

Анализ переходных режимов нелинейного автокомпенсатора фазовых помех цифрового вычислительного синтезатора частот

Амплитудные и фазовые помехи оказывают негативное воздействие на качество выходного сигнала цифровых вычислительных синтезаторов частот (ЦВС), причем влияние фазовых помех является более существенным [1]. Автокомпенсатор (АК) помех ЦВС позволяет эффективно уменьшить уровень побочных отклонений фазы выходного сигнала синтезатора. АК выполняет предварительную обработку выходного сигнала синтезатора, выделяет закон паразитного отклонения фазы выходного сигнала посредством детектирования и осуществляет противофазное управление задержкой сигнала опорного генератора синтезатора. При этом компенсируется паразитное отклонение фазы, вызванное несовершенством отдельных блоков ЦВС: накопителя кода фазы, блока памяти отсчетов \sin и (или) \cos , цифро-аналогового преобразователя (ЦАП); несовершенством интерфейсов между блоками, а также воздействием внешних и внутренних дестабилизирующих факторов (наводки, изменение питающих напряжений, температуры и пр.).

Представляется актуальным выполнять анализ АК фазовых помех ЦВС в широком диапазоне отклонения параметров устройства, для чего требуется построение нелинейной модели автокомпенсатора (необходимо учитывать нелинейности фазового детектора, устройства управления задержкой (УУЗ) и ЦАП). Применение непрерывных кусочно-линейных функций (НКЛФ) [2] позволяет кусочно линеаризовать исходные характеристики и получить уравнения АК при произвольных величинах и формах дестабилизирующих воздействий. НКЛФ определены во всей области изменения аргумента и при анализе не требуют разбиения области на отдельные ограниченные участки исследования.

Обобщенное уравнение для операторного изображения переходного процесса нелинейного АК получено на основе кусочно-линейных передаточных характеристик [3, 4] с учетом начальных условий. Поведение выходного параметра $y_k(t)$ (отклонения фазы выходного сигнала синтезатора) на текущих участках аппроксимации характеристик УУЗ - m_k , фазового детектора - s_k , ЦАП - n_k описывается линейным дифференциальным уравнением, имеющим аналитическое решение.

Начальное значение выходного параметра получено из выражения для передаточных характеристик при $p=d/dt$, $p \rightarrow \infty$, установившееся значение при $p=0$. Конечные значения выходного параметра y для текущих участков равны начальным условиям для последующих участков. Для получения временной формы переходного процесса применен спектральный метод на основе НКЛФ, разработанный в [5]. Для аппроксимации частотной характеристики выходного спектра с высокой точностью была выбрана НКЛФ от логарифмической частоты.

Общее решение $y(t)$ получено суммированием частных решений $y_k(t)$ с учетом их временного сдвига t_k :

$$y(t) = \sum_{k=0}^{K-1} y_k(t-t_k) Q_{m_k} Q_{s_k} Q_{n_k}, \quad (1)$$

где K – число частных решений, $Q_{m_k} = Q_m(u_k)$, $Q_{s_k} = Q_s(x_k)$, $Q_{n_k} = Q_n(y_k)$ - включающие НКЛФ, x_k , u_k - значения входного параметра и сигнала управления на k -м участке общего решения. Характеристики линейного автокомпенсатора являются частным случаем общего выражения (1) при $K=1$.

Применение передаточных характеристик позволяет рассчитать динамический режим различных вариантов построения автокомпенсатора при произвольных дестабилизирующих воздействиях. На рис. 1 изображены переходные процессы АК с линейными УУЗ и ЦАП и фазовым детектором с треугольной дискриминационной характеристикой. В качестве внешнего дестабилизирующего воздействия на ЦВС выбран скачок амплитудой 3,5, коэффициент регулирования автокомпенсатора 2 (малое значение выбрано для достаточного запаса устойчивости схемы с фильтром высокого порядка). Фильтры нижних

частот управляющего тракта имеет 1, 2, 3-й порядок, постоянная времени каждого фильтра нормирована к единице.

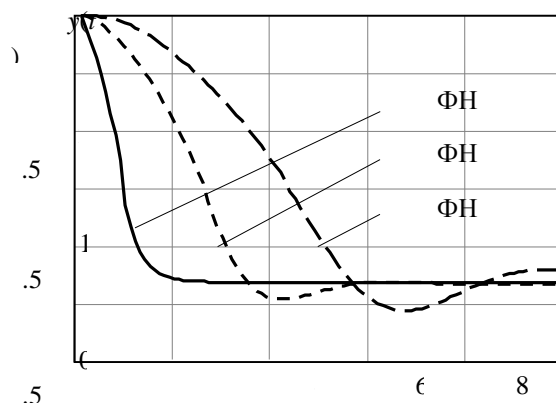


Рис. 1. Переходные процессы автокомпенсатора фазовых помех ЦВС с фильтром нижних частот 1, 2, 3-го порядка;

На основе полученных выражений аналогично может быть выполнен расчет переходных процессов автокомпенсатора с различными нелинейностями характеристик составляющих блоков и произвольным типом и порядком фильтра его управляющего тракта.

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

Литература

1. Рудаков А.М., Курилов И.А., Харчук С.М., Романов Д.Н. Математическое моделирование автокомпенсации фазовых помех на выходе ЦАП прямого цифрового синтезатора частот. Радиотехнические и телекоммуникационные системы. №2 (10), 2013. – С. 19-25.
2. Курилов И.А., Васильев Г.С., Харчук С.М. Анализ динамических характеристик преобразователей сигналов на основе непрерывных кусочно-линейных функций. – Научно-технический вестник Поволжья. 2010. № 1. С. 100-104.
3. Курилов И.А., Васильев Г.С., Харчук С.М. Моделирование преобразователя сигналов с комбинированным регулированием на основе передаточных характеристик // Проектирование и технология электронных средств. – Владимир, 2011. – №1. – С. 34-38.
4. 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.
5. Курилов И.А., Васильев Г.С., Харчук С.М. Исследование переходных процессов амплитудно-фазовых преобразователей спектральным методом на основе НКЛФ // Методы и устройства передачи и обработки информации: Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 11./Под ред. В.В. Ромашова, В.В. Булкина. – М.: «Радиотехника», 2009. – С. 72-78.