

Завьялов А.О.

Научный руководитель: доктор техн. наук, профессор В.В. Ромашов
 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, zavjaloffalescha@mail.ru

Математическое моделирование гибридного синтезатора частот на основе ФАПЧ и с использованием образов основной частоты ЦВС

Методы математического моделирования широко используются для проектирования разнообразных радиосистем. Важнейшим параметром является спектральная плотность мощности (СПМ) фазовых шумов. Рассмотрим метод математического моделирования СПМ фазовых шумов на примере гибридного синтезатора частот на основе ФАПЧ со смесителем и с использованием образов основной частоты ЦВС.

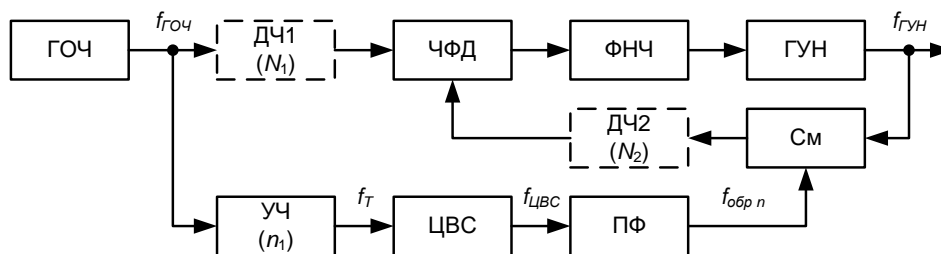


Рис. 1. Структурная схема гибридного синтезатора частот на основе однокольцевой ИФАПЧ и с использованием образов основной частоты ЦВС

На структурной схеме применены обозначения: ГОЧ – генератор опорной частоты; ЦВС – цифровой вычислительный синтезатор; ДЧ1, ДЧ2 – делители частоты с фиксированными коэффициентами деления N_1 , N_2 ; ЧФД – частотно-фазовый детектор; ФНЧ – фильтр нижних частот; ГУН – генератор, управляемый напряжением; См – смеситель частоты.

Перспективным способом повышения выходной частоты формирователей является использование побочных компонент спектра выходного сигнала ЦВС – образов.

Частоты образов можно записать в виде

$$f_{образ\ n} = |n|f_T + \text{sgn}(n)f_{осн}, \quad (1)$$

где $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ – номер образа. При $n = 0$ на выходе ЦВС основная частота f_{out} .

Для анализа шумовых характеристик гибридного синтезатора воспользуемся моделью спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов системы ФАПЧ со смесителем из [6], добавив в нее модели СПМ умножителя частоты и ЦВС на образах основной частоты [2]

$$S_{ФАПЧ}(F) = \left[\frac{S_{ГОЧ}(F)}{N_1^2} + S_{ДЧ1}(F) + S_{ЧФД}(F) + S_{ДЧ2}(F) + \frac{1}{N_2^2} [S_{См}(F) + S_{УЧ}(F)(n - K_{ЦВС})^2 + S_{ЦВС\ образ}(F)] \right] * |H_{31}(F)|^2 + S_{ГУН}(F) \cdot |H_{32}(F)|^2 \quad (2)$$

Здесь F – частота отстройки, а символами S обозначены, соответственно, СПМ фазовых шумов генераторов, делителей, частотно-фазового детектора, смесителя, умножителя частоты на ИФАПЧ и ЦВС [1-6]:

$$S_{ГОЧ}(F) = \frac{10^{-7,82}}{F^3} + \frac{10^{-9,86}}{F^2} + \frac{10^{-12,7}}{F} + 10^{-15,8}; \quad (3)$$

$$S_{ГУН}(F) = \frac{10^{-13,3}}{F^3} \frac{f_{ГУН}^2}{Q^2} + \frac{10^{-16,7}}{F^2} \frac{f_{ГУН}^2}{Q^2} + \frac{10^{-13}}{F} + 10^{-16,2}, \quad (4)$$

где Q – добротность контура ГУН;

$$S_D(F) = \frac{10^{-14,7} + 10^{-28} f_D^2}{F} + 10^{-16,5} + 10^{-23} f_D, \quad (5)$$

где f_D – частота сигнала на выходе делителя;

$$S_{\Phi D}(F) = \frac{10^{-14} + 10^{-28} f_{cp}^2}{F} + 10^{-16} + 10^{-23} f_{cp}, \quad (6)$$

