

Ромашов В.В., Сочнева Н.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: romashovmurom@mail.ru, sochnewa.natalya@yandex.ru*

Использование интерполирующего цифрового фильтра FIR85 для улучшения спектральных характеристик быстродействующего цифроаналогового преобразователя AD9164

Цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС) широко используются в современных системах синтеза благодаря множеству достоинств перед традиционными системами формирования сигналов: высокой точности синтезируемой частоты, цифровому управлению частотой и фазой выходного сигнала, высокому разрешению по частоте и фазе, высокой скорости перестройки по частоте. Составной частью цифровых вычислительных синтезаторов являются цифро-аналоговые преобразователи частоты (ЦАП), которые позволяют повысить эффективность использования побочных высокочастотных компонент спектра выходного сигнала – образцов основной частоты, возникающих в результате эффекта дискретизации [1].

Одним из недостатков цифровых вычислительных синтезаторов является появление в выходном сигнале побочных (паразитных) спектральных составляющих. Это происходит из-за того, что синтезируемые частоты не кратны тактовой частоте сигнала ЦВС, то есть при переполнении накапливающего сумматора, формирующего линейно нарастающий код фазы, остается остаток. Наихудший случай наблюдается тогда, когда разница между синтезируемыми частотами и ближайшей частотой, кратной частоте сравнения, настолько мала, что фильтр нижних частот не обеспечивает требуемого подавления побочных спектральных составляющих [2]. Для эффективного решения данной проблемы могут использоваться интерполирующие фильтры [2]. Структурная схема основного канала передачи цифровых данных приведена на рисунке 1.

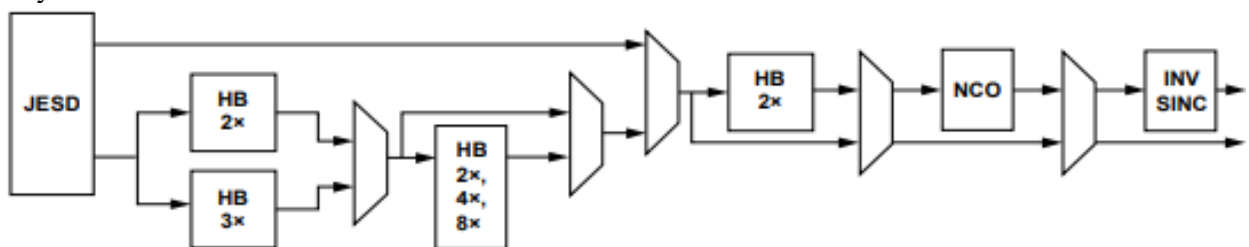


Рисунок 1 – Структурная схема основного канала передачи цифровых данных

Буквами НВ на рисунке обозначены интерполирующие фильтры, которые могут подключаться по выбору. Структурная схема включает в себя входной блок интерполяции с возможностью выбора отключения интерполяции - 1x, использования интерполяции 2x или 3x, три дополнительных фильтра интерполяции с полудиапазоном 2x, конечный фильтр интерполятора режима 2xNRZ, FIR85, который можно обойти, и квадратурный модулятор, состоящий из 48-битного генератора, управляемого программным кодом (NCO), и преобразователя частотной характеристики, компенсирующего огибающую спектра сигнала $(\sin x)/x$ в основной полосе частот – первой зоне Найквиста. Все интерполяционные фильтры принимают потоки данных в виде квадратурного сигнала из двух составляющих I и Q. Аналогично, квадратурный модулятор и функция обратного синуса также принимают входные данные в виде сложного потока данных. Таким образом, любое использование функций цифрового канала передачи данных требует, чтобы входные данные представляли собой сложный поток данных. В режиме отключения интерполяции (1x) ожидается, что входной поток данных будет реальными данными [3].

Основной цифровой тракт содержит пять полудиапазонных интерполяционных фильтров и последний полудиапазонный интерполяционный фильтр, который используется в режиме

2xNRZ. Фильтры расположены каскадом, как показано на рисунке 1. Первая пара фильтров представляет собой фильтр 2x (НВ2) или 3x (НВ3). Каждый из этих фильтров имеет два варианта пропускной способности: 80% или 90%. 80%-ные фильтры имеют меньшую мощность, чем 90%-ные. Фильтры по умолчанию имеют пропускную способность 80% при меньшей мощности. Чтобы выбрать пропускную способность фильтра равной 90%, необходимо запрограммировать бит `FILT_BW` в регистре `DATAPATH_CFG` на 1.

