

Шумовые характеристики многоканальных формирователей сигналов на основе гибридных синтезаторов частот с автоматической компенсацией фазовых искажений

Д.И. Суржик¹, О.Р. Кузичкин², И.А. Курилов¹, Г.С. Васильев²

¹Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых", E-mail: arzerum@mail.ru

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет", E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Исследованы шумовые характеристики многоканальных систем формирования сигналов на основе гибридных синтезаторов частот с автоматической компенсацией фазовых искажений цифровых вычислительных синтезаторов. Установлено, что фазовые шумы выходных сигналов формирователей на отстройке 1 кГц от несущего колебания при выходных частотах устройств в диапазоне от 500 до 3500 МГц характеризуется уровнем в минус 100 - минус 130 дБ.

The noise characteristics of multichannel signal forming systems based on hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of phase distortions of direct digital synthesizers are investigated. It was found that the phase noise of the output signals of the formers at 1 kHz detuning from the carrier oscillation at the output frequencies of devices in the range from 500 to 3500 MHz is characterized by a level of minus 100 - minus 130 dB.

Введение

Неотъемлемыми элементами большинства современных радиосистем являются многоканальные системы формирования сигналов, позволяющие оперативно перестраивать частоты выходных сигналов систем с требуемым разрешением и в заданном частотном диапазоне. Использование нескольких каналов формирования сигналов необходимо, например, для модуляции сверхширокополосных зондирующих сигналов радиолокационных станций, генерации сигналов гетеродинов приемо-передающих модулей и т.д.

Формирователи сигналов на основе гибридных синтезаторов частот

В общем случае каналы формирования сигналов различных радиосистем строятся на основе обобщенной структурной схемы, представляющей собой последовательное соединение опорного генератора, первого умножителя частоты, формирователя сетки частот и второго умножителя частоты.

Одним из перспективных способов реализации каналов формирования многоканальных формирователей сигналов является использование гибридного синтеза частот [1-4] на основе технологий прямого цифрового и косвенного методов синтеза частот. Прямой цифровой метод синтеза основан на использовании цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС), косвенный – на использовании синтезаторов частот на основе петли фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [1-4]. В этом случае ЦВС выполняет функцию формирователя сетки частот, а петля ФАПЧ – выходного умножителя частоты канала формирования. При этом используется три основных способа включения ЦВС в петлю ФАПЧ: использование в качестве опорного генератора, делителя частоты в цепи обратной связи или генератора подставки в цепи смещения, причем для каждого варианта включения возможно использование метода

автоматической компенсации фазовых искажений (АКФИ) ЦВС для улучшения спектральных характеристик выходных сигналов системы.

Шумовые характеристики формирователей сигналов

Одной из составляющих спектральных характеристик выходных сигналов гибридных синтезаторов частот является фазовый шум, оцениваемый уровнем спектральной плотности мощности (СПМ) $S_{\varphi}(F)$ вблизи несущей частоты в зависимости от отстройки частоты F [5].

На рис. 1 в качестве примера представлена эквивалентная линейаризованная схема канала формирования сигналов с ЦВС в качестве опорного генератора петли ФАПЧ со всеми источниками действующих фазовых шумов, на которой приняты следующие обозначения: Φ_i - отклонения фазы соответствующих блоков формирователь сигналов; n - коэффициент умножения умножителя частоты опорного генератора; $K_{ЦВС}$ - коэффициент передачи ЦВС; K_D и $K_{ДА}$ - крутизны характеристик детекторов петли ФАПЧ и АКФИ; $K_{ГУН}$ - крутизна модуляционной характеристики генератора управляемого напряжением; N - коэффициент деления делителя частоты петли ФАПЧ; $M(p)$ и $M_A(p)$ - коэффициенты передачи фильтров петли ФАПЧ и АКФИ; n_A - коэффициент усиления усилителя АКФИ.

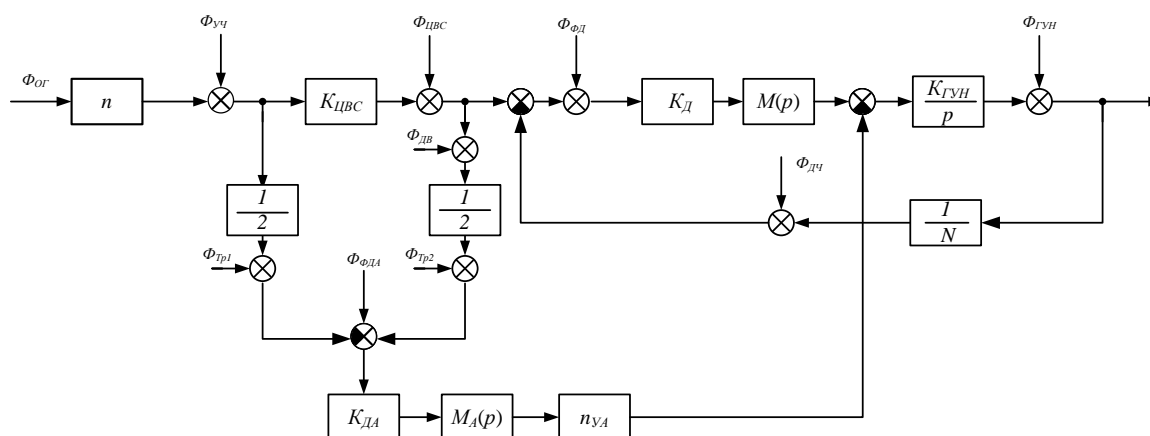


Рис. 1 Эквивалентная схема канала формирования сигналов со всеми источниками действующих фазовых шумов

