

Ромашов В.В., Якименко К.А., Грошков И.Д.,
Сочнева Н.А., Докторов А.Н., Храмов К.К.

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: romashovamur@yandex.ru, sochnewa.natalya@yandex.ru

Гибридные цифро-аналоговые формирователи сигналов на быстродействующих ЦАП

В современных радиосистемах используются формирователи радиосигналов на основе цифровых вычислительных синтезаторов, у которых пока еще ограничен частотный диапазон. Для его расширения вверх применяются различные методы, одним из которых является применение гибридных синтезаторов частот. При этом для формирования радиосигналов используются цифровые методы с применением быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей ЦАП, а для повышения частоты выходного сигнала могут использоваться простейшие аналоговые системы преобразования вверх, системы фазовой автоподстройки частоты и другие.

Применение формирователей на основе ЦАП совместно с аналоговыми системами преобразования реализует цифро-аналоговый формирователь радиосигналов. Достоинством таких систем является простота реализации, к недостаткам следует отнести невыдающиеся шумовые характеристики. Однако для ряда приложений их оказывается достаточным.

Рассмотрим схему цифро-аналогового формирователя на основе ЦАП и смесителя, приведенную на рисунке 1.

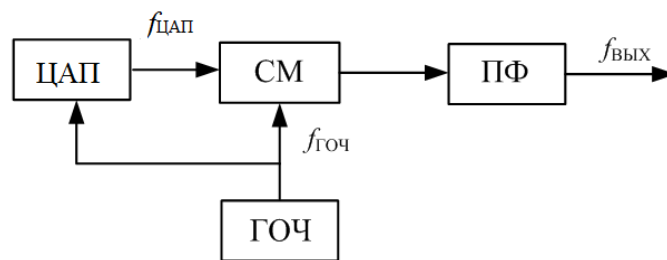


Рисунок 1 Цифро-аналоговый формирователь радиосигналов

В качестве генераторов опорной частоты ГОЧ можно использовать генераторы с резонаторами на поверхностных акустических волнах (ПАВ), которые отличаются высокими выходными частотами и низким уровнем фазовых шумов.

В качестве альтернативы гибриднему цифро-аналоговому формирователю можно использовать копии спектра выходного сигнала ЦАП (образы основной частоты), частоты которых представляют суммарную и разностную частоты и эквивалентны в схеме со смесителем.

Одной из основных технических характеристик, определяющих качество устройств формирования радиосигналов, является спектральная плотность мощности (СПМ), представляющая собой отношение мощности шумов на частоте F одной боковой полосы в полосе частот 1 Гц к мощности сигнала. Сравним эти 2 варианта построения формирователя по уровню СПМ фазовых шумов.

Для моделирования СПМ фазовых шумов такого цифро-аналогового формирователя используем математическую модель в виде

$$S_{\text{ЦАП}}(F) = [S_{\text{ГОЧ}} \cdot K_{\text{ЦАП}}^2 + S_{\text{ЦАП}}] / K_{\text{СМ}}^2 + S_{\text{ГОЧ}} + S_{\text{СМ}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{ГОЧ}}$, $S_{\text{СМ}}$ модели СПМ фазовых шумов генератора опорной частоты ГОЧ и смесителя СМ; $K_{\text{ЦАП}} = f_{\text{ЦАП}}/f_{\text{Г}}$ – коэффициент передачи ЦАП; $K_{\text{СМ}}$ – коэффициент передачи смесителя.

В качестве модели СПМ ЦАП используем [1]

$$S_{\text{ЦАП}}(F) = K_{\text{ЦАП}}^2 \left(\frac{10^{k_2}}{F^2} + \frac{10^{k_1}}{F} + 10^{k_4} \right) + 10^{k_3} + S_{\text{КВ}}, \quad (2)$$

где F - отстройка от несущей частоты, $S_{\text{КВ}} = 2^{-2N-0.59} \frac{f_{\text{ЦАП}}}{f_T^2}$ - шумы квантования, N - количество разрядов ЦАП.

Коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 определяют уровень СПМ $1/F^2$ шума, $1/F$ шума, естественной шумовой составляющей входных цепей и естественной шумовой составляющей сопротивления нагрузки. С учетом методики расчета данных коэффициентов на основе экспериментальных характеристик, приведенной в [2], для исследуемого ЦАП AD9164 величины коэффициентов: $k_1=-8,4, k_2=-5,7, k_3=-17,1, k_4=-15,4$.

Для ЦАП на образах основной частоты СПМ фазовых шумов из [3] запишется в виде

$$S_{\text{ЦАП-обр}}(F) = S_{\text{ЦАП}}(F) \left(\frac{\pi |n + K_{\text{ЦАП}}|}{\sin(\pi |n + K_{\text{ЦАП}}|)} \right)^2 \quad (3)$$

где $n = \pm 1, \pm 2 \dots$ номера образа,

а для формирователя с учетом шумов ГОЧ

$$S_{\text{ЦАФ}}(F) = S_{\text{ГОЧ}}(F)(n^2 + K_{\text{ЦАП}}^2) + S_{\text{ЦАП-обр}}(F).$$

На рис. 1 приведено сравнение шумовых характеристик цифро-аналогового формирователя со смесителем с характеристиками ЦАП с использованием образов.

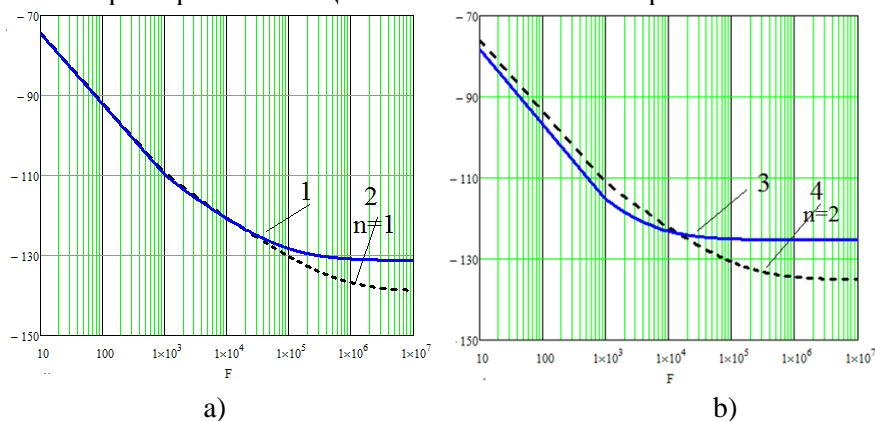


Рисунок 2 СПМ фазовых шумов формирователей радиосигналов:

1 и 3 – цифро-аналогового формирователя со смесителем, 2 и 4 - ЦАП на образах основной частоты,

а) $f_{\text{ЦАП}} = 160$ МГц, $f_T = 600$ МГц, выходная частота формирователей 760 МГц;

б) $f_{\text{ЦАП}} = 160$ МГц, $f_T = 1200$ МГц, выходная частота формирователей 1360 МГц

Видно, что применение образов ЦАП позволяет уменьшить СПМ фазовых шумов формирователя радиосигналов по сравнению с цифро-аналоговым формирователем со смесителем, причем с увеличением тактовой частоты уровень шумов для первого уменьшается, а для второго увеличивается.

Литература

1. В.В.Ромашов, Л.В.Ромашова, И.Д.Грошков, Н.А.Сочнева Математические модели шумовых характеристик цифро-аналоговых преобразователей // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2021, №2. С. 50 – 57.

2. Л.В.Ромашова, Н.А.Сочнева Обзор методов моделирования шумовых характеристик устройств формирования радиосигналов // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2021, выпуск 23. С. 55 – 61.

3. Romashov, V.V., Romashova, L.V., Doktorov, A.N., Yakimenko, K.A., Sochneva, N.A. Mathematical models of noise characteristics of high - speed digital - to - analog converters of radar signal generators // Journal of Physics: Conference Series. Volume 1991. Russian open scientific conference «Modern problems of remote sensing, radar, wave propagation and diffraction» (MPRS-RWPD) 2021 25-27 May 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1991/1/012024.