

Г.С. Васильев
 Научный руководитель: канд.техн.наук, проф. И.А. Курилов
 Муромский институт Владимирского государственного университета
 602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23
 e-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Анализ динамических режимов формирователя сигналов с ЦВС, ФАПЧ и автокомпенсацией помех

Достоинствами цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС) является удобство цифрового интерфейса, высокое разрешение по частоте и фазе, быстрая перестройка по частоте без разрыва фазы. К недостаткам формирователей сигналов на основе ЦВС относится достаточно высокий уровень побочных спектральных составляющих и наличие фазовых шумов синтезируемого колебания.

Установлено, что метод автоматической компенсации является эффективным способом подавления фазовых помех на выходе ЦВС [1, 2]. Автокомпенсатор выделяет закон паразитного отклонения фазы выходного сигнала цифро-аналогового 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 ФАПЧ позволяет реализовать умножение тактовой или выходной частоты ЦВС и расширяет технические возможности формирователей сигналов. Представляется перспективным использование новой схемы автокомпенсатора с комбинированным регулированием для улучшения шумовых свойств формирователей сигналов на основе ЦВС и ФАПЧ.

На рис. 1 представлена структурная схема формирователя сигналов на основе ЦВС, ФАПЧ и АК с комбинированным регулированием. 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: $\varepsilon_{ОГ}$, $\varepsilon_{У}$ и $\varepsilon_{П}$ – 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).

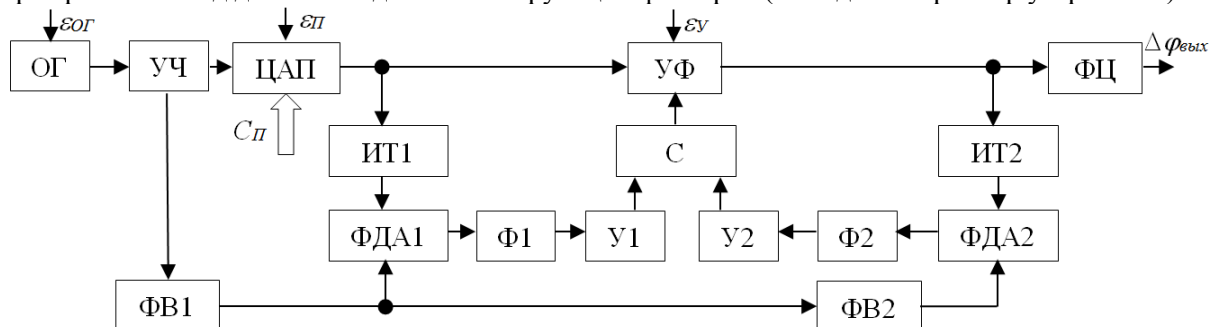


Рис. 1. Структурная схема формирователя сигналов на основе ЦВС, ФАПЧ и АК с комбинированным регулированием

Применение аппарата непрерывных кусочно-линейных функций (НКЛФ) [3] позволяет кусочно линеаризовать в общем случае нелинейные характеристики звеньев автокомпенсатора и получить их выражения в виде непрерывных функций соответствующего аргумента. По полученным выражениям удобно исследовать устойчивость, частотные, динамические и установившиеся свойства формирователя.

Обобщенное выражение переходной характеристики АК произвольного порядка, полученное на основе теоремы разложения, имеет вид:

$$\Delta\varphi_{\text{вых}}(t) = \frac{\beta_0(l_0 + N_1\nu_0)}{l_0(\beta_0 + N_2\alpha_0)} + \sum_{k=1}^{k^*} \frac{\sum_{i=0}^I \sum_{r=0}^R \beta_i (\zeta_{xy} l_r + N_1 \nu_r) p_k^{i+r}}{\sum_{i=0}^I \sum_{r=0}^R (i+r) l_r (\beta_i + N_2 \alpha_i) p_k^{i+r}} \exp(p_k t), (1)$$

где N_1 и N_2 – коэффициенты регулирования АК по возмущению и отклонению, R и I – порядок фильтра $\Phi 1$ и $\Phi 2$, ν_r , l_r , α_i , β_i – коэффициенты полиномов фильтров, p_k – корни характеристического полинома, k^* – максимальное число корней.

По выражению (1) рассчитаны переходные характеристики АК с коэффициентами регулирования $N_1=1$, $N_2=3$ и фильтрами нижних частот (ФНЧ) 1-го – 4-го порядков. Они представлены на рис. 2. Постоянные времени звеньев фильтров приняты равными $T_1=T$, $T_2=0,5T$, $T_3=0,2T$ и $T_4=0,1T$. Анализ графиков показывает, что с ростом порядков фильтров увеличивается длительность переходных процессов и уровень колебательности процесса установления. 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 $\varepsilon_{\text{П}}$.

Амплитудно- и фазо-частотные характеристики автокомпенсатора с ФНЧ различных порядков были рассчитаны как модуль и аргумент комплексной передаточной функции устройства. Амплитудно-частотные характеристики автокомпенсатора с ФНЧ 2-го порядков при $N_1=1$ и различных значениях N_2 представлены на рис. 3. Частотные характеристики устройства с ФНЧ 1-го порядка являются монотонными функциями, с ФНЧ 2-го порядка (рис. 3) – имеют экстремальный характер, величина максимума увеличивается с ростом N_2 и порядка ФНЧ, что говорит об уменьшении запаса устойчивости.

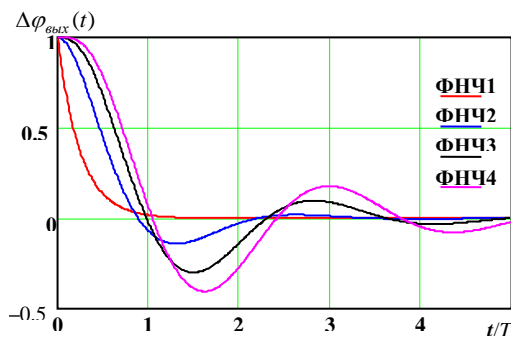


Рис. 2

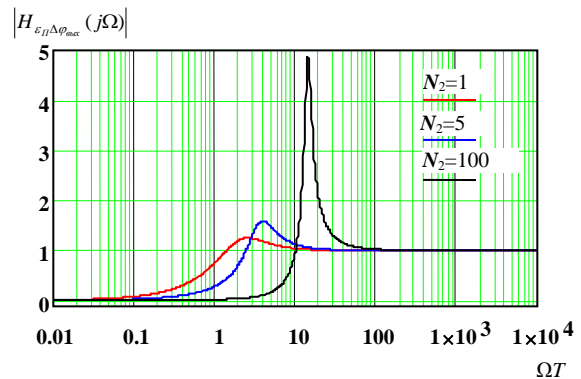


Рис. 3

Проведенные исследования позволяют установить степень компенсации помех и рассчитывать параметры составляющих звеньев формирователя сигналов для обеспечения эффективного подавления помех.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-05542

Литература

1. Surzhik D.I., Kurilov I.A., Kuzichkin O.R., Vasilyev G.S., Kharchuk S.M. Modeling the noise properties of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of phase noise of DDS. // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. С. 7147015.

2. Васильев Г.С., Суржик Д.И., Харчук С.М., Курилов И.А. Шумовые свойства формирователя сигналов с автокомпенсацией фазовых помех. – Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. № 4 (20). С. 5-12.

3. 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.