Для данной схемы математическая модель шумовых характеристик определяется как

$$S_{\varphi_1}(F) = \left(S_{ог}(F) \cdot n^2 K_{ЦВС}^2 + S_{уч}(F) \cdot K_{ЦВС}^2 + S_{ЦВС}(F) \cdot \left(1 - \frac{n_A}{2}\right)^2 + S_{фл}(F) + \right. \\ \left. S_{дч}(F) + S_{тр1}(F) n_A^2 + S_{дв}(F) \left(\frac{n_A}{2}\right)^2 + S_{тр2}(F) n_A^2 + S_{фда}(F) \cdot n_A^2 \right) \cdot |H_{31}(F)|^2 + \\ + S_{ГУН}(F) |H_{32}(F)|^2,$$

где S_i - собственные фазовые шумы соответствующих блоков формирователя сигналов;

$$H_{31}(p) = \frac{H_1(p)N}{1 + H_1(p)} - \text{передаточная функция петли ФАПЧ по внешним шумам};$$

$$H_{32}(p) = \frac{1}{1 + H_1(p)} - \text{передаточная функция петли ФАПЧ по внутренним шумам};$$

$$H_1(p) = \frac{M(p)K_{ГУН}K_D}{pN} - \text{передаточная функция разомкнутой петли ФАПЧ}.$$

Для теоретического описания уровня собственных фазовых шумов отдельных звеньев формирователей сигналов используют аппроксимацию СПМ их фазовых шумов типовыми степенными функциями [5].

Результаты моделирования шумовых характеристик

Проведено моделирование шумовых характеристик [6] данного варианта построения многоканального формирователя сигналов на основе гибридного синтезатора частот с АКФИ ЦВС. В качестве ЦВС для моделирования использовались параметры интегрального синтезатора AD9914, качестве петли ФАПЧ - параметры синтезатора ADF5355 с частотой среза фильтра нижних частот $f_{cp} = 10$ МГц.

На рис. 2 в качестве примера приведены результаты моделирования шумовых характеристик данного гибридного синтезатора частот при наличии (непрерывная кривая) и отсутствии (пунктирная кривая) АКФИ ЦВС при значении частоты опорного генератора $f_{ог} = 100$ МГц и выходной частоте ГУН $f_{\phi} = 2000$ МГц.

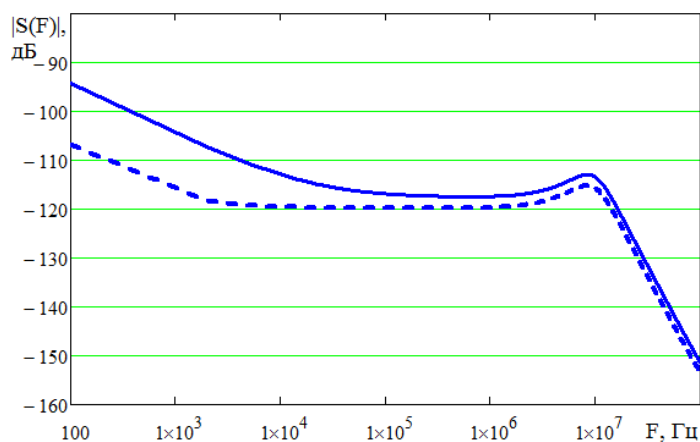


Рис.2 СПМ фазовых шумов канала формирования сигналов на основе гибридного синтезатора частот

Выводы

Из полученных результатов моделирования следует, что для рассмотренной схемы канала формирования сигналов фазовые шумы выходных сигналов на отстройке 1 кГц от несущего колебания в зависимости от выходной частоты устройств характеризуется уровнем в минус 100 - минус 130 дБ в частотном диапазоне от 500 до 3500 МГц, что является следствием применения метода автоматической компенсации фазовых искажения ЦВС для улучшения спектральных характеристик.

Литература

1. Kroupa, V.F. Phase Lock Loops and Frequency Synthesis / V.F. Kroupa. - John Wiley & Sons, Ltd, 2003. – 320 p.
2. Goldberg, Bar-Giora. Digital Frequency Synthesis Demystified DDS and Fractional-N PLLs / Bar-Giora Goldberg. - LLN Technology Publishing, 1999. – 355 p.
3. Белов, Л.А. Формирование стабильных частот и сигналов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л.А. Белов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 224 с.
4. Манасевич, В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование: пер. с англ. / В. Манасевич; Под. ред. А.С. Галина. - М.: Связь, 1979. - 384 с.
5. Рыжков, А.В. Синтезаторы частот в технике радиосвязи / А.В. Рыжков, В.Н. Попов. – М. - Радио и связь, 1991. – 264 с.
6. Surzhik, D.I. Modeling the noise properties of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of phase noise of DDS / D.I. Surzhik, I.A. Kurilov, O.R. Kuzichkin, G.S.Vasilyev, S.M. Kharchuk // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications. – 2015. – С. 7147015.