

Докторов А.Н., Хазов Д.А.

*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: romashovmuro@mail.ru, doctorov\_a\_n@mail.ru*

### Исследование формирователей высокочастотных сигналов на основе цифровых вычислительных синтезаторов с использованием образов основной частоты

Цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС) широко используются во многих радиотехнических системах, измерительных приборах, а также системах передачи данных. Работа таких синтезаторов основана на методе прямого цифрового синтеза. Данный метод обладает целым рядом достоинств, которые и привели его к широкому распространению в современной технике синтеза частот. Однако, для современных задач требуется увеличивать частоту выходного сигнала ЦВС. Обычно это реализуется с помощью умножителей частоты, выполненных в виде транзисторных каскадов. Пример структурной схемы такого формирователя высокочастотных сигналов приведен на рис. 1.

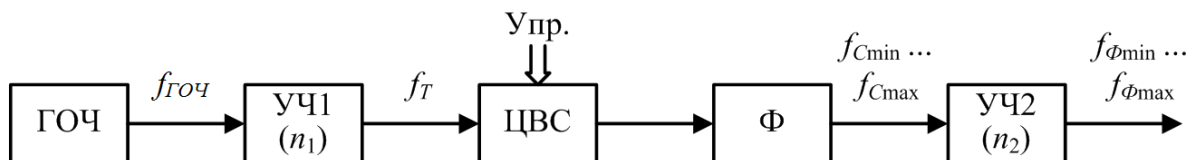


Рис.1. Структурная схема формирователя сигналов с ЦВС на образах

Здесь ГОЧ – генератор опорной частоты; УЧ1 – умножитель тактовой частоты ЦВС, обычно входит в состав интегральных ЦВС в виде системы ФАПЧ, коэффициент умножения тактового умножителя -  $n_1$ ; ЦВС – цифровой вычислительный синтезатор, Ф – фильтр на выходе ЦВС, для выделения в спектре либо гармоники основной частоты (ФНЧ), либо гармоники выбранного образа (полосовой фильтр); УЧ2 – выходной умножитель частоты в виде последовательно соединенных транзисторных каскадов с коэффициентами 2, 3 или 5.

Главный недостаток такой схемы в том, что для существенного увеличения выходной частоты формирователя требуется большой коэффициент умножения  $n_2$  каскадов выходного умножителя частоты. Это приводит к значительному ухудшению шумовых характеристик формирователя, так как СПМ фазовых шумов ЦВС умножается на  $(n_2)^2$ . Также из-за выходного умножителя частоты происходит расширение шага сетки частот, увеличивается девиация частоты при частотной модуляции, при большом коэффициенте умножения количество каскадов растет, требуется добавлять между транзисторными умножителями частоты дополнительные усилители.

Поэтому необходимо уменьшать коэффициент умножения выходной частоты ЦВС.

Одним из способов может стать использование образов основной частоты ЦВС. Известно, что в спектре выходного сигнала ЦВС присутствуют дискретные побочные составляющие – образы основной частоты ЦВС.

Для более эффективного проектирования формирователей сигналов, построенных на основе ЦВС, требуется оперативно оценить уровень фазовых шумов таких синтезаторов. Это возможно с помощью методов математического моделирования спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов. Подробно метод математического моделирования, и использование его для расчета уровня фазовых шумов ЦВС рассмотрено в [1, 2].

Моделирование СПМ фазовых шумов ЦВС на образах рассмотрено в [3, 4].

СПМ фазовых шумов формирователя с ЦВС на образах основной частоты можно определить по следующей формуле

$$S_{\text{ФОР}_\text{обр}}(F) = \left[ (S_{\text{ГОЧ}}(F) \cdot n_1^2 + S_{\text{УЧ1}}(F)) \cdot (n + K_{\text{ЦВС}})^2 + S_{\text{ЦВС}_\text{собств}_\text{обр}}(F) \right] \cdot n_2^2 + S_{\text{УЧ2}}(F), \quad (1)$$

здесь  $K_{\text{ЦВС}} = f_{\text{ЦВС}} / f_{\text{T}}$ ,  $S_{\text{ЦВС\_собст\_обр}}(F)$  - модель СПМ фазовых шумов ЦВС на образах [4].

Результаты математического моделирования СПМ фазовых шумов формирователя на ЦВС AD9910 приведены на рис. 2.

