

Ромашов В.В., Докторов А.Н., Якименко К.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, doctorov_a_n@mail.ru, yakimenko.kirill@yandex.ru

Применение быстродействующих цифроаналоговых преобразователей в специальных режимах работы для высокочастотного прямого цифрового синтеза в цифровых передатчиках технологии Massive MIMO

Развитие современных систем связи происходит в сторону освоения все более высокочастотных диапазонов, и наращивания в связи с этим пропускной способности. В стандарте систем связи пятого поколения требуются рабочие частоты в десятки ГГц. Кроме этого, ключевой особенностью данного стандарта является увеличение количества параллельных потоков данных с помощью пространственного мультиплексирования и цифрового формирования диаграммы направленности. Это стало возможным благодаря технологии Massive MIMO [1, 2], где в базовых станциях системы связи применяются массивы приемных и передающих антенн. Для цифрового управления диаграммой направленности нужно точно определять разность начальных фаз сигналов для каждой антенны. Поэтому в таких системах широко используется прямой цифровой синтез, позволяющий точно определить все параметры формируемого сигнала и управлять ими.

Развитием технологии прямого цифрового синтеза стало появление быстродействующих радиочастотных цифро-аналоговых преобразователей (РЧ ЦАП)[3, 4]. Они отличаются от обычных цифроаналоговых преобразователей дополнительными блоками цифрового преобразования, позволяющими изменять частотную характеристику ЦАП для создания максимума в более высокочастотной области – в высших зонах Найквиста, где расположены высокочастотные копии спектра – образы основной частоты [5]. Они являются побочным продуктом цифро-аналогового преобразования и всегда присутствуют при восстановлении сигнала в аналоговую форму [6].

Пример структурной схемы передатчика по технологии Massive MIMO показан на рисунке 1.

Цифровая радиосистема на кристалле

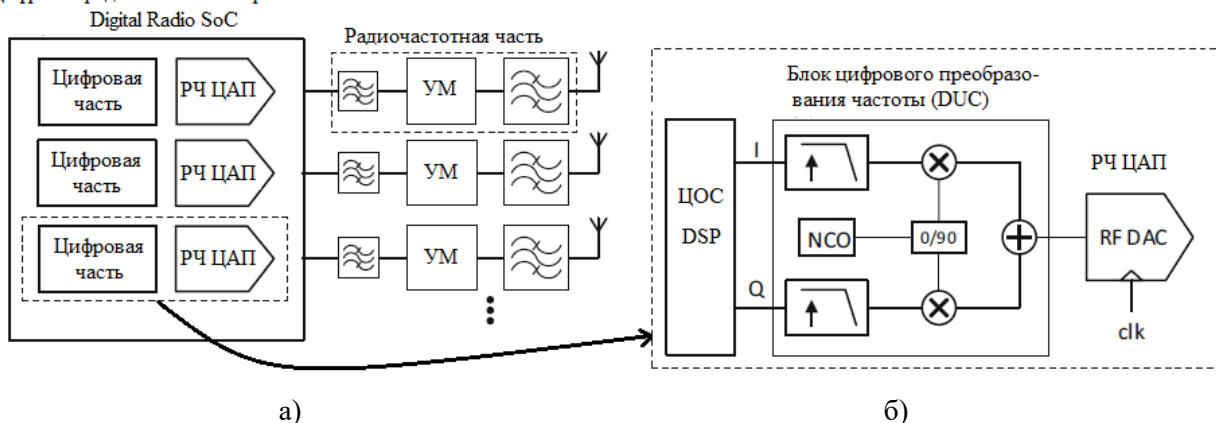


Рис. 1 – а) Обобщенная структурная схема цифрового передатчика в технологии Massive MIMO;

б) Формирователь сигнала с РЧ ЦАП для одного канала передачи

Данная структурная схема часто приводится в публикациях о технологии Massive MIMO [7]. Цифровую часть и радиочастотные ЦАП предлагают объединить в одной системе на общем кристалле, упростив конструкцию и уменьшив габаритные размеры цифровых передатчиков новых систем связи. Радиочастотные тракты каждого из каналов содержат полосовые фильтры и усилители мощности.

