

И.А. Курилов, Г.С. Васильев, Д.И. Суржик

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

Динамические характеристики гибридного синтезатора частот с комбинированным регулированием

Установлено, что метод автоматической компенсации помех цифровых вычислительных синтезаторов частот (ЦВС) является эффективным методом подавления данных помех, существенно улучшающим шумовые характеристики различных формирователей сигналов на основе ЦВС при сохранении их ключевых преимуществ (удобство цифрового интерфейса, высокое разрешение по частоте и фазе, быстрая перестройка по частоте без разрыва фазы) [1]. Автокомпенсатор выделяет закон паразитного отклонения фазы выходного сигнала цифроаналогового преобразователя (ЦАП) ЦВС, а затем осуществляет противофазное отклонение тактового сигнала ЦАП в устройстве управляемой задержки – управляемом фазовращателе (УФ) под действием выделенного сигнала, так что фазовая помеха компенсируется. Применение компенсационного тракта в гибридных синтезаторах частот (ГСЧ) на основе ЦВС и системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) позволит достичь также повышения рабочей частоты до единиц и десятков гигагерц при сниженном уровне фазовых шумов.

На рис. 1 представлена структурная схема ГСЧ с автокомпенсацией фазовых искажений (АКФИ). На схеме обозначены блоки: ОГ – опорный генератор, УЧ – умножитель частоты на ФАПЧ, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь ЦВС, УФ – управляемый фазовращатель, ФЦ – сглаживающий фильтр на выходе ЦВС, ФВ1 и ФВ2 – неуправляемые фазовращатели, ИТ1 и ИТ2 – информационные тракты, ФДА1 и ФДА2 – фазовые детекторы автокомпенсатора, Ф1 и Ф2 – фильтры, У1 и У2 – усилители постоянного тока, С – сумматор. Детекторы ФДА1 и ФДА2, а также фильтры Ф1 и Ф2 образуют управляющие тракты автокомпенсатора. Также обозначено: $\varepsilon_{\text{ОГ}}$, $\varepsilon_{\text{У}}$ и $\varepsilon_{\text{П}}$ – дестабилизирующие факторы, воздействующие на ОГ, УФ и звенья ЦВС соответственно, $\Delta\varphi_{\text{вых}}$ – отклонение фазы выходного сигнала формирователя под действием дестабилизирующих факторов (выходной параметр устройства), $C_{\text{П}}$ – код выходного сигнала ЦВС.

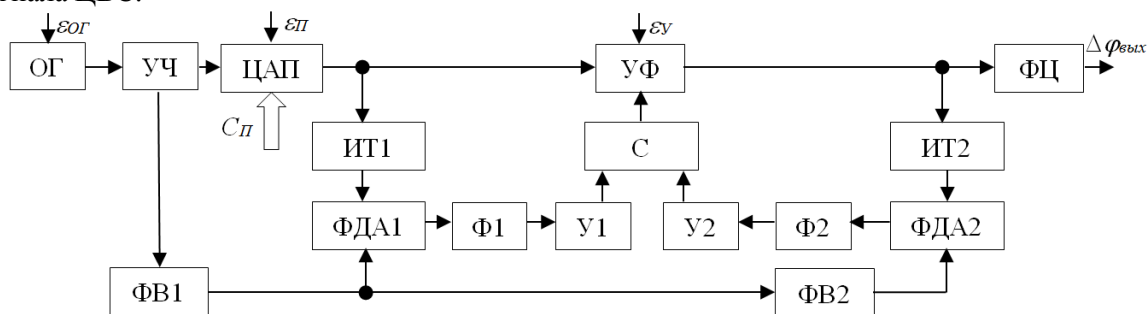


Рис. 1

Различные звенья автокомпенсатора или формирователя в целом могут быть существенно нелинейными (например, фазовые детекторы, ЦАП или генератор, управляемый напряжением (ГУН) УЧ на основе ФАПЧ). Фильтры Ф1 и Ф2 могут иметь высокий порядок и сложную форму характеристик избирательности. Исследование динамических свойств устройства в данных случаях затруднено, особенно проблематично получение обобщенных аналитических соотношений, справедливых при вариации параметров отдельных блоков. Применение непрерывных кусочно-линейных функций (НКЛФ) позволяет кусочно линеаризовать в общем случае нелинейные характеристики звеньев АК и получить их выражения в виде непрерывных функций соответствующего аргумента, а затем получить обобщенное решение линеаризованных дифференциальных уравнений для аналитического исследования динамических режимов синтезаторов [1].