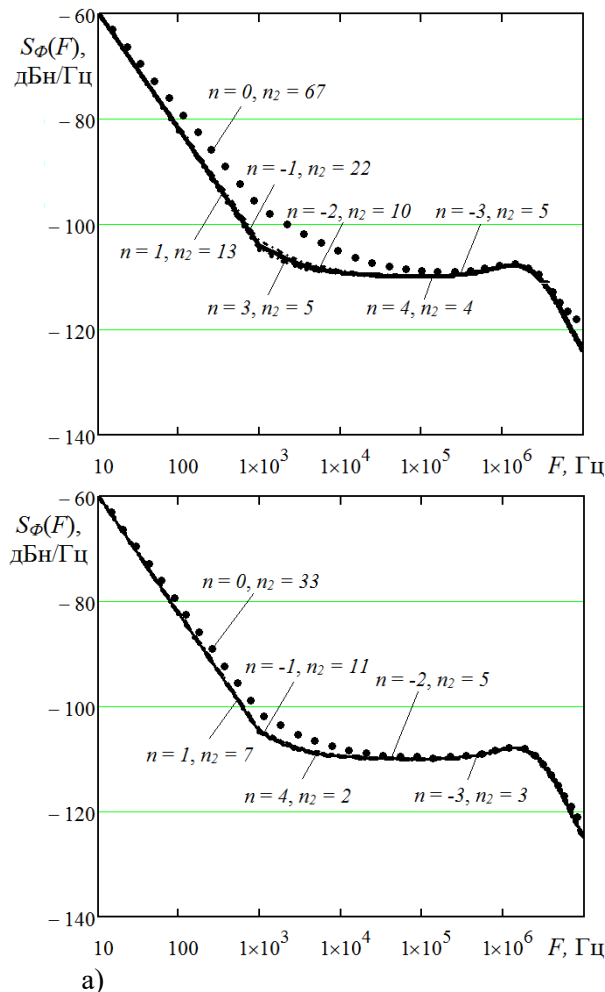


Рис. 2. СПМ фазовых шумов формирователя на ЦВС AD9910  
 $f_{\text{Гоч}} = 24$  МГц,  $f_{\phi} = 6$  ГГц: а)  $n_1 = 15$ , б)  $n_1 = 30$

Из представленных зависимостей видно, что с ростом номера образа коэффициент умножения выходного умножителя уменьшается. Так например, при тактовой частоте 360 МГц ( $n_1 = 15$ ) на основной частоте, т.е. при  $n = 0$ , коэффициент умножения равен 67, а при использовании гармоники третьего положительного образа ( $n = 3$ ) снижается до 5. СПМ фазовых шумов формирователя при переходе от использования основной частоты к частоте третьего положительного образа в целом практически не изменяется. Однако, в области малых отстроек наблюдается снижение уровня фазового шума, на 7 дБн/Гц при отстройке 1 кГц. Имеется зависимость снижения уровня СПМ фазовых шумов формирователя от тактовой частоты ЦВС. Уменьшение тактовой частоты приводит к снижению уровня фазового шума.

### Литература

1. Romashov V.V., Romashova L.V., Khramov K.K., Doktorov A.N. Simulation of Noise Curves of the New Integrated DDS from Analog Devices // Proc. of the 2013 Int. Siberian Conf. on Control and Communications (SIBCON). – Krasnoyarsk: Siberian Federal University. Russia, Krasnoyarsk, September 12–13, 2013. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1.
2. Romashov V.V., Romashova L.V., Doktorov A.N. The mathematical model of noise characteristics of a direct digital synthesizer with the built-in multiplier of clock frequency on PLL // Proc. of the 2015 Int. Siberian Conf. on Control and Communications (SIBCON). – Omsk State

Technical University. Russia, Omsk, Mai 20–22, 2015. **ISBN:** 978-147997102-2. **DOI:** 10.1109/SIBCON.2015.7147197

3. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н. Модель спектральной плотности мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов на образцах основной частоты // Радиопромышленность. 2012, №2. С.38-48.

4. Romashov V.V., Romashova L.V., Khramov K.K., Yakimenko K.A. The use of images of DDS in the hybrid frequency synthesizers // 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2014. Pp.302-303. Category number CFP14788-CDR; Code 109221. (**DOI:** 10.1109/CRMICO.2014.6959404)