

Ромашов В.В., Докторов А.Н., Матерухин С.Е., 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: romashovmurot@mail.ru, doctorov\_a\_n@mail.ru

### Коэффициенты передачи шумовых характеристик быстродействующих цифроматричных преобразователей в различных режимах работы

Развитие технологии цифроматричного преобразования привело к созданию нескольких новых режимов работы цифроматричных преобразователей [1-3], предназначенных для использования образов основной частоты [4-6]. Применение новых режимов работы ЦАП позволяет увеличить отношение сигнал/шум без использования дополнительных устройств, путем изменения огибающей частотной характеристики. В целом все это приводит к улучшению шумовых характеристик формирователей сигналов [7-9].

Рассмотрим режимы работы быстродействующего цифроматричного преобразователя.

1. Нормальный режим работы, или non-return-to-zero (NRZ). Максимум частотной характеристики приходится на первую зону Найквиста.

2. Режим работы ЦАП, в котором применяется уменьшение длительности  $\tau$  тактовых импульсов, получил название return-to-zero (RZ) mode. [1-3].

3. Принципиально другим режимом работы, применяемым в некоторых быстродействующих ЦАП, является radio frequency (RF) [3]. При его реализации каждый тактовый импульс режима NRZ представляется двумя разнополярными импульсами длительностью  $\tau = T/2$  (рис. 3, в).

4. Путем уменьшения длительности разнополярных импульсов режима RF реализован еще один режим работы, известный как RFZ (radio frequency return-to-zero mode) [1-2].

5. Еще один режим работы ЦАП, условно названный RFZ2 [10]. В нем изменение длительности тактовых импульсов осуществляется относительно  $t = 0$  и  $t = T/2$ .

Для оценки изменения огибающей спектра выходного сигнала, используют коэффициенты передачи шумовых характеристик. Перейти к СПМ фазовых шумов возможно с помощью квадрата коэффициента передачи фазовых шумов:

$$Z_{RZ}(K_{ЦБС}, q, n) = \frac{1}{K_{RZ}} = 10 \lg \left( \left( \frac{\sin(\pi|n + K_{ЦБС}|)}{\sin\left(\pi \frac{|n + K_{ЦБС}|}{q}\right)} \right)^2 \right), \quad (4)$$

Коэффициент передачи фазовых шумов для режима RFZ имеет вид:

$$Z_{RFZ}(K_{ЦБС}, q, n) = 10 \lg \left( \left( \frac{\sin(\pi|n + K_{ЦБС}|)}{2 \sin^2\left(\pi \frac{|n + K_{ЦБС}|}{q}\right)} \right)^2 \right), \quad (5)$$

В режиме RFZ2 коэффициент передачи фазовых шумов равен:

$$Z_{RFZ2}(K_{ЦБС}, q, n) = 10 \lg \left( \left( \frac{\sin(\pi|n + K_{ЦБС}|)}{2 \sin\left(\pi \frac{|n + K_{ЦБС}|}{q}\right)} \cdot \sin\left(\pi \frac{|n + K_{ЦБС}|}{2}\right) \right)^2 \right) \quad (7)$$

На рисунке 1 приведены зависимости коэффициента передачи шума от скважности для различных номеров образов для  $K_{ЦБС} = 0,25$

