

## ЦИФРОВОЙ МЕТОД СИНТЕЗА ПРЕЦИЗИОННЫХ ЧАСТОТ И СИГНАЛОВ

Рябов И.В.

Марийский Государственный Технический Университет  
424000, Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3  
E-mail: [ryabov22@mail.ru](mailto:ryabov22@mail.ru)

### Введение

Синтез частот и сигналов является сравнительно новой и стремительно развивающейся областью радиоэлектроники. Задача формирования высокостабильной сетки частот и сигналов крайне актуальна при построении многих радиосистем, поскольку прецизионность параметров колебаний обеспечивает их высокие точностные характеристики.

*Прецизионный радиосигнал* – это сигнал, при формировании которого должны быть выполнены следующие требования: стабильность несущей частоты, точность закона модуляции, низкий уровень аддитивных шумов и дискретных побочных составляющих.

Существует несколько основных методов синтеза частот:

1. Прямой аналоговый синтез (DAS).
2. Косвенный синтез частоты на основе фазовой автоподстройки частоты (PLL).
3. Прямой цифровой синтез (DDS).

Метод прямого цифрового синтеза обладает следующими преимуществами:

- высокое разрешение по частоте и фазе, управление которыми осуществляется в цифровом виде;
- экстремально быстрый переход с одной частоты на другую;
- перестройка по частоте без разрыва фазы;
- малый шаг сетки частот ( $10^{-6} \dots 10^{-2}$  Гц);
- цифровой интерфейс позволяет реализовать микроконтроллерное управление синтезатором;
- возможность синтеза квадратурных сигналов с I и Q выходами, которые работают согласованно;
- хорошая повторяемость параметров при тиражировании.

**Цель настоящей работы** состоит в повышении быстродействия DDS синтезаторов в 1,5-2 раза по сравнению с существующими.

### 1. Цифровой синтезатор частот на основе цифровых накопителей кодов

Наиболее популярной структурой DDS синтезатора для формирования сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) является структура на основе цифровых накопителей. Цифровой синтезатор частот (ЦСЧ) состоит из эталонного генератора ЭГ, блока задержки БЗ, блока постоянного запоминания (ПЗУ), двух цифровых накопителей ЦН1 и ЦН2, функционального преобразователя код-синус (или код косинус) ФП, цифроаналогового преобразователя ЦАП, фильтра нижних частот ФНЧ, регистра памяти РГ, делителя с переменным коэффициентом деления ДПКД (рис. 1).

Цифровой синтезатор частот работает следующим образом.

Эталонный генератор вырабатывает синусоидальный сигнал опорной частоты, из которого в блоке задержки формируются разнесенные по времени сигналы формы «меандр», служащие для синхронизации работы делителя ДПКД, второго цифрового накопителя и ЦАП.

По первому тактовому импульсу происходит запись кода начальной частоты  $C_i$  в первый цифровой накопитель в зависимости от адресной информации на входе ПЗУ, а код  $D_k$ , определяющий коэффициент деления делителя ДПКД из регистра памяти записывается в делитель с переменным коэффициентом деления.

Тогда с каждым последующим тактовым импульсом код суммы  $S1$  на выходе первого цифрового накопителя ЦН1 будет изменяться по формуле

$$S1 = C_i + T/D_k. \quad (1)$$

Во втором цифровом накопителе ЦН2 результат суммирования  $S2$  будет изменяться следующим образом

$$S2 = S1 \times T = (C_i + T/D_k) \times T = C_i \times T + T^2/D_k. \quad (2)$$

В функциональном преобразователе циклическому коду фазы, формируемому во втором цифровом накопителе, ставится в соответствие код амплитуды

$$A = \sin(C_i \times T + T^2/D_k). \quad (3)$$

Тогда, если принять, что  $C_i = \omega_0$  – начальная циклическая частота;  $1/D_k = 0,5 \omega'$  – скорость изменения циклической частоты;  $T = \Delta t$  – длительность тактового интервала, то на выходе цифрового синтезатора будет сформирован ЛЧМ-сигнал

$$u_c = U_0 \sin(\omega_0 t + 0,5 \omega' t^2), \quad (4)$$

где  $U_0$  – амплитуда сигнала.

