

Г.С. Васильев, И.А. Курилов

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: [kh@mivlgu.ru](mailto:kh@mivlgu.ru)

### Гибридный синтезатор частот с автоматической компенсацией фазовых помех ЦВС в качестве генератора подставки

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].

Ранее были предложены способы реализации трактов компенсации (ТК) применительно к двум схемам гибридных синтезаторов: ГСЧ с ЦВС в качестве опорного генератора системы ФАПЧ (ГСЧ1) и ГСЧ с ЦВС в качестве делителя частоты системы ФАПЧ (ГСЧ2). Из литературы также известен вариант реализации гибридного синтезатора с ЦВС в качестве генератора подставки системы ФАПЧ [2], обладающая лучшими шумовыми свойствами по сравнению с предыдущими схемами, однако применение АФИ в данном устройстве ранее не рассматривалось.

Предложенная структурная схема ГСЧ с ЦВС в качестве генератора подставки и ТК показана на рис. 1. На схеме обозначено: ОГ – опорный генератор, ФД – фазовый детектор, ФНЧ1 – фильтр нижних частот, С – сумматор, См – смеситель, ДФКД1,2,3 – делители с фиксированными коэффициентами деления, ГУН – генератор, управляемый напряжением.

Реализация ТК аналогична предложенной ранее для схем ГСЧ1 и ГСЧ2 и здесь не показана. Принцип действия ТК основан на выделении закона паразитного отклонения фазы выходного сигнала ЦВС посредством нелинейного преобразования, детектирования и фильтрации, его инверсии и последующем сложении выделенного помехового сигнала с управляющим сигналом ГУН системы ФАПЧ.

На схеме также обозначено:  $\Delta u_{г}$  – приращение управляющего сигнала ГУН,  $\Delta u_{дл}$  – приращение сигнала на выходе ФД,  $\Delta \varphi_{г}$  – фазовое отклонение на выходе ГСЧ,  $\Delta \varepsilon_{л}$  – дестабилизирующие факторы, воздействующие на звенья ЦВС: аккумулятор фазы, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

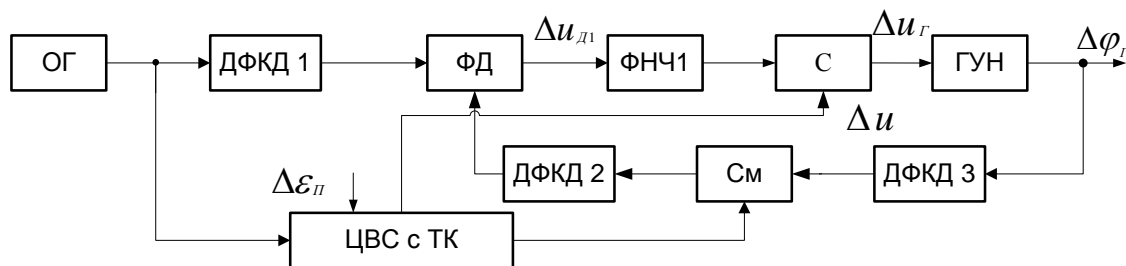


Рис. 1

Опорный и информационный тракты ТК формируют импульсы прямоугольной формы с одинаковой амплитудой и частотой на входах фазового детектора ТК. Паразитные фазовые отклонения выходных сигналов ФАПЧ и ЦВС могут быть скомпенсированы противофазным изменением задержки сигнала в УФВ.

Обозначим  $M_{1,2}(p)$  – коэффициенты передачи ФНЧ1,2, где ФНЧ2 – фильтр тракта компенсации,  $p$  – оператор Лапласа,  $K_{дл}$ ,  $K_{г}$ ,  $K_{л}$  – крутизны характеристик ФД, ГУН и ЦАП,  $N_{1,2,3}$  – коэффициенты деления ДФКД1,2,3,  $K_{ЦВС}$  – коэффициент деления ЦВС,  $T_c = N_2/K_{г}K_{дл}$  –

собственная постоянная времени ФАПЧ,  $N_{II}$  – коэффициент передачи искажений,  $N_A$  – коэффициент регулирования автокомпенсатора,  $n$  – коэффициент ослабления аттенюатора ТК.

В соответствии со схемой рис. 1 дифференциальное уравнение и передаточная функция синтезатора примут вид

$$\Delta\varphi_{\Gamma} \left( 1 + \frac{K_{\Gamma} K_{D1} M_1(p)}{N_2 N_3 p} \right) = -\Delta\varepsilon_{II} \frac{K_{\Gamma} \alpha}{p},$$

$$\alpha = \frac{K_{D1} K_{II} M_1(p)}{N_2} - N_A M_2(p);$$

$$H_{\Delta\varepsilon_{II} \Delta\varphi_{\Gamma}} = \frac{\Delta\varphi_{\Gamma}}{\Delta\varepsilon_{II}} = \frac{-N_{II} \frac{M_1(p)}{N_2 p} + N_A \frac{M_2(p)}{p}}{1 + \frac{M_1(p)}{T_c p}}.$$

При этом условие полного подавления  $\Delta\varepsilon_{II}$  определяется как

$$n = 2K_{ЦВС}/N_2 \text{ и } M_1(p) = M_2(p). \quad (1)$$

Для моделирования шумовых характеристик устройства использованы известные соотношения спектральных плотностей собственных фазовых шумов кварцевого ОГ [3] 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 системы ФАПЧ и ТК – 10 кГц, крутизны характеристик фазовых детекторов системы ФАПЧ и ТК – 1 В/рад, крутизна характеристики ГУН – 4 МГц/В. Фильтр ФНЧ1 для исследований выбран принят широкополосным с передаточной функцией, равной 1.

Исследование модели формирователя для фазовых флуктуаций показало, что предложенная схема обеспечивает полное подавление фазового шума ЦВС при малых отстройках от несущей при выполнении условий (1), при этом уменьшение спектральной плотности мощности фазовых флуктуаций выходного сигнала устройства составляет порядка 20 дБ/Гц. Согласно (1), соблюдение данных требований требует оперативного изменения коэффициента ослабления  $n$  при перестройке синтезируемой частоты ЦВС, что должно быть учтено при схемотехническом проектировании.

Исследование показало эффективность предложенной схемы и возможность подавления фазового шума выходного сигнала на величину порядка 20 дБ/Гц, благодаря действию системы автокомпенсации.

*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. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.