Рассчитаем переходные характеристики ГСЧ с одинаковыми Ф1 и Ф2 автокомпенсатора: фильтрами нижних частот (ФНЧ) различных порядков (от 1-го до 4-го), постоянными времени звеньев фильтров T_i с учетом взаимного влияния звеньев.

Искомые переходные характеристики, полученные на основе теоремы разложения [2], имеют вид:

$$\text{с ФНЧ 1-го порядка } M^{(1)}(p) = \frac{1}{1+T_1 p} : \Delta\varphi_{\text{вых}}(t) = \frac{1-N_1}{1+N_2} + \exp\left(-\frac{1+N_2}{T_1}t\right);$$

$$\text{с ФНЧ 2-го порядка } M^{(2)}(p) = \frac{1}{(1+T_1 p)(1+T_2 p)} :$$

$$\Delta\varphi_{\text{вых}}(t) = \frac{1-N_1}{1+N_2} - \operatorname{Re}\left\{\frac{N_1+N_2}{p_1\sqrt{D}}[\exp(p_1 t) + \exp(p_2 t)]\right\},$$

где N_1, N_2 – коэффициенты регулирования АК, $D = (T_1 + T_2)^2 - 4N_2T_1T_2$ – дискриминант характеристического полинома АК, $p_{1,2} = -\frac{T_1 + T_2 \pm \sqrt{D}}{2T_1T_2}$ – корни характеристического полинома.

Выражения переходных характеристик ГСЧ с ФНЧ 3-го и 4-го порядков в АК имеют громоздкую запись и здесь не приводятся.

Рассчитанные переходные характеристики ГСЧ с коэффициентами регулирования АК $N_1=1, N_2=3$ и ФНЧ 1 – 4-го порядков показаны на рис. 2. Постоянные времени звеньев фильтров приняты равными $T_1=T, T_2=0,5T, T_3=0,2T$ и $T_4=0,1T$. С ростом порядков фильтров увеличивается длительность переходных процессов и показатель колебательности. Начальные ($\Delta\varphi_{\text{вых}}(0)=1$) и установившиеся ($\Delta\varphi_{\text{вых}}(\infty)=0$) значения переходных характеристик являются одинаковыми для ФНЧ любого порядка. Нулевые установившиеся значения показывают теоретическую возможность полного подавления паразитного отклонения фазы синтезируемого колебания при воздействии $\varepsilon_{\text{Л}}$.

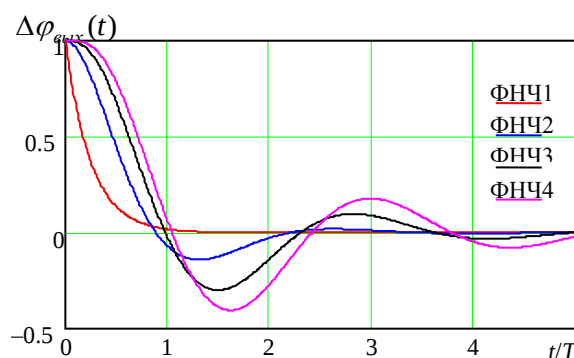


Рис. 2. Переходные характеристики ГСЧ с АК с ФНЧ 1 – 4-го порядков и коэффициентами регулирования $N_1=1, N_2=3$

Проведенные исследования позволяют установить степень компенсации помех и выбирать параметры блоков для увеличения подавления помех и улучшения динамических свойств устройства.

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

Литература

1. Курилов И.А., Ромашов В.В., Жиганова Е.А., Романов Д.Н., Васильев Г.С., Харчук С.М., Суржик Д.И. Методы анализа радиоустройств на основе функциональной аппроксимации // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 1 (13). С. 35-49.
2. Атабеков Г.И. Линейные электрические цепи. - М.: Энергия, 1978.- 432 с.