

DDS-ГЕНЕРАТОР ДЛЯ СПУТНИКОВОГО МОДУЛЯТОРА ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

В. Унгурян, С. Грицков, Г. Сорокин

Технический Университет Молдовы

Аннотация: В данной статье рассмотрено применение DDS – синтезаторов для реализации прямой цифровой манипуляции несущего колебания. Показано, что применение DDS – синтезаторов позволяет достаточно просто реализовать PSK – модуляцию с высокой точностью и быстротой. Представлена блок-схема модулятора на основе DDS – синтезатора AD9915 и PLD-структуре.

Ключевые слова: синтезатор частоты, DDS – синтезатор, PSK – модуляция

Введение

В цифровых системах радиосвязи используются специальные виды модуляции, отличающиеся от аналоговых видов. Это вызвано как особенностями цифрового сигнала, позволяющего использовать более эффективные функциональные зависимости между модулируемым и модулирующим сигналами, так и необходимостью обеспечения электромагнитной совместимости с другими существующими системами связи. При этом для формирования несущего колебания являющегося носителем передаваемой информации используются различные методы. Как правило, для этого используются различные по своей структуре синтезаторы частоты.

Под термином «синтезатор частоты» понимают электромагнитное устройство, способное из опорной частоты получать на выходе требуемую частоту или набор частот, согласно управляющим сигналам. Наиболее распространенными являются следующие методы синтеза частот:

прямой аналоговый синтез (Direct Analog Synthesis, или DAS) на основе структуры смеситель/фильтр/делитель, когда выходная частота получается непосредственно из опорной частоты посредством операции смещения, фильтрации, деления и умножения;

косвенный (indirect) синтез на основе фазовой подстройки частоты (Phase Locked Loop, или PLL), когда выходная частота получается с помощью дополнительного генератора (чаще Voltage Controlled Oscillator, или VCO), который охвачен петлей фазовой автоподстройки;

прямой цифровой синтез (Direct Digital Synthesis, или DDS), когда выходной сигнал синтезируется цифровыми методами;

гибридный метод, представляющий собой комбинацию нескольких методов, описанных выше.

Каждый из этих методов синтеза частот имеет преимущества и недостатки, следовательно, для каждого конкретного приложения необходимо делать выбор, основанный на наиболее приемлемой комбинации компромиссов.

DDS уникальны своей цифровой определенностью: генерируемый ими сигнал синтезируется со свойственной цифровым системам точностью. Частота, амплитуда и фаза сигнала в любой момент времени точно известны и подконтрольны. DDS практически не подвержены температурному дрейфу и старению. Единственным элементом, который обладает свойственными аналоговым схемам нестабильностями, является цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Все это является причиной того, что в последнее время DDS вытесняют обычные аналоговые синтезаторы частот.

Основные преимущества DDS:

цифровое управление частотой фазой выходного сигнала;

очень высокое разрешение по частоте и фазе;

экстремально быстрый переход на другую частоту (или фазу), перестройка по частоте без, без выбросов и других аномалий, связанных с временем установления;

цифровой интерфейс легко позволяет реализовать микроконтроллерное управление.

Все эти особенности DDS позволяют использовать его для выполнения фазовой манипуляции в модуляторе спутникового передатчика.

II. Основная часть

В настоящее время фирма Analog Devices выпускает большую номенклатуру DDS, которые отличаются друг от друга разрядностью кода частоты, разрядностью кода синусоиды, тактовой частотой. Однако обобщенная функциональная схема у всех этих синтезаторов примерно одинаковая и имеет вид, представленный на рис.1.1.