Особый интерес представляет блок цифрового преобразования частоты (DUC), входящий в состав цифрового тракта каждого канала, и расположенный непосредственно перед быстродействующим радиочастотным ЦАП. В каждом канале MIMO синфазные (I) и квадратурные (Q) данные основной полосы частот подаются в блок цифрового преобразования с повышением частоты (DUC), где данные интерполируются и подвергаются повышающей дискретизации до частоты обновления РЧ ЦАП, а также в цифровом формате выполняется квадратурная модуляция. Генератор с числовым программным управлением (NCO) обеспечивает сигнал гетеродина со смещением фазы на 0 и 90, подаваемый на цифровой модулятор IQ. Цифровая квадратурная модуляция позволяет убрать сквозной паразитный сигнал гетеродина, который попадает в полосу пропускания несущей.

Быстродействующий ЦАП или RF-sampling DAC, относится к ЦАП, для которых частота дискретизации высока, а выходной сигнал находится в области радиочастот. В зависимости от архитектуры и вариантов реализации, РЧ ЦАП может использовать первую, вторую или даже более высокие зоны Найквиста для синтеза сигнала на желаемой радиочастоте. В ЦАП с удержанием нулевого порядка (режим NRZ) аналоговый сигнал восстанавливается с помощью амплитудно-импульсной модуляции (PAM) цифровых входных данных с использованием прямоугольного импульса с длительностью периода дискретизации $T_s = 1/f_s$, а частотная характеристика является взвешенной функцией sinc с нулями, кратными частоте дискретизации, амплитуда высокочастотных гармоник падает. Однако при смешивании RF DAC сигнал PAM может быть осциллирующим импульсом, амплитуда которого модулируется с уровнем входного цифрового кода, что приводит к более высокой энергии образов сигнала [3].

В зависимости от особенностей реализации структуры быстродействующих ЦАП может быть несколько специальных режимов работы, определяющих длительность и полярность импульсов восстановления сигнала на выходе ЦАП – RZ, RF, RFZ[3, 4]. Их использование позволяет расширить диапазон выходных частот с эффективным синтезом аналогового сигнала, и открывает широкие возможности для разработки цифровых передатчиков в системах технологии Massive MIMO.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук в рамках научного проекта № МК-4044.2021.4

Литература

1. Kuckreja Ajay, OstremGeir, "High-Speed DACs ease transmitter designs," Microwave & RF, August 2010.
2. Noriharu Suematsu "Direct Digital RF Technology - Challenges for Beyond Nyquist Frequency Range", 2018 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, RFIT 20185 November 2018, Номер статьи 8524086.
3. High Speed DAC [Электронный ресурс]: сайт компании Analog Devices, Inc., 2020. URL: <http://www.analog.com/en/products/digital-to-analog-converters/high-speed-da-converters.html>
4. High-Speed DACs [Электронный ресурс]: сайт компании Maxim Integrated, 2020. URL: <https://para.maximintegrated.com/en/results.mvp?fam=hsdacs&tree=master>
5. Romashov V.V., Khramov K.K., Doktorov A.N. "The Use of Images of DDS Fundamental Frequency for High-Frequency Signals Formation," 2014 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology Conference Proceedings. 2014, pp. 310-311.
6. Под ред. Уолта Кестера. Аналого-цифровое преобразование. Москва: Техносфера, 2007. – 1016 с.
7. M. Reza Sadeghifar, Håkan Bengtsson, J. Jacob Wikner "A voltage-mode RF DAC for massive MIMO system-on-chip digital transmitters", Analog Integrated Circuits and Signal Processing (2019) 100:683–692 <https://doi.org/10.1007/s10470-019-01497-9>