

Исследование формирователя сигналов на основе ЦВС и ФАПЧ с дополнительным каналом авторегулирования фазы

Совместное применение цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС) и системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) в устройствах формирования высокостабильных сигналов позволяют достичь высокой частоты выходного колебания (до 20 ГГц и более), разрешения по частоте и скорости перестройки, однако задача снижения уровня фазовых шумов остается актуальной. Авторами предложен автокомпенсационный способ уменьшения паразитных флуктуаций фазы выходного сигнала формирователя, обусловленный шумовым вкладом ЦВС [1]. Важными достоинствами нового способа по сравнению с известными подходами (например, пассивной фильтрацией или рандомизацией выходного спектра) является сохранение полезной амплитудной модуляции синтезируемого сигнала, а также возможность подавления фазовых помех, вызванных воздействием внешних и внутренних дестабилизирующих факторов различной природы с произвольными статистическими свойствами.

Исследования показали, что кроме ЦВС существенный вклад в общий уровень фазовых шумов цифровых вычислительных и гибридных синтезаторов частот часто вносит опорный генератор (ОГ) [2].

В работе [3] простейшая однопетлевая система ФАПЧ дополнена каналом авторегулирования фазы выходного сигнала. Это частично разрешает противоречие между устойчивостью, шириной полосы захвата и высокой помехоустойчивостью, что позволяет значительно улучшить фильтрацию помех на выходе устройства, в том числе вызванных нестабильностью опорного сигнала.

Целесообразно объединить каналы компенсации нежелательных фазовых сдвигов ЦВС и ФАПЧ в одном устройстве синтеза частот для одновременного подавления фазовых шумов ОГ и ЦВС и улучшения качества выходного спектра по сравнению с существующими решениями.

Структурная схема формирователя сигналов на основе ЦВС и ФАПЧ с компенсацией фазовых шумов показана на рис. 1. Схема включает в себя ОГ, управляемый фазовращатель УФВ, фазовые дискриминаторы ФД1 и ФД2, фильтры системы ФАПЧ F_c , канала управления F_y и канала модуляции F_m , усилители каналов управления и модуляции U_y и U_m , сумматор управляющего и модулирующего сигналов S , генератор, управляемый напряжением (ГУН), делитель с переменным коэффициентом деления (ДПКД), опорный и информационный тракты (ОТ и ИТ), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) в составе ЦВС, полосовой фильтр (ПФ) для выделения основной частоты ЦВС или ее образа.

Тракты ОТ и ИТ формируют импульсы прямоугольной формы с одинаковой амплитудой и частотой на входах ФД2. Паразитные фазовые отклонения выходных сигналов ФАПЧ и ЦВС могут быть скомпенсированы противофазным изменением задержки сигнала в УФВ.

В соответствии со структурной схемой (рис. 1), передаточные функции формирователя для фазовых шумов ОГ и ЦВС определяются выражениями

$$H_{OG}(p) = \frac{N_{ДПКД} K_{ЦВС}}{1 + \frac{p T_c N_{ДПКД} [1 + N_y M_y(p)]}{M_c(p)}}, \quad H_{ЦВС}(p) = \frac{1}{1 + H_{раз}(p)},$$

$$\text{где } H_{раз}(p) = \frac{N_{ДПКД} N_m M_m(p)}{1 + \frac{p T_c N_{ДПКД} [1 + N_y M_y(p)]}{M_c(p)}} - \text{коэффициент передачи разомкнутой цепи}$$

компенсации помехи ЦВС, $N_{ДПКД}$ - коэффициент деления частоты ДПКД и коэффициент умножения частоты петли ФАПЧ, $K_{ЦВС}$ - коэффициент умножения тактовой частоты ЦВС, N_y и N_m - коэффициенты петлевого усиления каналов управления и модуляции формирователя, $M_c(p)$, $M_y(p)$ и $M_m(p)$ - передаточные функции фильтров системы ФАПЧ, каналов управления и модуляции соответственно, T_c - постоянная времени кольца ФАПЧ.

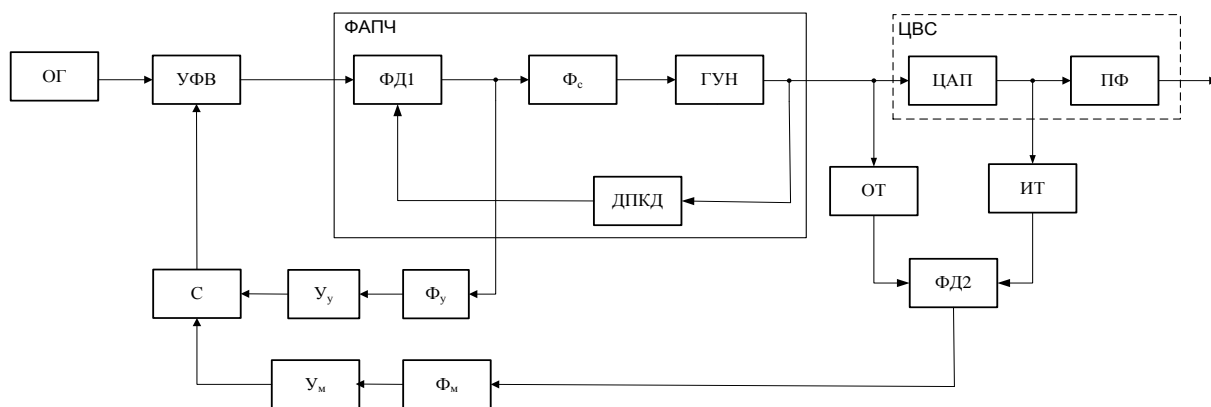


Рис. 1.

Для моделирования шумовых характеристик устройства использованы известные соотношения спектральных плотностей собственных фазовых шумов кварцевого ОГ [4] и ЦВС [2]. Моделирование проводилось для следующих значений параметров блоков формирователя: опорная частота – 100 МГц, коэффициент умножения тактовой частоты ЦВС – 0,31, разрядность ЦАП ЦВС – 12, коэффициент деления ДПКД – 10, частоты среза фильтров нижних частот 1-го порядка Φ_y и Φ_m – 10 кГц, крутизны характеристик ФД1 и ФД2 – 1 В/рад, крутизна характеристики ГУН – 4 МГц/В. Фильтр системы ФАПЧ Φ_c для исследований выбран принят широкополосным с передаточной функцией, равной 1.

Исследование модели формирователя для фазовых флуктуаций показало, что предложенная схема обеспечивает подавление шумового вклада ЦВС на $10\log(1+N_m)$ дБ/н при малых отстройках от несущей. Увеличение N_y сопровождается существенным ростом фазового шума ЦВС, особенно вблизи частот среза фильтров Φ_y и Φ_m . Это обуславливает необходимость компромиссного выбора значения N_y для одновременного подавления фазовых шумов ОГ и ЦВС.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-05542.

Литература

1. Васильев Г.С., Курилов И.А., Харчук С.М. Моделирование нелинейного автокомпенсатора фазовых помех ЦАП прямого цифрового синтезатора частот. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. №2, 2014. – С. 30-38.
2. 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. №1, 2014. – С. 5-20.
3. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты. – М.: Связь, 1972. – 448 с.
4. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.