

Матерухин С.Е., Ромашов В.В.

*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: materukhin.sergey@mail.ru*

Цифро-аналоговые преобразователи с дельта-сигма модуляцией для формирователей высокочастотных сигналов.

Устройства формирования радиосигналов, построенные на основе прямого цифрового синтеза, в настоящее время получили широкое распространение в технике радиосвязи, радиолокации и навигации, телекоммуникационной, измерительной и медицинской аппаратуре.

Основой таких устройств являются цифровые вычислительные синтезаторы, реализующие прямой цифровой синтез, когда из базового тактового высокостабильного сигнала методом цифровой обработки создаётся поток цифрового кода, определяющий амплитуду, частоту и фазу синтезируемого аналогового сигнала основой ЦВС являются цифро-аналоговые преобразователи [1].

Основными преимуществами ЦВС перед другими методами синтеза являются [2]:

- высокое разрешение по частоте и фазе;
- быстрая перестройка по частоте (или фазе);
- ЦВС практически не подвержены температурному дрейфу и старению элементов

К основным недостаткам ЦВС, ограничивающим их применение в настоящий момент, относят предел синтезируемой частоты в 1500-3500 МГц и наличие в спектре синтезируемого сигнала дискретных паразитных спектральных составляющих [2].

В последние годы появились публикации, в которых предлагается использовать высшие зоны Найквиста ЦАП с дельта-сигма модуляцией[1]. Применение однобитного ЦАП с дельта-сигма модуляцией позволяет исключить шумы квантования.

Рассмотрим структурную схему прямого цифрового преобразователя на основе дельта-сигма модулятора (рис.1) предложенную в работах Masafumi Kazuno, Noriharu Suematsu [5].

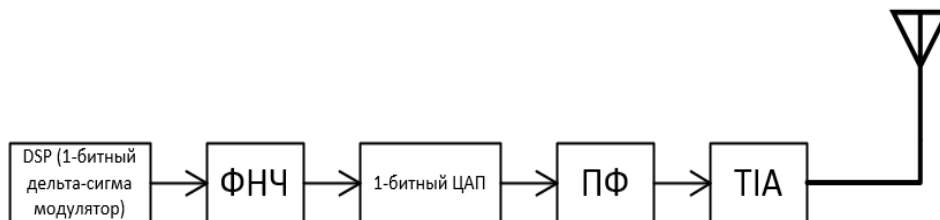


Рис. 1. Структурная схема прямого цифрового преобразователя на основе дельта-сигма модулятора

Основным преимуществом этой архитектуры передатчика заключается в том, что гетеродин и смеситель могут быть удалены. Таким образом, его легко реализовать из-за меньшего размера и меньшего энергопотребления. Но существует ограничение максимальной частоты выходного сигнала, исходящее из предела Найквиста, равного половине частоты дискретизации.

Для того, чтобы генерировать гораздо более высокую частоту, чем предел Найквиста, возможно использование прямого цифрового приемопередатчика, который использует изображение более высокого порядка на выходе ЦАП с 1-разрядным дельта-сигма модулятором и уже продемонстрировал возможность прямого цифрового радиочастотного приемопередатчика в диапазоне 26 ГГц с использованием 8 Гбит/с [5].

Для улучшения (усиления /повторной генерации) образов сигнала более высокого порядка с фильтром нижних частот можно использовать 1-битный ЦАП. Этот ЦАП будет подключен к

выходу лавинного фотодиода (APD)/усилителю трансимпеданса (ТИА) оптоволоконной линии связи

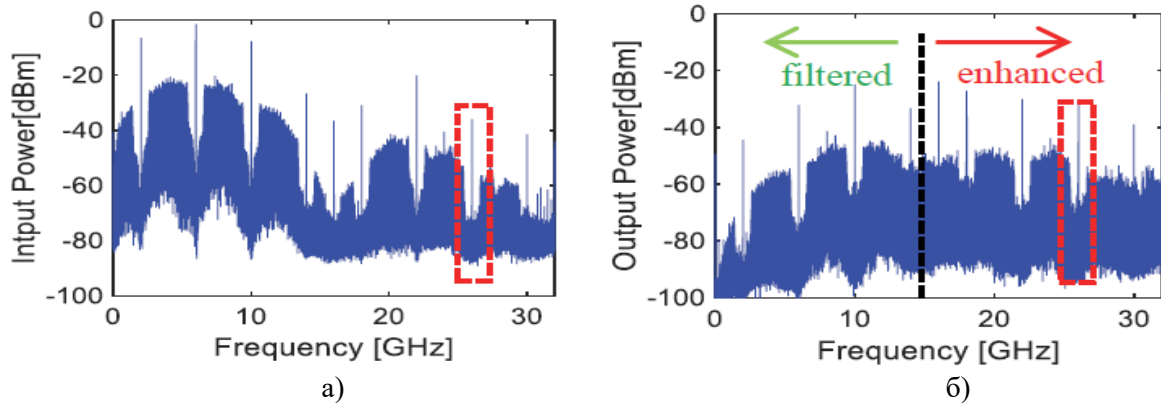


Рис. 2. Спектр входного (а) и выходного (б) сигнала прямого цифрового передатчика