где f_{cp} – частота сравнения ЧФД;

$$S_{CM}(F) = \frac{10^{-14,7}}{F} + 10^{-16,5}; \quad (7)$$

$$S_{\gamma\gamma}(F) = [S_{ГОЧ}(F) + S_{\Phi D_{2-2}}(F) + S_{ДЧ_{2-2}}(F)]^* |H_{31_{2-2}}(F)|^2 + S_{ГВН_{2-2}}(F) \cdot |H_{32_{2-2}}(F)|^2; \quad (8)$$

$$S_{ЦВС\ обр}(F) = \left(\frac{f_{оч}}{f_T}\right)^2 \left(\frac{10^{k_2}}{F^2} + \frac{10^{k_1}}{F} + 10^{k_4}\right) + \left(10^{k_3} + 2^{-2N-0,59} \left(\frac{f_{оч}}{f_T}\right)\right) \left(\frac{\left(\pi \frac{nf_T \pm f_{оч}}{f_T}\right)}{\sin\left(\pi \frac{nf_T \pm f_{оч}}{f_T}\right)}\right)^2, \quad (9)$$

где коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 определяют уровень соответствующих фазовых шумов и находятся для каждой микросхемы ЦВС; N – разрядность ЦАП;

$$H_{31}(p) = \frac{H_1(p) \cdot N_2}{1 + H_1(p)}, \quad H_{32}(p) = \frac{1}{1 + H_2(p)}, \quad H_1(p) = K_{ФНЧ}(p) \frac{K_0}{N_2 \cdot p(F)}$$

– передаточные функции кольца ФАПЧ: по внешним шумам, по внутренним шумам, разомкнутого кольца;

В качестве ФНЧ систем ИФАПЧ использовались пропорционально-интегрирующие фильтры второго порядка с передаточной функцией

$$K_{ФНЧ}(p) = \frac{1}{C_1 + C_2} \frac{1 + pT_1}{p(1 + pT_2)} \quad (10)$$

Благодаря данным математическим моделям проведено моделирование шумовых характеристик формирователя сигналов с ЦВС AD9912 на образцах. Результаты моделирования представлены на рисунке 2 при $f_{ГОЧ} = 100$ МГц, $f_{ГВН} = 3000$ МГц.

Результаты расчета СПМ фазовых шумов выходного сигнала формирователей на интегральных ЦВС AD9912 (коэффициенты аппроксимации $k_1 = -9,2, k_2 = -8,4, k_3 = -16,8, k_4 = -14,5$).

Шумовые характеристики гибридного синтезатора с использованием ЦВС как делителя частоты системы ФАПЧ с предделителем (СПМ фазовых шумов сигнала на выходе: $S_{ГОЧ}$ – ГОЧ, $S_{ГВН}$ – ГВН, $S_{ЦВС}$ – ЦВС, $S_{ФАПЧ}$ – ФАПЧ).

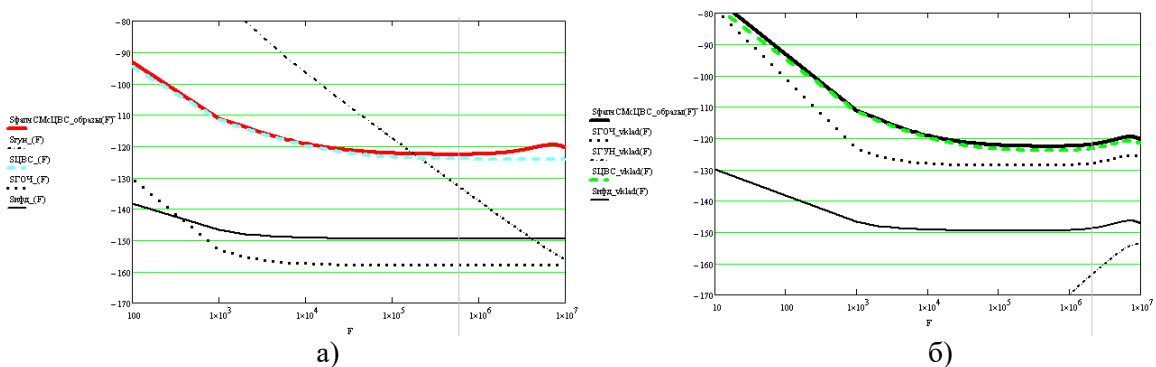


Рис.2. а) СПМ фазовых шумов выходного сигнала,

б) *Спектральная плотность мощности вклада*

Видно, что использование образов и высокочастотных ГОЧ позволяет снизить уровень фазовых шумов. Это позволяет сказать о том, что применение образов является перспективным направлением улучшения шумовых характеристик, повышения выходной частоты формирователя сигналов.

Литература

1. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Якименко К.А. Применение образов основной частоты ЦВС в гибридных синтезаторах частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. - №3 – С.3-7.
2. 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.
3. Ромашова Л.В. Исследование фазовых шумов интегральных цифровых вычислительных синтезаторов со встроенным умножителем тактовой частоты // Вопросы радиоэлектроники, сер. РЛС. – 2011. – Вып. 1. – с.33-38
4. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. - М.: Радио и связь, 1991. - 264 с
5. Ромашова Л.В., Ромашов В.В., Фомичев А.Н. Исследование шумовых свойств системы ФАПЧ со смесителем в цепи обратной связи // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2011. - №2
6. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н., Якименко К.А. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2013. - №1