За первой парой фильтров следует серия из 2x полудиапазонных фильтров, каждый из которых вдвое уменьшает полезную полосу пропускания предыдущего. На НВ4 приходится 45%, на НВ5 - 22,5%, а на НВ6 приходится 11,25% пропускной способности передачи данных. Последний полудиапазонный фильтр, FIR 85, используется в режиме 2=NRZ. Он работает со скоростью $2x f_{DAC}$ и имеет полезную полосу пропускания 45% от тактовой частоты ЦАП f_{DAC} . Фильтр FIR85 используется в сочетании со сложными режимами интерполяции для повышения тактовой частоты ЦАП и удаления образов от желаемого сигнала. Пример фильтрации с подавлением близлежащей гармонике образа показан на рисунке 2 [3].

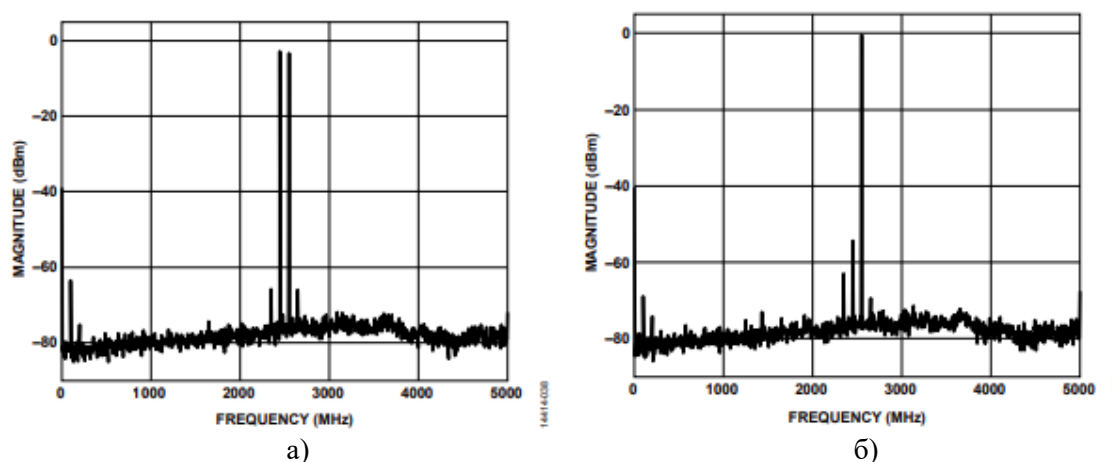


Рисунок 2 – Цифровая фильтрация гармоник первого отрицательного образа при подавлении гармоник основной синтезируемой частоты $f_{ЦВС} = 2350$ МГц

Рассматриваемые фильтры выполняют интерполяцию между существующими данными таким образом, чтобы свести к минимуму близлежащие гармоники образов в спектре выходного сигнала, что практически невозможно реализовать внешними аналоговыми полосовыми фильтрами. Исходя из этого, можно сделать вывод о широких перспективах использования интерполяции в процессах прямого цифрового синтеза для повышения качества синтезируемых сигналов.

Литература

1. Romashov V.V., Doktorov A.N., Yakimenko K.A., Sochneva N.A. «Application high-speed digital-to-analog converters for direct digital synthesis of high-frequency radio signals». Journal of Physics: Conference Series. Volume 1632. Russian open scientific conference «Modern problems of remote sensing, radar, wave propagation and diffraction» (MPRS R WPD) 2020 23-25 June 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1632/1/012023.
2. Зайцев, А.А. Нелинейное комбинированное управление в системе импульсной фазовой автоподстройки частоты / А.А. Зайцев // Труды МФТИ. – 2009. - №2. С. 48-53.
3. High Speed DAC [Электронный ресурс]: сайт компании Analog Devices, Inc., 2021. URL: <https://www.analog.com/ru/products/ad9164.html> (дата обращения: 27.12.2021).