

Курилов И.А., Кузичкин О.Р., Васильев Г.С., Суржик Д.И., Курилова-Харчук С.М.
 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: kh@mivlgu.ru

Формирователь сигналов с комбинированной автокомпенсацией помех

Предложенный формирователь сигналов позволяет получить сетку высокостабильных частот с низким уровнем фазовых помех, что обеспечивает высокое качество выходного сигнала устройства.

Основные причины появления фазовых помех в синтезаторах частот и ряд методов их подавления рассматриваются в работе [1].

При построении формирователя сигналов использован принцип гибридного синтеза частот на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). В качестве делителя с переменным коэффициентом деления применён цифровой вычислительный синтезатор частот (ЦВС). Сигнал вычислительного синтезатора вводится в тракт информационного сигнала системы ФАПЧ.

Особенностью предложенной схемы является применение комбинированного метода автоматической компенсации фазовых помех сигнала, как вычислительного синтезатора частот, так и опорного генератора. Для эффективного подавления помех в схему устройства введены два управляемых фазовращателя, фильтры, фазовый детектор и усилители постоянного тока.

Электрическая структурная схема формирователя сигналов представлена на рис.1.

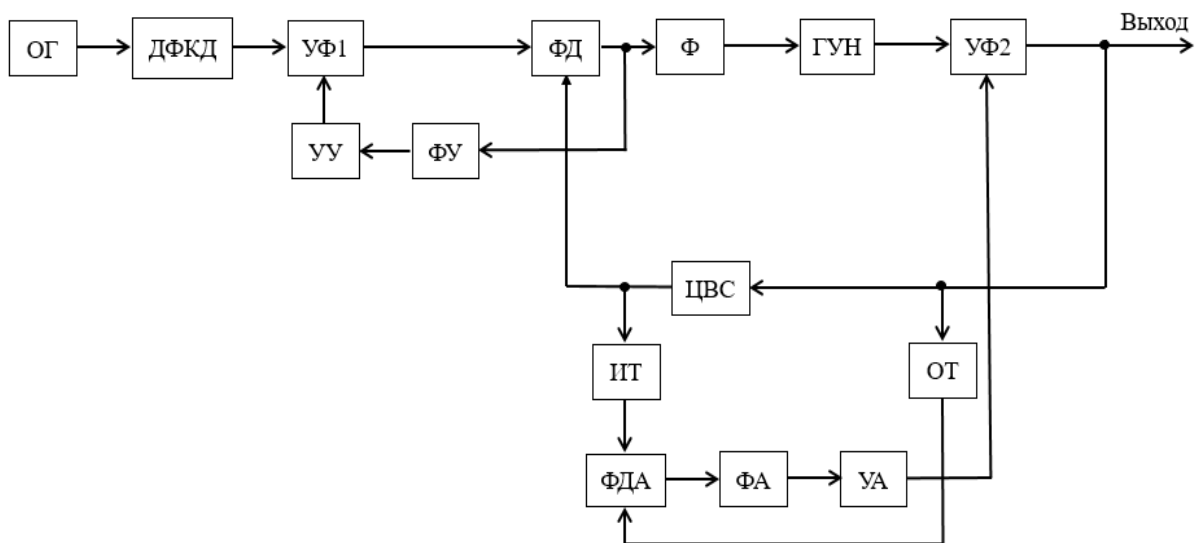


Рис.1

На рис.1 приняты следующие обозначения, составляющих формирователь блоков: ОГ – опорный генератор; ЦВС– цифровой вычислительный синтезатор ФД – фазовый детектор системы ФАПЧ; ФДА – фазовый детектор автокомпенсатора; ФУ – фильтр управляющего тракта; УУ – усилитель постоянного тока управляющего тракта; УА – усилитель постоянного тока тракта автокомпенсации; ФА – фильтр тракта автокомпенсации; Ф – фильтр ФАПЧ; ДФКД – делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления; ГУН – генератор управляемый напряжением; ИТ и ОТ – информационный и опорный тракты.

