

УДК 621.373

## МЕТОД ЦИФРОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ СИГНАЛОВ DDS

МАРЧУК Т. М., ПОВЕТКО П. В., МАТЮШКОВ А. Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: Timur23Martschuk@yandex.ru

**Аннотация.** В докладе рассматривается алгоритм прямого цифрового синтеза, его основные преимущества и реализация на аппаратной платформе ПЛИС.

**Abstract.** The report discusses the direct digital synthesis algorithm, its main advantages and implementation on the FPGA hardware platform.

Существуют аналоговые и цифровые способы генерации сигналов.

Для аналоговых способов генерации сигналов используют автоколебательные системы или автогенератор, принцип которого состоит в том, чтобы энергию от источника питания через управляющий элемент подавать в колебательную систему. Основными методами цифровой генерации сигналов являются метод аппроксимации и табличный метод.

Метод аппроксимации использует представление периодического сигнала в аналитическом виде и выполняется в микропроцессоре по заданной программе. В памяти устройства хранятся лишь параметры генерируемого сигнала. Программа вычисляет отсчеты функции с некоторым заданным интервалом. Для получения аналогового сигнала далее используется ЦАП. Метод аппроксимации использует небольшой объем памяти. Недостатком этого метода является необходимость вычисления значительного числа арифметических и логических операций, затрачиваемых на формирование одного отсчета сигнала, что ограничивает максимальную частоту сигнала.

Табличный метод генерации предполагает, что предварительно вычисленные цифровые отсчеты функции постоянно хранятся в памяти. Формирование очередного отсчета сводится к операциям подготовки адреса и чтения соответствующей ячейки памяти. Достоинством этого метода является меньшее время, затрачиваемое на формирование отсчета, и, как следствие, возможность генерации сигналов с более высокой частотой. Недостатком является необходимость иметь большой объем памяти данных [1].

К табличному методу относится метод прямого цифрового синтеза, его мы и рассмотрим.

Прямой цифровой синтез (от англ. DDS – Direct Digital Synthesizer) – метод, позволяющий получить аналоговый сигнал (обычно это синусоидальный сигнал, пилообразный, последовательность треугольных импульсов) за счет генерации временной последовательности цифровых отсчетов и их дальнейшего преобразования в аналоговую форму посредством ЦАП. Так как сигнал сначала синтезируется в цифровой форме, такое устройство может обеспечить быстрое переключение частоты, высокое разрешение по сетке частот, работу в широком диапазоне частот.

В простейшем случае DDS состоит из счетчика адресов, на которые подаются импульсы с генератора опорной частоты, постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) и ЦАП (рис.1.).

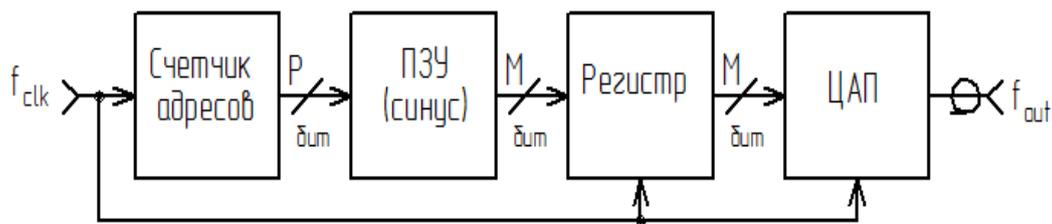


Рис.1. Простейшая функциональная схема DDS

В ПЗУ в цифровом виде хранится полный период гармонического сигнала (синус). ПЗУ в данном случае функционирует как таблица синуса. Счетчик адресов последовательно перебирает все

адреса ПЗУ, содержимое ПЗУ через регистр передается на вход ЦАП. ЦАП в свою очередь для каждого слова из ПЗУ генерирует сигнал в аналоговой форме.

Выходная частота ( $f_{out}$ ) такого DDS зависит от двух факторов: от опорной частоты  $f_{clk}$ , от того, с каким шагом расположены отсчеты синуса в таблице ПЗУ. Хотя у такой простой архитектуры генератора может быть достаточно высокая точность аналогового сигнала и высокая производительность, но ей не хватает гибкости настройки. Частота выходного сигнала может быть изменена только при изменении частоты опорного генератора или перепрограммированием ПЗУ.