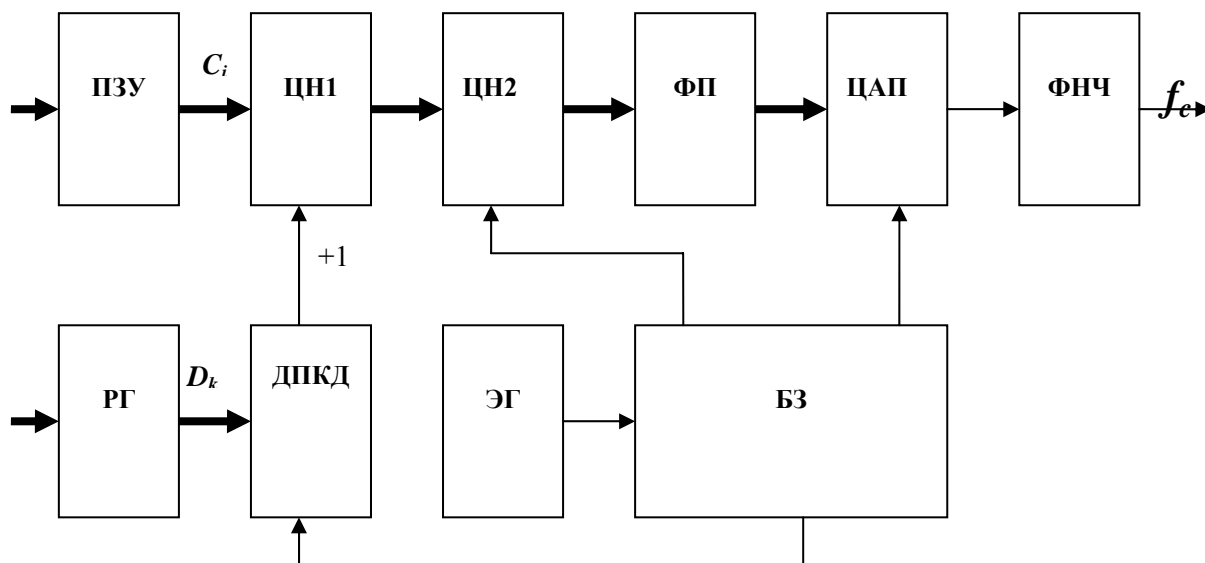


Рис. 1. Цифровой синтезатор на основе цифровых накопителей

## 2. Рекурсивный цифровой синтезатор ЛЧМ сигналов

Рекурсивный цифровой синтезатор обеспечивает достижение высокой линейности закона изменения частоты и повышение быстродействия за счет сокращения разрядности накопителя фазы, использования импульсов переполнения фазового вычислителя, введения формирователя импульсов и обратной связи со вторым накопителем, а также замены функционального преобразователя код-синус на преобразователь кодов.

Рекурсивный цифровой синтезатор содержит эталонный генератор ЭГ, блок задержки БЗ, блок постоянного запоминания (ПЗУ), два цифровых накопителя ЦН1 и ЦН2, преобразователь кодов ПК, цифроаналоговый преобразователь ЦАП, фильтр нижних частот ФНЧ, формирователь импульсов ФИ, регистр памяти РГ, делитель с переменным коэффициентом деления ДПКД (рис. 2).

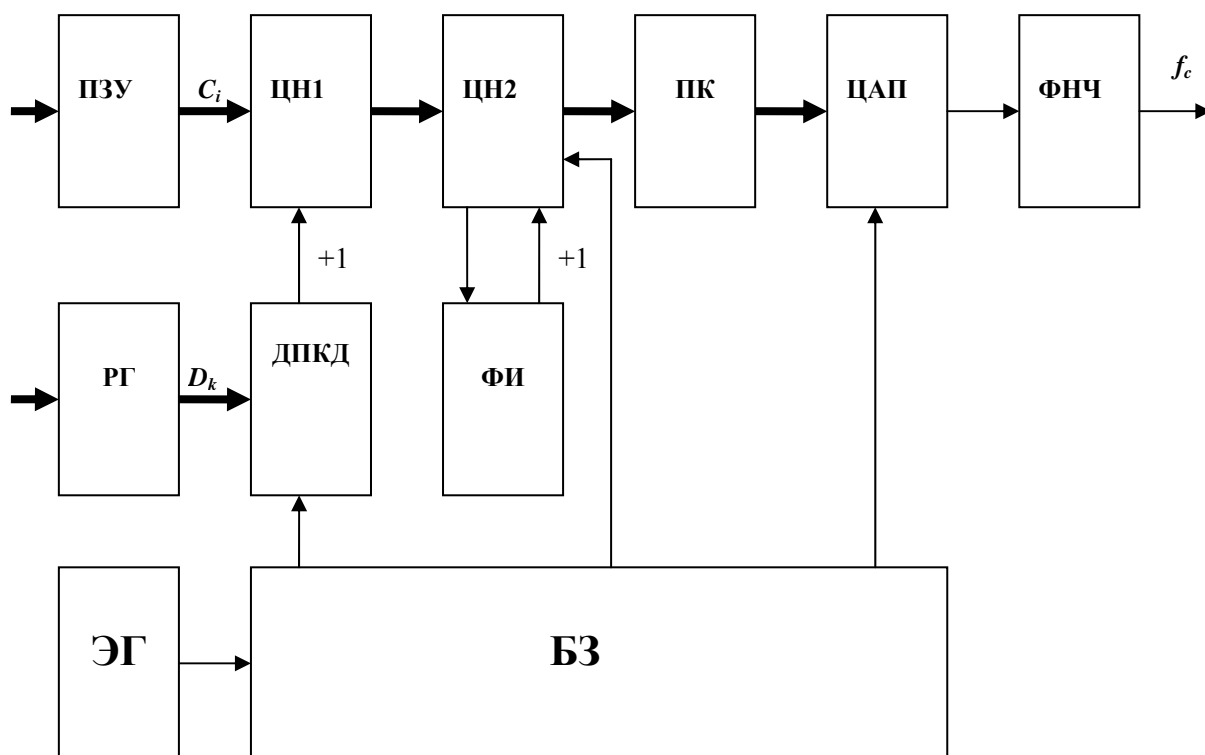


Рис. 2. Рекурсивный цифровой синтезатор ЛЧМ сигналов

Цифровой синтезатор ЛЧМ сигналов работает следующим образом.

