (код фазы ЦВС) будет описываться выражением:

$$S = X_i \times Y_j \times T + Y_j \times T^2 \quad (3)$$

Если ввести обозначения

$\omega_0 = X_i \times Y_j$ – начальная циклическая частота,

$\omega' = 0/5 Y_j$ – скорость изменения частоты ЦВС,

$T = \Delta t$ – тактовый интервал,

то изменение фазы синтезируемого сигнала ЦВС будет описываться формулой:

$$\varphi = S = \omega_0 t + \omega' t^2 \quad (4)$$

Код фазы S поступает на преобразователь кодов 7, причем старший разряд SGN , являющийся знаковым, поступает на вход управления инверсией преобразователя кодов, а остальные N разрядов через преобразователь кодов поступают на информационные входы ЦАП 8.

Если $SGN = 0$, то на ЦАП поступает прямой код фазы, но если $SGN = 1$, то – обратный код фазы S .

Таким образом, на выходе ЦАП формируется ступенчатый сигнал формы «треугольник». После фильтрации в ФНЧ 9, который имеет частоту среза, равную половине тактовой частоты, на выходе ЦВС формируется сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ-сигнал), описываемый формулой:

$$u_c(t) = U_0 (\omega_0 t + \omega' t^2) \quad (5)$$

Делитель с переменным коэффициентом деления 13 служит для задания скорости изменения частоты синтезируемого ЦВС сигнала. Чем больше значение кода D_k , тем ниже скорость изменения частоты.

Данный ЦВС позволяет формировать не только ЛЧМ сигнал, но и сигнал с квадратичным законом изменения частоты. Для этого необходимо разрешить работу обоим счетчикам.

В первом счетчике код на выходе будет изменяться по формуле $X = X_i + T$, а во втором счетчике – по формуле $Y = Y_j + T/D_k$.

Тогда частота синтезируемого сигнала ЦВС будет описываться формулой:

$$P = (X_i + T) \times (Y_j + T/D_k) = X_i \times Y_j + X_i \times T/D_k + Y_j \times T + T^2/D_k \quad (6)$$

При этом фаза синтезируемого сигнала будет изменяться по формуле:

$$S = P \times T = (X_i + T) \times (Y_j + T/D_k) \times T = X_i \times Y_j \times T + X_i \times T^2/D_k + Y_j \times T^2 + T^3/D_k \quad (7)$$

Таким образом, согласно формуле (7) сигнал на выходе ЦВС будет с квадратичным законом изменения частоты (КЧМ-сигнал).

Заключение

Описанный в статье цифровой вычислительный синтезатор обладает повышенным быстродействием, более широкими функциональными возможностями по сравнению с аналогами, он позволяет формировать ЛЧМ- и КЧМ-сигналы, а также имеется возможность передавать информационное сообщение в режиме ЛЧМ сигнала.

Область применения синтезатора: радиолокация, современные адаптивные системы связи, телекоммуникации.

Литература

1. Ямпурин Н.П., Болознев В.В. и др. Формирование прецизионных частот и сигналов. Учебное пособие. Н.Новгород, ННГТУ, 2003.
2. Рябов И.В. Цифровой синтез прецизионных сигналов. Монография. Йошкар-Ола, МарГТУ, 2005.
3. **А.с. СССР № 1774464.** МКИ H03B 19/00. Цифровой синтезатор частот / Рябов И.В., Рябова Н.В., Урядов В.П. Заявл. 30.08.1990.Опубл. 07.11.1992.Бюл.№41.
4. **Патент РФ №2143173.** МПК H03L 7/18, H03B 19/00. Цифровой синтезатор частот /Рябов И.В., Рябов В.И. Заявл. 04.02.1999.Опубл. 20.12.1999.Бюл.№35.
5. **Патент РФ №2491710.** МПК H03L 7/18, H03B 19/00. Цифровой вычислительный синтезатор с быстрой перестройкой частоты /Рябов И.В., Дедоа А.Н., Петухов И.В. Заявл. 03.07.2012.Опубл. 27.08.2013.Бюл.№24.