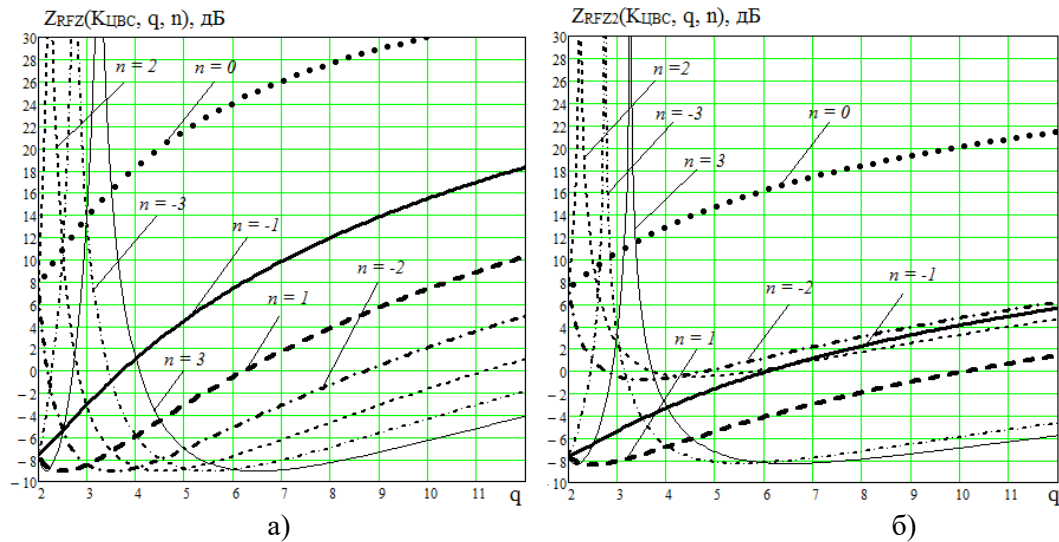


Рис. 1 – Зависимость коэффициента передачи шума от скважности для различных номеров образов основной частоты ЦБС: а) режим RFZ; б) режим RFZ2

Анализируя зависимости на рисунке 1, можно отметить, что использование режимов RFZ и RFZ2 позволяет дополнительно снизить уровень шума на 8..9 дБ в зависимости от выбранного образа и скважности.

Таким образом, применение специальных режимов работы быстродействующих ЦАП позволяет изменять огибающую частотной характеристики так, чтобы увеличилась амплитуда соответствующего высокочастотного компонента спектра. В целом все это приводит к росту отношения сигнал/шум или эквивалентному снижению уровня шумов. Наиболее эффективными для достижения данной цели оказались режимы RFZ и RFZ2.

### Литература

1. High-Speed DACs [Электронный ресурс]: сайт компании Maxim Integrated, 2017. URL: <https://para.maximintegrated.com/en/results.mvp?fam=hsdacs&tree=master>
2. High Speed DAC [Электронный ресурс]: сайт компании Analog Devices, Inc., 2017. URL: <http://www.analog.com/en/products/digital-to-analog-converters/high-speed-da-converters.html>
3. Kuckreja Ajay, Ostrem Geir, "High-Speed DACs ease transmitter designs," Microwave & RF, August 2010.
4. Romashov V.V., Romashova L.V., Khramov K.K., Yakimenko K.A. "The Use of Images of DDS in the Hybrid Frequency Synthesizers," 2014 24th International Crimean Conference Micro-wave and Telecommunication Technology Conference Proceedings. 2014, pp. 302-303.
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. Ромашов В.В., Храмов К.К. Формирователи сетки опорных частот возбудителя передатчика с использованием образов основной частоты // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2011, № 13. С. 44-47.
7. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н. Модель спектральной плотности мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов на образах основной частоты // Радиопромышленность. 2012. № 2. С. 38-48.
8. Ромашов В.В., Храмов К.К. Формирование сигналов в ОВЧ и УВЧ диапазонах при использовании метода прямого цифрового синтеза частот // Радиотехника. 2007, №6. С.39-41.
9. Ромашов В.В., Храмов К.К., Докторов А.Н. Частотное планирование формирователей сигналов радиосистем на основе цифровых вычислительных синтезаторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012, № 4. С. 10-15.
10. Khramov K.K., Romashov V.V. Mathematical modeling of operational modes of high-speed DACs. В сборнике: Информационные технологии и нанотехнологии. Сборник трудов ИТНТ-

2018. Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. 2018. С. 1403-1411.