Рассмотрим спектр входного и выходного сигнала полученных [5] (рис.2). Н рис.2, видно, что сигнал низкой частоты ниже 15 ГГц фильтруется, а сигнал в районе 7-й зоны Найквиста (26,01 ГГц) усиливается. На рис.3 (а) и (б) изображен спектр сигнала в 7-й зоне Найквиста (26,01 ГГц). Рассматриваемый 1-разрядный ЦАП с дельта-сигма модуляцией отображает изображение с частотой 26 ГГц повышая мощность сигнала на 4,6 дБ и улучшая его отношение сигнал/шум на 6,1 дБ.

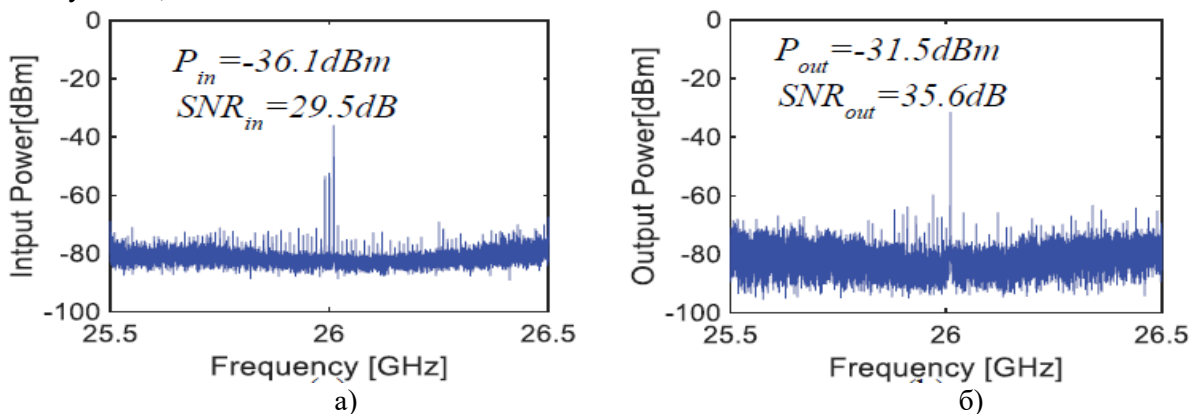


Рис. 3. Спектр входного (а) и выходного (б) сигнала прямого цифрового передатчика на частоте 26 ГГц

Таким образом 1-разрядный ЦАП для прямого цифрового радиочастотного передатчика, в котором используется 1-разрядный дельта-сигма модулятор позволяет улучшать мощность выходного сигнала и его отношение сигнал/шум. Так 1-разрядный ЦАП представленный университетом Тохоку [5] может улучшать образы высокого порядка из компонентов сигнала низкого порядка. Представленный ЦАП успешно улучшает выходную мощность и отношение сигнал/шум в 7-й зоне Найквиста (26,01 ГГц) около 4,6 дБ и 6,1 дБ соответственно. В условиях модулированного сигнала он достигает 4,3 дБ и 5,5 дБ улучшения выходной мощности и SNR.

Литература

1. Опорный генератор для СЧ и ВЧ синтезаторов радиочастот [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cqf.su/technics/technics4-2.html>, свободный – (10.01.2022)
2. Устройства генерирования и формирования сигналов [Электронный ресурс]: научно образоват. модуль в системе дистанц. обучения Moodle / М-во образования и науки РФ, Са-мар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. С. А. Гудков, А. А. Потудинский. - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
3. Ромашов В.В., Докторов А.Н., Якименко К.А., Сочнева Н.А., Матерухин С.Е. Математическое моделирование шумовых характеристик формирователей высокочастотных сигналов на

основе быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей// Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2019. - №4– С.52-59 ISSN 2221-2574.

4. Махлин Александр Дельта-сигма модуляция: назад в будущее // Компоненты и Технологии. 2010. №112. С.154-158

5. J. Zhang, M. Kazuno, M. Motoyoshi, S. Kameda and N. Suematsu, "A 26GHz-Band Image Enhancement Type 1-Bit DAC for Direct Digital RF Modulator," 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), 2018, pp. 479-481, doi: 10.23919/APMC.2018.8617154. Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), 2018, pp. 479-481, doi: 10.23919/APMC.2018.8617154.