Сигнал с опорного генератора поступает на делитель с фиксированным коэффициентом деления. Уменьшенный по частоте сигнал с выхода ДФКД поступает на вход УФ1. Затем он поступает на фазовый детектор. На вход ЦВС сигнал поступает с выхода УФ2. С выхода ЦВС

сигнал идет на ФД и через ИТ на ФДА. Выходной сигнал ФД поступает на фильтр нижних частот, на выходе которого формируется напряжение, управляющее работой ГУН.

Так же сигнал с выхода ЦВС проходит через детектор ФДА и фильтр тракта автокомпенсации. На выходе ФА получаем управляющий сигнал. Он поступает на управляющий вход второго управляемого фазовращателя. Фазовый сдвиг ЦВС поступает на ФД ФАПЧ и приводит в конечном итоге к паразитному отклонению фазы на ГУН. В УФ2 под действием управляющего сигнала тракта автокомпенсации фаза выходного сигнала ГУН поворачивается в противоположную сторону и паразитное отклонение фазы ГУН автоматически компенсируется.

В устройстве применена комбинированная автокомпенсация фазовых помех, за счет использования дополнительного управляющего тракта. Он состоит из фильтра ФУ и усилителя УУ. Сигнал управляющего тракта поступает на управляющий вход УФ1. Параметры ФУ могут выбираться произвольно, не зависимо от параметров фильтров системы ФАПЧ. В УФ1 осуществляется дополнительно коррекция фазы выходного сигнала системы ФАПЧ.

Построена структурная модель формирователя сигналов для основных видов воздействий. На основе структурной модели составлены дифференциальные уравнения синтезатора частот и получены их решения в виде передаточных функций. Всего получены выражения для четырех передаточных функций.

Введем следующие обозначения воздействий и параметров блоков, составляющих синтезатор частот: $\varepsilon_{\text{ц}}$, – дестабилизирующее воздействие на опорный генератор; p – оператор Лапласа; $K_{\text{от}}$ – коэффициент передачи опорного тракта блока компенсации помехи ЦВС; $K_{\text{ит}}$ – коэффициент передачи информационного тракта блока компенсации помехи ЦВС; $K_{\text{ц}}$ – коэффициент передачи ЦВС; n_y – коэффициент передачи усилителя тракта управления; n_a – коэффициент передачи усилителя тракта компенсации; $M_y(p)$ – передаточная функция фильтра тракта управления; $M(p)$ – передаточная функция фильтра системы ФАПЧ; $M_a(p)$ – передаточная функция фильтра блока компенсации помехи ЦВС; K_d – коэффициент передачи фазового детектора; K_y – коэффициент передачи управляемого фазовращателя; K_r – передаточная функция ГУН; $K_{\varepsilon_{\text{ц}}}$ – коэффициент передачи воздействия помехи на ЦВС; φ – отклонение фазы выходного сигнала синтезатора.

Так, для дестабилизирующего воздействия на ЦВС передаточная функция принимает вид

$$H_{\varepsilon_{\text{ц}}\varphi} = \frac{-K_{\varepsilon_{\text{ц}}} \left[K_d M(p) \frac{K_r}{p} - K_{\text{ит}} \cdot \left(\frac{N_a}{K_y} M_a(p) (1 + N_y M_y(p)) \right) \right]}{1 + K_{\text{ц}} K_d M(p) \frac{K_r}{p} + M_y(p) \cdot N_y - (K_{\text{от}} - K_{\text{ц}} K_{\text{ит}}) \frac{N_a}{K_y} \cdot M_a(p) (1 + M_y(p) \cdot N_y)}$$

где $N_y = K_d n_y K_y$ – коэффициент регулирования тракта управления, $N_a = K_d n_a K_y$ – коэффициент регулирования блока компенсации помехи ЦВС, $\tau = \frac{1}{K_d K_r K_{\text{ц}}}$ – постоянная времени системы ФАПЧ.

Передаточные функции позволяют проводить исследования синтезатора частот подстановкой конкретных параметров и характеристик составляющих звеньев. А также оптимизировать параметры составляющих звеньев для конкретных видов дестабилизирующих воздействий.

Данная работа подготовлена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации СП-4829.2021.3.

Литература

1. Васильев Г.С., Курилов И.А., Харчук С.М. Моделирование нелинейного автокомпенсатора фазовых искажений ЦАП прямого цифрового синтезатора частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. №2, 2014. – С. 30-38.