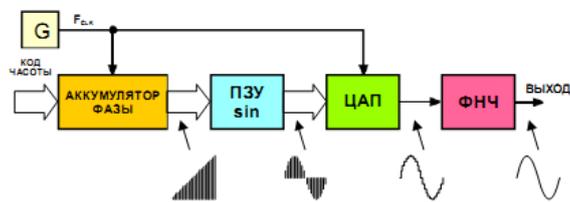


Рис.1.1. Обобщенная функциональная схема DDS

Как известно, мгновенное значение фазы непрерывного синусоидального сигнала циклически изменяется в диапазоне от 0 до 2π . Значение фазы генерируется в цифровом виде.

Чтобы понять, каким образом осуществляется генерация, представим себе синусоидальное колебание в виде вектора, вращающегося по окружности (рис.1.2). Каждая точка на окружности соответствует определенной точке синусоиды.

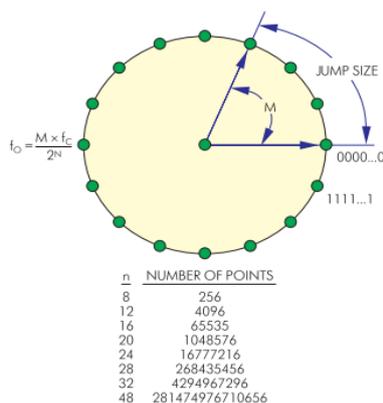


Рис.1.2. Циклическое вычисление фазы сигнала

Вектор вращается по окружности, при этом величина синуса угла является выходным сигналом. Один оборот вектора с постоянной скоростью обеспечивает генерацию одного периода синусоиды. Выходной код аккумулятора фазы представляет собой код мгновенной частоты выходного сигнала. Чем быстрее изменяется фаза во времени, тем быстрее вращается вектор и тем больше частота генерируемого сигнала.

Аккумулятор фазы работает с периодическими переполнениями, обеспечивая арифметику по модулю $M = 2^n$, где «n» - разрядность аккумулятора фазы. Такое периодическое переполнение соответствует периодическому поведению функции синуса с периодом 2π . Другими словами, частота переполнений аккумулятора фазы равна частоте выходного сигнала, которая определяется следующим выражением:

$$F_{OUT} = M \cdot F_{CLK} / 2^n, \quad (1.1)$$

M – двоичное число, определяющее частоту выходного сигнала,
 F_{CLK} – тактовая частота.

По существу, тактовая частота делится на некоторое число, которое определяется кодом частоты и разрядностью аккумулятора фазы. Для 28-разрядного аккумулятора фазы при $M = 0000 \dots 0001$ аккумулятор будет переполняться после 2^{28} циклов (тактовых импульсов). При $M = 0111 \dots 1111$ аккумулятор фазы будет переполняться всего за 2 цикла (это минимальное число

циклов, удовлетворяющее критерию Найквиста). При этом шаг перестройки частоты не зависит от ее значения и равен:

$$\Delta F_{OUT} = F_{CLK}/2^n. \quad (1.2)$$

Из этого соотношения следует, что если увеличить разрядность аккумулятора фазы «n», то уменьшится шаг перестройки частоты. Для уменьшения объема постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) можно использовать свойства симметрии функции синуса. В большинстве DDS в ПЗУ содержится только ¼ периода, но при этом приходится усложнять логику формирования адреса. Таким образом, в DDS аккумулятор фазы формирует последовательность кодов мгновенной фазы сигнала, которая линейно изменяется во времени (рис.1.1). Скорость изменения фазы задается кодом частоты. В ПЗУ линейно изменяющаяся фаза преобразуется в линейно изменяющиеся по синусоидальному закону отсчеты выходного сигнала. Эти отсчеты поступают на ЦАП, на выходе которого формируется сигнал, состоящий из «ступенек». Ступенчатый сигнал подается на фильтр низких частот (ФНЧ), на выходе которого получается синусоидальный сигнал.

