

Ромашова Л.В., Докторов А.Н.

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: romashovamurom@mail.ru, doctorov\_a\_n@mail.ru

### Архитектура быстродействующих ЦАП в специальных режимах работы RZ и RF

Современные системы синтеза радиочастотных сигналов для достижения параметров высокого быстродействия, широкой полосы синтезируемых сигналов и высокого разрешения по частоте используют преимущественно прямой цифровой синтез. Синтезаторы частот, построенные на основе данного метода синтеза, называют цифровыми вычислительными синтезаторами. Одним из направлений развития метода прямого цифрового синтеза стало использование образов основной частоты – копий спектра сигнала основной частоты [1]. Выделение с помощью полосового фильтра высокочастотных образов, расположенных в высших зонах Найквиста, позволяет увеличить частоту выходного сигнала ЦВС. Для повышения эффективности использования образов были разработаны быстродействующие цифро-аналоговые преобразователи, форма импульсов восстановления на выходе которых определяется специальными режимами работы выходных каскадов. Основному традиционному режиму работы ЦАП было дано название NRZ, характеризующее этот режим отсутствием возврата импульса восстановления к нулю.

Формирование импульсов восстановления более сложной формы, чем в режиме NRZ, требует изменения архитектуры выходных каскадов ЦАП. Традиционной является двухключевая архитектура, когда токовый выход каждого из разрядов ЦАП подключается двумя ключами к источнику питания и земле. Такая структура позволяет подключать и отключать источник тока каждого из разрядов к выходу ЦАП на полное время одного периода тактового сигнала.

Для обеспечения режима с возвратом к нулю (RZ) [2], когда половину периода тактового сигнала на выходе ЦАП есть импульс восстановления, а во второй половине выход ЦАП отключается от источника тока разряда и подключается к земле, в [3] разработана схема с дополнительными транзисторами, показанная на рисунке 1, а.

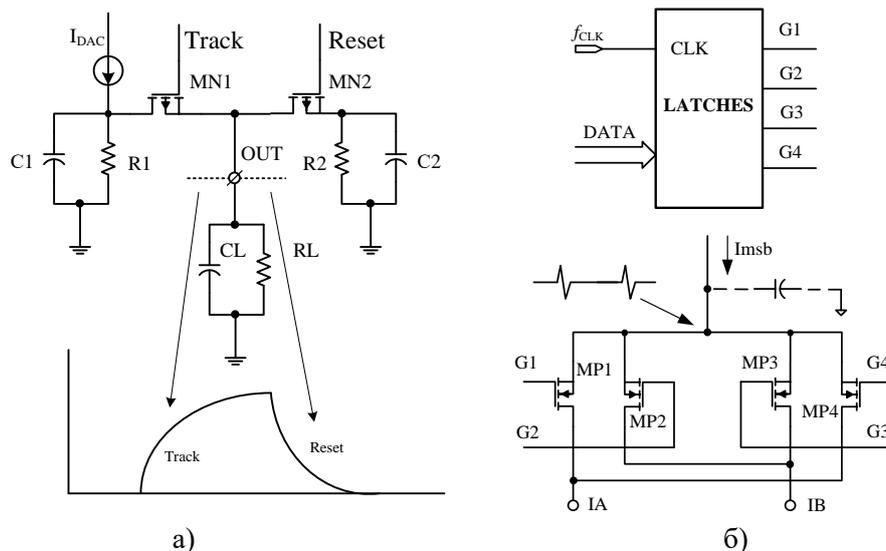


Рисунок 1 а) Использование двух дополнительных транзисторов для режима RZ;  
б) четырехключевая транзисторная архитектура управления источником тока каждого из разрядов преобразователя

Впервые режим работы RZ высокочастотного ЦАП с возвратом к нулю для изменения спектра выходного сигнала ЦАП и повышения эффективности его работы был описан в статье

[13]. Огибающая спектра выходного сигнала ЦАП в режиме RZ также представляется функцией  $(\sin x)/x$ , но нули функции расположены на частотах, кратных  $2f_{\text{CLK}}$ . Часть энергии сигнала теряется в процессе синтеза. Режим RZ может быть использован для синтеза широкополосных сигналов в первой или второй зонах Найквиста, так как при этом происходит выравнивание огибающей спектра выходного сигнала.

Режим RF с использованием двухполярных импульсов позволяет увеличить эффективность применения образов основной частоты при  $n = -1, 1$  во второй и третьей зонах Найквиста. Впервые данный режим описан и исследован в статье [4] под названием two phase  $1/2T_s$ . Существует и другая разновидность специального режима RF[4], отличающиеся различной длительностью положительного и отрицательного импульсов ( $1/4T_s$ ). Это позволяет выравнивать огибающую в областях нулей функции  $(\sin x) / x$ .

Для формирования биполярных импульсов за один период тактового сигнала применяется четырехключевая архитектура выходных каскадов ЦАП, показанная на рисунке 1, (б). Современные микросхемы быстродействующих ЦАП поддерживают в качестве основных режимов работы режимы RZ и RF ( $1/2T_s$ ). К таким ЦАП можно отнести микросхемы компании Analog Devices AD9739, AD9161, AD9162, AD9163, AD9164. Внедрение четырехключевой архитектуры для управления источником тока каждого из эталонных разрядов ЦАП позволило быстродействующим цифро-аналоговым преобразователям эффективно формировать высокочастотные сигналы - образы основной частоты во второй и третьей зонах Найквиста при использовании режима RF.

Дальнейшее развитие данной архитектуры подразумевает использование других, более эффективных режимов работы быстродействующих ЦАП, в которых огибающая спектра выходного сигнала изменяется так, чтобы увеличить амплитуды гармоник образов в высших зонах Найквиста, например в 9-11 зонах. Это позволяет увеличить частоту выходного сигнала цифровых формирователей, построенных на методе прямого цифрового синтеза, а также улучшить их шумовые характеристики.

### Литература

1. 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.
2. A.R. Bugeja et al., A 14-b, 100-MS/s CMOS DAC designed for spectral performance IEEE J. Solid-State Circuits, 34(12), 1719–1732, 1999.
3. S. Park et al., A digital-to-analog converter based on differential-quad switching IEEE J. Solid-State Circuits, 37(10), 1335–1338, 2002
4. Chen S.Y.-S, Kim N.S., Rabaey J.M. Multi-mode sub-nyquist rate digital-to-analog conversion for direct waveform synthesis // 2008 IEEE Workshop on Signal Processing Systems, SiPS: Design and Implementation. Article number 4671747. Pp 112-117. Washington, DC, 8 October 2008 - 10 October 2008, 74831. DOI 10.1109/SIPS.2008.4671747
5. 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).