

Характеристики синтезатора частот с комбинированной автоматической компенсацией помех

О.Р. Кузичкин¹, Д.И. Суржик², Г.С. Васильев¹, И.А. Курилов², С.М. Харчук².

¹ФГАОУВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

E-mail: oldolkuz@yandex.ru

²Муромский институт (филиал) ФГБОУВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23

E-mail: kia_s@list.ru

Исследуется синтезатор частот, реализующий метод гибридного синтеза. Для подавления помех используется принцип комбинированной автоматической компенсации помех фазового характера, путем противофазного управления фазой выходного сигнала устройства под действием сигналов трактов управления и автокомпенсации. Построена структурная модель синтезатора для основных дестабилизирующих воздействий и получены передаточные функции. Исследована устойчивость синтезатора и его динамические характеристики.

A frequency synthesizer that implements the hybrid synthesis method is investigated. To suppress interference, the principle of combined automatic compensation of phase disturbances is used, by antiphase control of the phase of the output signal of the device under the action of signals from the control and autocompensation paths. A structural model of a synthesizer for the main destabilizing influences is built and transfer functions are obtained. The stability of the synthesizer and its dynamic characteristics have been investigated.

Введение

Широкое применение при построении современных устройств и систем формирования и обработки радиосигналов различного назначения получили методы прямого цифрового синтеза частот (цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС)), и косвенного синтеза, на основе систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [1-3]. Применение гибридного синтеза позволяет гибко сочетать преимущества обоих методов. В тоже время данные синтезаторы частот (СЧ) сохранили ряд недостатков, присущих обоим вариантам синтезаторов. Например, фазовые флуктуации сигналов к которым приводят воздействие внешних дестабилизирующих факторов и др. [4,5].

Подавление помех СЧ комбинированной автоматической компенсацией

Конструкторские и схемотехнические методы борьбы не всегда оказываются эффективными. В работе, для подавления фазовых помех (ФП) используется принцип комбинированной автоматической компенсации помех путём противофазного управления фазой выходного сигнала синтезатора.

Схема СЧ содержит последовательно соединенные опорный генератор (ОГ), делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления (ДФКД), фазовый детектор (ФД) ФАПЧ, фильтр (Ф) ФАПЧ, генератор, управляемый напряжением (ГУН) и управляемый фазовращатель (УФ). В цепи обратной связи ФАПЧ включен ЦВС, с трактом автокомпенсации (АК), содержащий информационный тракт (ИТ), фазовый детектор (ФДА), фильтр (ФА), усилитель (УА) и опорный тракт (ОТ). Кроме того, схема содержит тракт управления из последовательно соединенных фильтра (ФУ) и усилителя (УУ). Сигналы обоих трактов складываются в сумматоре и подаются на управляющий вход УФ.

Проведена линеаризация характеристик звеньев СЧ и построены структурные модели для следующих дестабилизирующих воздействий: ε_0 , ε_Γ , ε_Ψ и ε_D – воздействия соответственно на ОГ, ГУН, ЦВС и ФД.

Структурная модель СЧ при дестабилизирующем воздействии на ОГ представлена на рис.1. Здесь и далее приняты следующие обозначения: K_d – коэффициент передачи ФД, $M(p)$ – передаточная функция Ф, $p=d/dt$ – оператор Лапласа, K_Ψ – коэффициент передачи ДФКД, K_Γ/p – передаточная функция ГУН, $M_y(p)$ – передаточная функция ФУ, K_Ψ – коэффициент передачи ЦВС, K_y – коэффициент передачи УФ, $K_{от}$ – коэффициент передачи ОТ, $K_{ит}$ – коэффициент передачи ИТ, $K_{да}$ – коэффициент передачи ФДА, K_{ε_Ψ} , K_{ε_Γ} , K_{ε_D} и K_{ε_0} – коэффициенты передачи воздействий на ЦВС, ГУН, ФД и ОГ, $M_a(p)$ – передаточная функция ФА, n_a – коэффициент передачи УА, φ – отклонение фазы сигнала на выходе УФ, $\varphi_{ит}$ – отклонение фазы сигнала ИТ, $\varphi_{от}$ – отклонение фазы сигнала ОТ, φ_y – отклонение фазы сигнала на выходе управляющего тракта, φ_a – отклонение фазы выходного сигнала, вносимое трактом АК, $K = K_d M(p) \frac{K_\Gamma}{p}$, $\gamma_y = K_d M_y(p) n_y K_y$, $\gamma_a = K_{да} M_a(p) n_a K_y$ и $\theta = K_\Psi K_{\varepsilon_0}$.