С введением в архитектуру функции фазового аккумулятора DDS получил необходимую гибкость в управлении частотой выходного сигнала. На рисунке 2 показана функциональная схема DDS с фазовым аккумулятором.

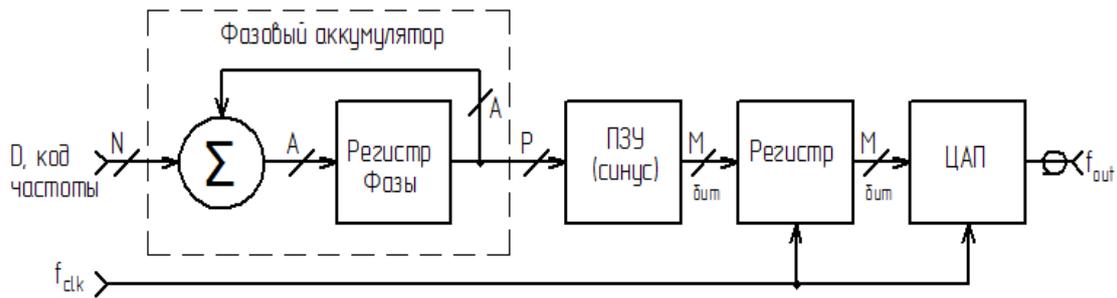


Рис. 2. Функциональная схема DDS с фазовым аккумулятором

Аккумулятор фазы выполнен по схеме накапливающего сумматора и представляет собой регистр, который в каждом такте работы устройства перезагружается величиной, равной старому содержимому, плюс некоторая постоянная добавка –  $N$  разрядный код частоты  $D$ . Содержимое регистра линейно увеличивается во времени, только теперь приращение не всегда является единичным, а зависит от величины постоянной добавки.

На вход адресов ПЗУ поступают не все значения регистра фазы, а только  $P$  старших разрядов. Данный механизм называется «усечение фазы».

Функционирование фазового аккумулятора может быть показано с помощью круговой диаграммы (рис. 3).

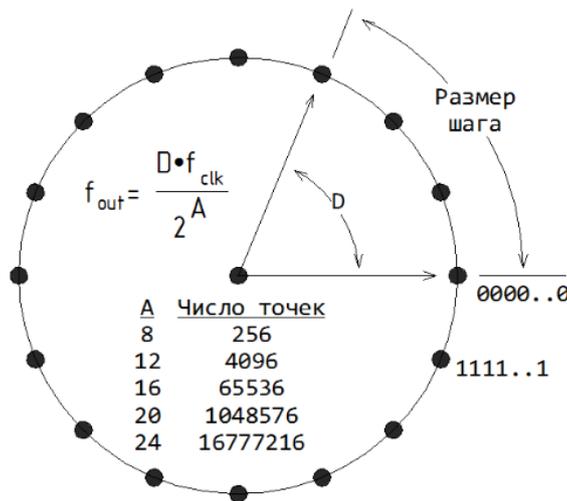


Рис. 3. Круговая диаграмма фазового аккумулятора

Каждая точка на круговой диаграмме соответствует эквивалентной точке синусоидального сигнала. Число точек на окружности определяется разрядностью фазового аккумулятора ( $A$ ). Фазовый вектор «вращается» с равномерной скоростью, каждый цикл оборота вектора соответствует полному периоду гармонического сигнала. Выход фазового аккумулятора представляет собой линейную периодическую функцию. Для того, чтобы получить гармонический сигнал выход аккумулятора

следует использовать в качестве адреса для ПЗУ с таблицей синуса.

Выходной код аккумулятора фазы представляет собой код мгновенной фазы выходного сигнала. Постоянная добавка, которая используется при работе аккумулятора фазы, представляет собой приращение фазы за один такт работы устройства. Чем быстрее изменяется фаза во времени, тем больше частота генерируемого сигнала. Поэтому значение приращения фазы фактически является кодом выходной частоты. Аккумулятор фазы работает с периодическими переполнениями. Такое периодическое переполнение соответствует периодическому поведению функции синуса с периодом  $2\pi$ . Частота переполнений аккумулятора фазы равна частоте выходного сигнала. Эта частота определяется формулой:

$$f_{out} = (D \cdot f_{clk}) / (2^A), \quad (1)$$

где  $f_{out}$  – выходная частота,  $f_{clk}$  – тактовая частота,  $D$  – код частоты,  $A$  – разрядность аккумулятора фазы.

