

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: yakimenko.kirill@yandex.ru

### Алгоритм оптимизации спектральных характеристик гибридных синтезаторов частот на основе быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей

Формирователи сигналов на основе прямого цифрового метода синтеза имеют ряд достоинств, таких как малый шаг и высокая скорость перестройки по частоте, поддержка различных типов модуляций, хорошие шумовые характеристики и др. Однако, один из основных недостатков таких формирователей — большое количество и значительный уровень дискретных побочных составляющих спектра выходного сигнала. В настоящее время выпускаются быстродействующие цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), которые способны работать в специальных режимах работы [1–3]. Специальные режимы работы позволяют перераспределить амплитуду образов основной частоты, т.е. переключением режимов работы можно увеличить амплитуду образа в требуемом диапазоне частот (рис. 1–3).

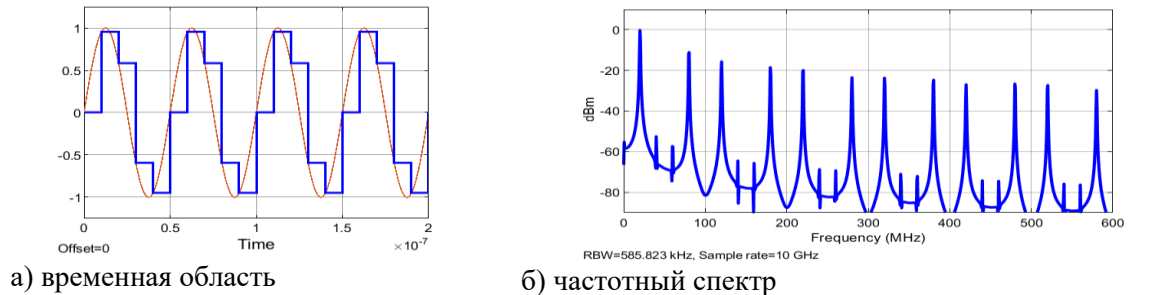


Рис. 1. Выходной сигнал ЦАП в режиме NRZ

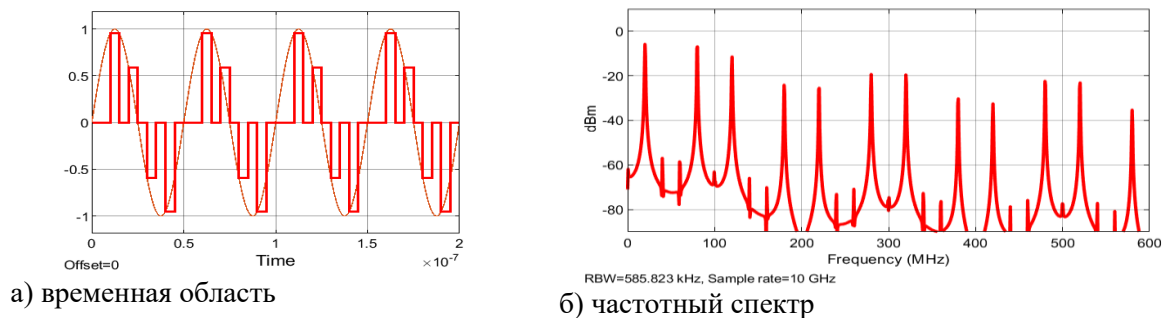


Рис. 2. Выходной сигнал ЦАП в режиме RZ

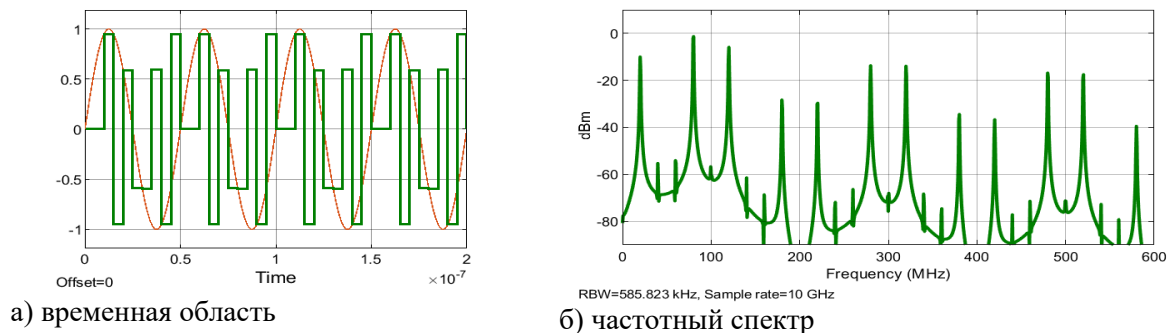


Рис. 3. Выходной сигнал ЦАП в режиме RF

Требуемый образ выделяется полосовым фильтром. Однако обеспечить полного подавления ненужных образов полосовыми фильтрами практически невозможно. Кроме того при малых коэффициентах передачи ЦВС положительный и отрицательный образы сближаются, из-за чего «разделить» их практически невозможно, даже применив фильтры высоких порядков. В связи с этим необходимо либо избегать попадания «разнополярных» образов в полосу пропускания полосового фильтра (что приведет к ограничениям частотного диапазона), либо обеспечить возможность изменять тактовую частоту в процессе перестройки. Целью данной работы является разработка алгоритма оптимизации спектральных характеристик формирователей сигналов на основе быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей.

