

Ромашов В.В., Докторов А.Н., 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, doctorov\_a\_n@mail.ru, sochnewa.natalya@yandex.ru

### Анализ структурной схемы преобразователя частотной характеристики быстродействующих цифроаналоговых преобразователей в режиме RF

Совершенствование современных радиотехнических и телекоммуникационных систем, использование новых методов обработки сигнала, освоение более высокочастотных диапазонов и наращивание пропускной способности каналов связи предъявляет повышенные требования к качеству систем синтеза частот. Широко распространенным решением стало использование цифровых вычислительных синтезаторов частот, построенным на основе технологии прямого цифрового синтеза.

Развитием технологии прямого цифрового синтеза стало появление быстродействующих радиочастотных цифро-аналоговых преобразователей (РЧ ЦАП)[1]. 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 [2, 3]. Они являются побочным продуктом цифро-аналогового преобразования и всегда присутствуют при восстановлении сигнала в аналоговую форму [4]. Быстродействующие ЦАП при использовании специальных режимов работы эффективны для формирования сигнала на образах основной частоты, во второй, третьей и более высокочастотных зонах Найквиста.

Быстродействующие ЦАП, как правило, являются цифроаналоговыми преобразователями с суммированием весовых токов каждого разряда. Обобщенная структурная схема радиочастотного быстродействующего ЦАП в режиме RF приведена на рисунке 1 [5].

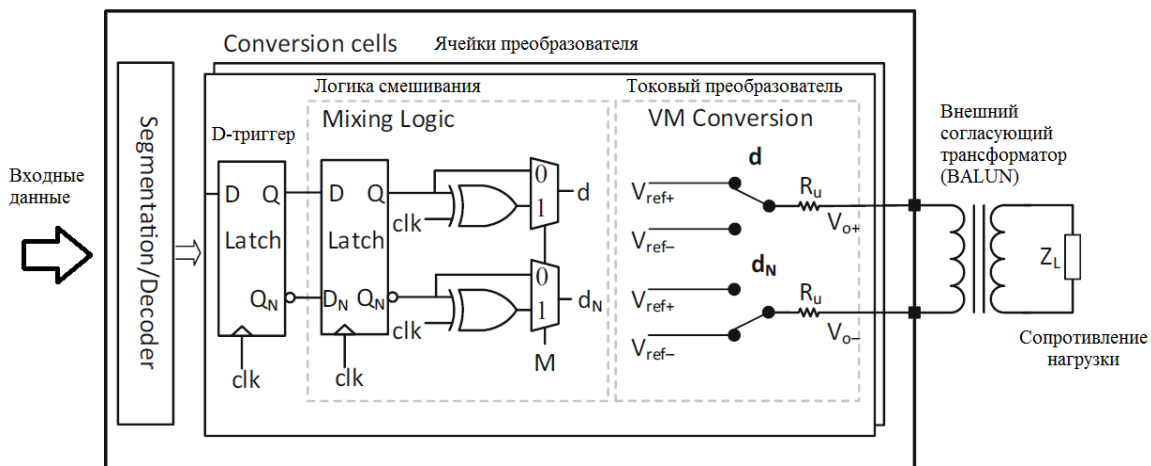


Рис. 1 – Обобщенная структурная схема быстродействующего цифроаналогового преобразователя для режима RF

Входные данные сегментируются и декодируются, а затем поступают в ячейки преобразователя. Количество ячеек определяется разрядностью ЦАП. Каждая ячейка состоит из входного D-триггера - защелки, в котором на время операции преобразования удерживается состояние бита каждой линии параллельного интерфейса, логики смешивания, позволяющей переключать режимы работы, например с NRZ (обычный режим ЦАП) на RF (режим радиочастоты) и наоборот. Для этого используется управляющий бит M (Mode – режим работы ЦАП). Элементы «Исключающее ИЛИ» подключаются в режиме RF и выходной сигнал будет

определяться взаимодействием битов данных и импульсов тактовой частоты в соответствии с данной логической функцией. Полученные в результате работы логики смешивания обработанные цифровые сигналы данных поступают на токовые преобразователи по дифференциальным линиям  $d$  и  $d_n$ . В соответствии с этими сигналами переключаются транзисторы в токовом преобразователе, подключая весовые источники тока к выходам схемы. Резисторы  $R_u$  – весовые резисторы, определяющие значение тока для каждой ячейки разряда. Для преобразования сигнала из симметричной дифференциальной линии в несимметричный для подключения нагрузки применён внешний согласующий трансформатор.

Быстродействующий ЦАП в режиме RF формирует выходной сигнал в виде двух разнополярных импульсов (рисунок 2), амплитуда которых зависит от величины выборки ( $A_1$ ,  $A_2\dots$ ), а длительность импульсов как положительной, так и отрицательной полярности фиксирована и составляет половину интервала дискретизации, определяемого частотой дискретизации.

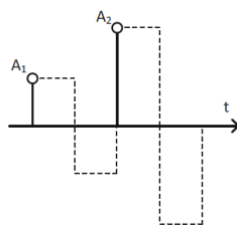


Рисунок 2 – Пример выходного сигнала быстродействующего ЦАП в режиме RF

Данная схема построения высокочастотного быстродействующего ЦАП позволяет повысить эффективность прямого цифрового синтеза высокочастотных сигналов, однако она будет наиболее эффективна только для первого положительного и первого отрицательного образов, расположенных во второй и третьей зонах Найквиста. Для повышения эффективности использования других, более высокочастотных образов необходимо изменять длительность и расположение на интервале дискретизации разнополярных импульсов. В дальнейших исследованиях планируется провести схемотехническое моделирование данной схемы ЦАП.

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. 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>
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. 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.
4. Под ред. Уолта Кестера. Аналого-цифровое преобразование. Москва: Техносфера, 2007. – 1016 с.
5. 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>