При изменении значения  $D$  частота на выходе синтезатора меняется сразу, и при этом сигнал не имеет разрывов. Здесь отсутствует переходный процесс захвата частоты, присущий генераторам с петлей ФАПЧ.

Основные преимущества DDS:

1. Цифровое управление частотой и фазой выходного сигнала.
2. Очень высокое разрешение по частоте и фазе.
3. Быстрый переход на другую частоту (или фазу), перестройка по частоте без разрыва фазы, без выбросов и других аномалий, связанных с временем установления.
4. Цифровой интерфейс легко позволяет реализовать микроконтроллерное управление.

Для реализации DDS на ПЛИС использовалось ядро NCO IP Core от Intel [2]. Параметры NCO IP Core представлены на рис. 4.

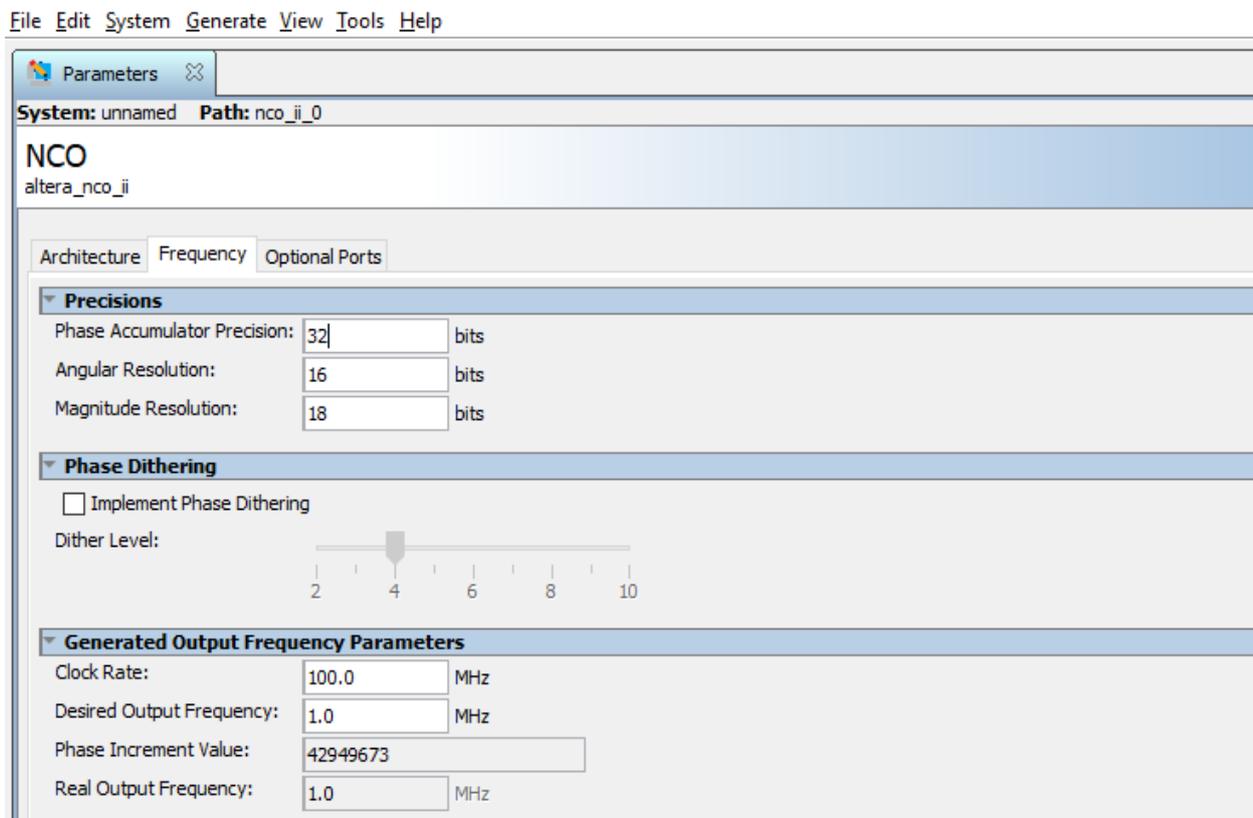


Рис. 4. Параметры NCO IP Core