Одним из вариантов решения указанной проблемы может стать гибридный метод синтеза [4], основанный на совместном использовании прямого цифрового и косвенного методов синтеза. Применение системы ФАПЧ, которая обладает хорошими фильтрующими свойствами, позволяет практически исключить попадание нежелательных дискретных ПСС прямого цифрового синтезатора в выходной сигнал формирователя.

На рис. 4 представлены спектры выходного сигнала гибридного синтезатора в «узком» (а) и «широком» (б) диапазонах частот. Видно, что в спектре практически отсутствуют дискретные составляющие.

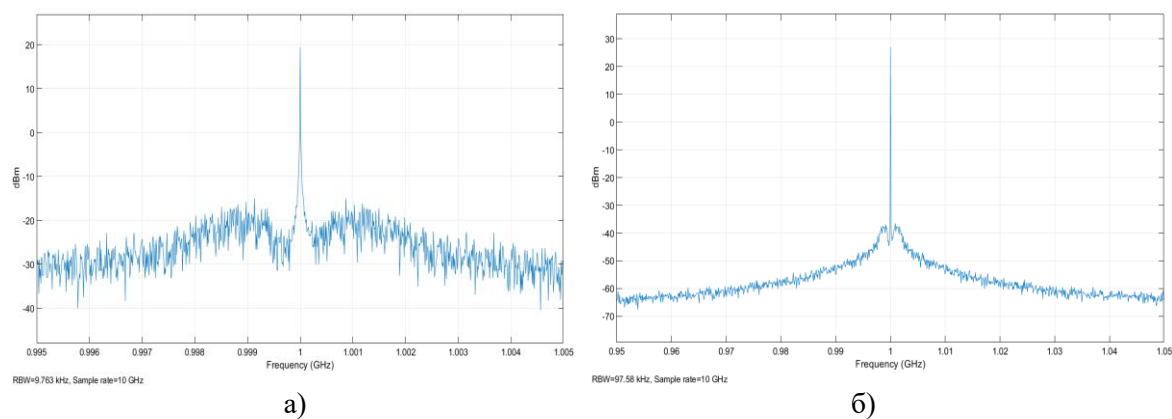


Рис. 4. Спектр выходного сигнала гибридного синтезатора

В докладе предлагается описание алгоритма, позволяющего устранить проникновение нежелательных дискретных ПСС в полосу пропускания петлевого ФНЧ, а также позволяющего расширить диапазон формируемых гибридным синтезатором частот вдвое за счет переключения быстродействующего ЦАП в определенный режим работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-358.2022.4.

### Литература

1. Kuckreja Ajay, Ostrem Geir, “High-Speed DACs ease transmitter designs,” *Microwave & RF*, August 2010.
2. Храмов К.К., Ромашов В.В. Сравнительный анализ режимов работы быстродействующих ЦАП // *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*. 2018, № 4. С. 44–54.
3. Khramov K.K., Romashov V.V. “Operational modes of high-speed DACs: analysis and mathematical modeling,” *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1096, Issue 1, 2019, p. 012158. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012158.
4. Пат. РФ № RU 214526. Гибридный синтезатор частот на основе быстродействующего цифро-аналогового преобразователя в специальных режимах работы / Ромашов В.В., Якименко К.А., Докторов А.Н., Сочнева Н.А. Заявл. 25.05.2022; опублик. 02.11.2022.