Эталонный генератор и блок задержки служат для синхронизации узлов синтезатора. С первым тактовым импульсом из блока ПЗУ код начальной частоты записывается в первый цифровой накопитель в зависимости от адресной информации на входе ПЗУ, а код  $D_k$  из регистра памяти – в делитель с переменным коэффициентом деления. Далее с каждым тактовым импульсом код суммы S1 на выходе первого цифрового накопителя ЦН1 будет изменяться по формуле (1), а на выходе второго цифрового накопителя ЦН2 код суммы S2 будет изменяться по формуле (2).

Самый старший разряд суммы  $S_{SGN1}$  поступает на вход формирователя импульсов, где формируется импульс добавления единицы к результату суммы S2 второго цифрового накопителя. Предпоследний старший разряд суммы  $S_{SGN2}$  поступает на вход управления инверсией преобразователя кодов. Остальные N старших разрядов (N – разрядность ЦАП) через преобразователь кодов поступают на ЦАП, который формирует ступенчатый сигнал «треугольной» формы. Если  $S_{SGN2}=0$ , то на ЦАП поступает прямой двоичный код, а если  $S_{SGN2}=1$ , то обратный двоичный код суммы.

Фаза синтезированного сигнала будет изменяться по формуле

$$\varphi = [C_i + T/D_k](1 + 2^M). \quad (5)$$

Результат суммирования S2 изменяется в интервале от  $0 \dots 2N$ , что соответствует изменению фазы  $\varphi$  от 0 до  $2\pi$ . Аналоговый сигнал, формируемый ЦАП поступает на ФНЧ, который пропускает на выход только первую гармонику синтезированного сигнала. В результате на выходе цифрового синтезатора формируется сигнал, амплитуда которого изменяется по формуле

$$u_c = U_0 \sin [(\omega_0 t + 0,5 \omega \cdot t^2) (1 + 2^M)]. \quad (6)$$

На рис. 3 представлены графики изменения частоты для рекурсивного (тонкая линия) и нерекурсивного синтезаторов (жирная линия), из которых видно, что шаг сетки частот у рекурсивного синтезатора в  $2^M$  раз меньше, чем у нерекурсивного, где M – разрядность фазового вычислителя.

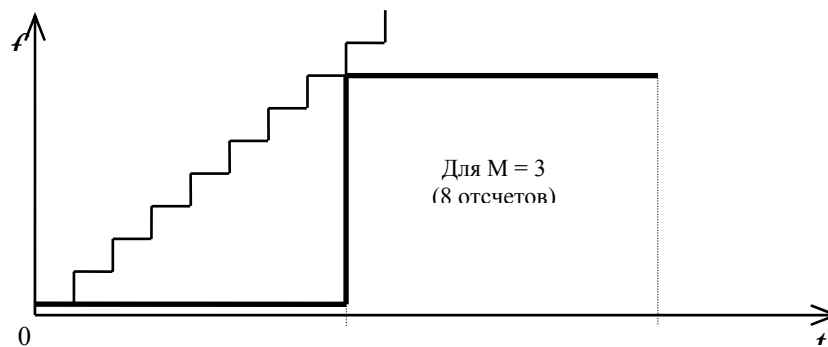


Рис. 3. Графики изменения частоты на выходах цифровых синтезаторов

Необходимо отметить, что замена функционального преобразователя код-синус, который строится на сравнительно медленных микросхемах памяти (ПЗУ или ОЗУ), на преобразователь кодов приводит к дополнительному повышению быстродействия цифровых синтезаторов примерно в 1,5 раза.

Таким образом, рекурсивный цифровой синтезатор, имеющий такой же шаг по частоте, что и нерекурсивный, будет иметь в 2 раза меньшую разрядность, а следовательно будет более быстродействующим.

#### Литература

1. Формирование прецизионных частот и сигналов: Учеб. пособие /Н.П. Ямпурин, В.В. Болознев, Е.В. Сафонова, Е.Б. Жалнин. Н. Новгород: ННГТУ, 2003. 187 с.
2. Патент № 2058659 Российской Федерации МКИ H03B 19/00. Цифровой синтезатор частот / Рябов И.В., Фищенко П.А. - Заявл. 23.09.93. Оpubл. 20.04.1996. Бюл. № 11.
3. Патент № 2149503 Российской Федерации МПК H03L 7/18. Цифровой синтезатор частот / Рябов И.В., Рябов В.И., Голуб Д.В.. - Заявл. 13.04.99 Оpubл. 20.05.2000. Бюл. № 14.