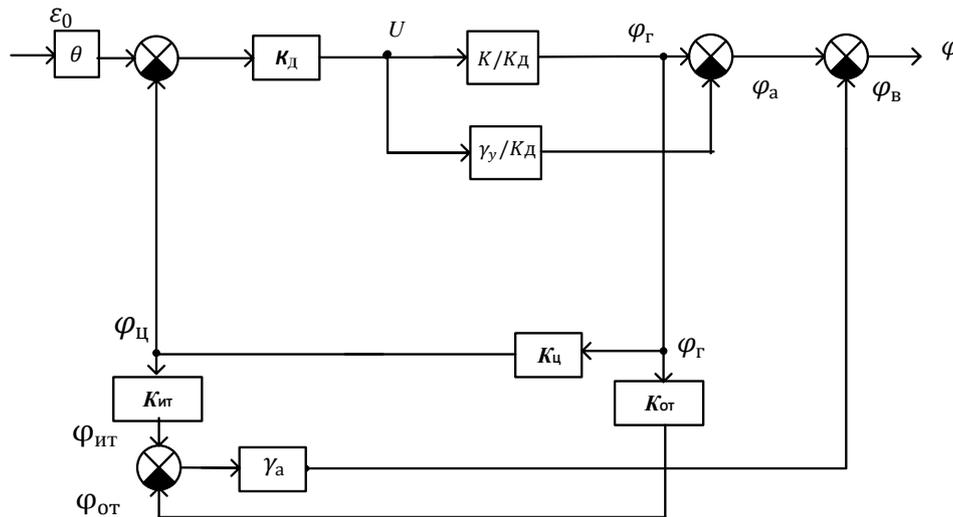


Рис.1. Структурная модель СЧ при дестабилизирующем воздействии на ОГ

Получены передаточные функции СЧ, которые определяются, как $H_{\varepsilon_x\varphi} = \varphi/\varepsilon_x$, где x – конкретное возмущение, действующее на устройство. Передаточные функции имеют вид:

$$H_{\varepsilon_0\varphi} = \frac{K_{\varepsilon_0} K_\Psi M(p)}{K_\Psi(\tau p + M(p))} \left[1 - \frac{K_\Psi \tau p N_y M_y(p)}{M(p)} + (K_\Psi K_{ит} - K_{от}) N_a M_a(p) \right]. \quad (1)$$

$$H_{\varepsilon_\Gamma\varphi} = \frac{K_{\varepsilon_\Gamma} \tau p}{\tau p + M(p)} \left[1 + K_\Psi N_y M_y(p) + (K_\Psi K_{ит} - K_{от}) N_a M_a(p) \right]. \quad (2)$$

$$H_{\varepsilon_\Psi\varphi} = -\frac{K_{\varepsilon_\Psi} M(p)}{K_\Psi(\tau p + M(p))} \left[1 - \frac{N_y M_y(p) K_\Psi \tau p}{M(p)} + (K_\Psi K_{ит} - \frac{K_\Psi K_{ит}(\tau p + M(p))}{M(p)} - K_{от}) N_a M_a(p) \right]. \quad (3)$$

$$H_{\varepsilon_D\varphi} = \frac{K_{\varepsilon_D} M(p)}{K_\Psi K_d(\tau p + M(p))} \left[1 - \frac{N_y M_y(p) K_\Psi \tau p}{M(p)} + (K_\Psi K_{ит} - K_{от}) N_a M_a(p) \right]. \quad (4)$$

где $\tau = \frac{1}{K_d K_T K_C}$ – постоянная времени ФАПЧ, $N_y = K_d n_y K_y$ – коэффициент регулирования тракта управления, $N_a = K_{да} n_a K_y$ – коэффициент регулирования АК.

По передаточным функциям (1) - (4) исследована устойчивость системы для следующих типов фильтров синтезатора: широкополосного тракта, а также трактов с фильтрами нижних частот первого, и второго порядков.

На основе полученных передаточных характеристик с учетом результатов исследования устойчивости, построены переходные характеристики и проведено исследование динамических режимов СЧ в зависимости от типов и инерционности фильтров, а также от значений N_y и N_a . В результате определены качественные и количественные характеристики процессов установления отклонения фазы выходного сигнала синтезатора.

Выводы

Проведенные исследования подтверждают эффективность предложенной схемы СЧ с комбинированной автокомпенсацией фазовых помех, возникающих при дестабилизирующих воздействиях на рассмотренные блоки синтезатора.

Работа выполнена по гранту Президента РФ МК-2159.2020.8

Литература

1. Jon Bredeson, Micheal Parten, John Borrelli. Direct Digital Frequency Synthesis // Texas Tech University, Shashikant Shrimali, May 2007. – 80 p.
2. Кузичкин О.Р., Васильев Г.С., Курилов И.А., Суржик Д.И., Харчук С.М. Частотные характеристики гибридного синтезатора частот с автокомпенсацией фазовых помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2019. № 3 (35). С. 56-64.
3. Kuzichkin O.R., Vasilyev G.S., Grecheneva A.V., Surzhik D.I., Dorofeev N.V., Kurilov I.A. The approximation algorithms for analyzing of the dynamic characteristics of the probing signal generators for the geotechnical monitoring systems // Journal of fundamental and applied sciences. 2018, 10(6S), 2321-2331. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v10i6s.177>.
4. Lokken I. Digital-to-Analog Conversion in High Resolution Audio: Doctoral Thesis / Lokken I. - Norwegian University of Science and Technology. - 2008.
5. Суржик Д.И., Курилов И.А., Васильев Г.С., Харчук С.М. Алгоритмы формирования управляющих сигналов автокомпенсаторов фазовых искажений цифровых вычислительных синтезаторов и устройств на их основе // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2017. – Вып. 2(36). – С.129 – 136.