Как известно, при дискретизации по времени и квантованию по уровню реальный сигнал заменяется последовательностью импульсов Дирака бесконечно большой амплитуды и бесконечно малой длительностью, площадь которых конечна. Эта площадь и определяет значения отсчетов. В реальных условиях получение таких импульсов невозможно, а представление сигнала с помощью прямоугольных импульсов приводит к модуляции спектра выходного сигнала весовой функцией $\text{sinc}(\pi F_{OUT}/F_{CLK})$. Для примера на рис.1.3 показан выходной спектр DDS – синтезатора, тактовая частота которого равна 100 МГц, а выходная частота – 24 МГц.

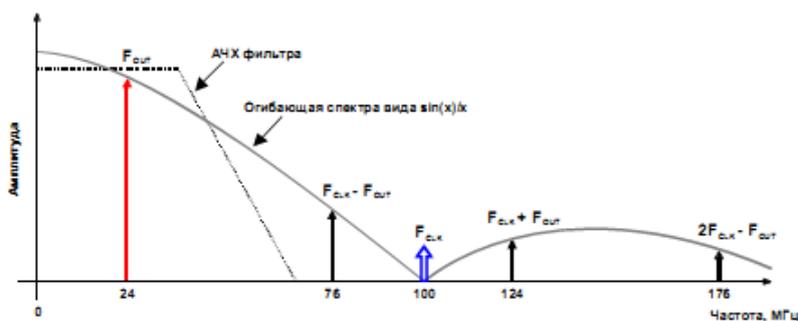


Рис.1.3. Выходной спектр DDS – синтезатора

В результате дискретизации сигнала в его спектре, как видно из рис.1.3, появляются побочные спектральные компоненты, которые лежат на частотах $n \cdot F_{CLK} \pm F_{OUT}$, где «n» - целое число. Амплитуды этих спектральных компонент промодулированы весовой функцией. Поэтому при проектировании систем с DDS нужно обязательно учитывать влияние побочных спектральных составляющих. Для их устранения на выходе DDS включают ФНЧ (Antialiasing Filter). ФНЧ является одним из самых критичных элементов системы с использованием DDS. С одной стороны он должен подавлять требуемые побочные спектральные компоненты сигнала (необходимый спад крутизны коэффициента передачи фильтра), с другой – иметь относительно плоскую амплитудно-частотную характеристику в полосе прозрачности. С целью снижения требований к ФНЧ необходимо выбирать DDS с наибольшей тактовой частотой, при той же величине выходной частоты сигнала.

III. Практическая часть

Как было отмечено выше, DDS – синтезатор обеспечивает легкое и удобное управление частотой и фазой выходного сигнала. Большинство DDS – синтезаторов имеет отдельный регистр, в который можно записать код задающий фазу выходного сигнала, т.е. фазу несущего колебания. Изменяя содержимое регистра фазы можно изменять фазу выходного сигнала и осуществлять фазовую модуляцию несущей (ФМ, англ. Phase Shift Keying (PSK)). Для тех применений, где требуется высокочастотная модуляция, в DDS – синтезаторах предусмотрены регистры фазы, в которые можно записать код, а затем выбирать его с помощью дополнительного вывода PSELECT.

Для реализации манипуляции фазы несущего колебания еще необходима схема, которая осуществляет анализ значения передаваемого информационного символа, и принимать решение о

смене фазы. Для выполнения данной задачи удобно применять схемы с программируемой структурой (PLD, Programmable Logic Devices). На рис.1.4. представлена блок-схема цифрового PSK – модулятора, выполненного на базе DDS – синтезатора и PLD.

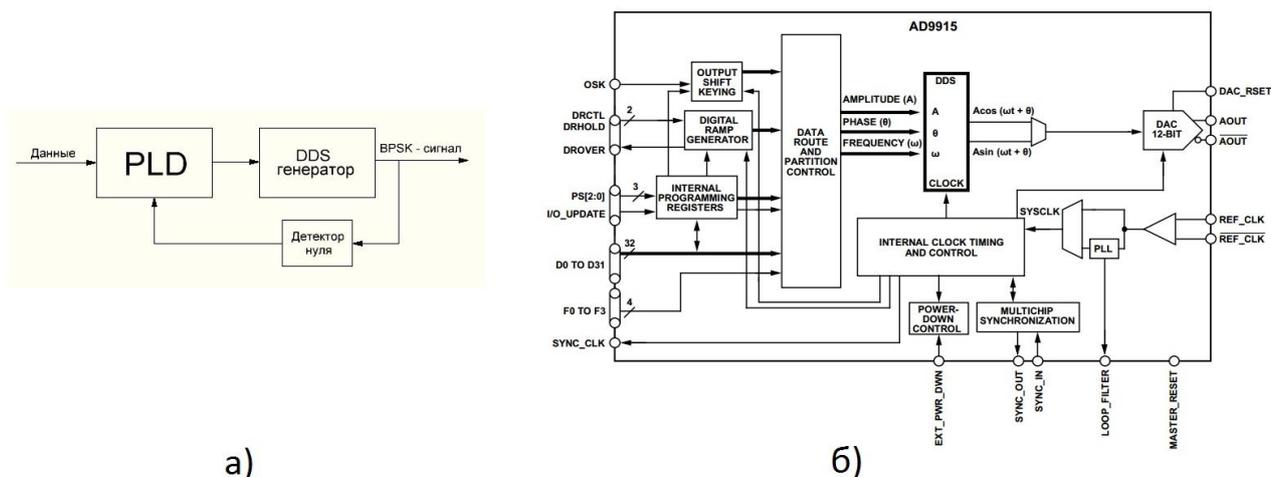


Рис.1.4. а) Блок – схема цифрового PSK – модулятора; б) Функциональная схема микросхемы AD9915

В качестве DDS – синтезатора используется микросхема AD9915, функциональная схема которой приведена на рис.1.4.

Синтезатор AD9915 содержит интегрированный, высокоскоростной 12-разрядный ЦАП. Ядро микросхемы поддерживает усовершенствованную цифровую программируемую технологию, способную синтезировать аналоговые выходные синусоидальные сигналы с быстрой перестройкой частоты в диапазоне до 1 ГГц. Максимальная тактовая частота синтезатора составляет 2,5 ГГц. Высокая тактовая частота и большой динамический диапазон микросхемы обеспечивают более широкий частотный диапазон, свободный от побочных спектральных составляющих.

Два регистра накопления (аккумулятора) позволяют осуществлять линейное изменение частоты, фазы и амплитуды выходного сигнала. 32-разрядный параллельный порт обеспечивает прямой доступ к внутренним регистрам для быстрой и точной фазовой или частотной манипуляции, а также скачкообразную перестройку частоты.

В настоящее время на основе данной микросхемы разрабатывается печатная плата модулятора передающего устройства спутника “SATUM” и отработывается алгоритм работы модулятора.

IV. Заключение

Таким образом, был рассмотрены основные методы синтеза частоты несущего колебания. Показано, что DDS – синтезаторы позволяют легко и удобно управлять частотой и фазой несущего колебания, т.е. выполнять прямую цифровую манипуляцию выходного сигнала с высокой точностью и быстротой. В настоящее время на основе микросхемы AD9915 разрабатывается печатная плата модулятора передающего устройства спутника “SATUM” и отработывается алгоритм работы модулятора.

Библиография

1. Rodrigo O.R. Cardoso, Jose Antonio Justino Ribeiro, Mauricio Silveira. Direct Digital Synthesis Using FPGA, Brazil, Sao Paulo, GCERE, 2005.
2. Vahkka J. Direct Digital Synthesizers: Theory, Design and Applications, Finland, Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.
3. Е. Мерфи, К. Слэттери. Все о синтезаторах частоты, Компоненты и технологии, №1, 2005.
4. О.Стариков. Прямой цифровой синтез частоты и его применение, Инженерная практика, #3(66), 2002, - с.56-64.