

Д.И. Суржик, Г.С. Васильев, И.А. Курилов  
 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](mailto:kh@mivlgu.ru)

### Исследование функционирования автокомпенсатора фазовых искажений цифрового вычислительного синтезатора во временной области

В работах [1-2] показана эффективность применения метода автоматической компенсации фазовых искажений для уменьшения уровня побочных спектральных составляющих и фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС) и формирователей сигналов на их основе.

На рис. 1 приведен один из вариантов реализации формирователя сигналов на основе ЦВС с трактом компенсации фазовых искажений (ЦВС с ТК) и петель фазовой автоподстройки частоты. На структурной схеме обозначено: ОГ – опорный генератор, ДЦ – дифференцирующая цепь, Тр – триггер, ДВ – двухполупериодный выпрямитель, ФД – фазовый детектор, ФНЧ – фильтр нижних частот, ИУПТ – инвертирующий усилитель постоянного тока, С – сумматор, ГУН – генератор управляемый напряжением, ДФКД – делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления. Также на схеме обозначено:  $\Delta u_{\Gamma}$  – приращение управляющего сигнала ГУН,  $\Delta \varphi_{\Gamma}$  – фазовые отклонения на выходе формирователя сигналов,  $\Delta \varphi_{ит}$  – фазовое отклонение на выходе информационного тракта автокомпенсатора,  $\Delta \varepsilon_{п}$  – воздействие на ЦВС в виде фазового отклонения.

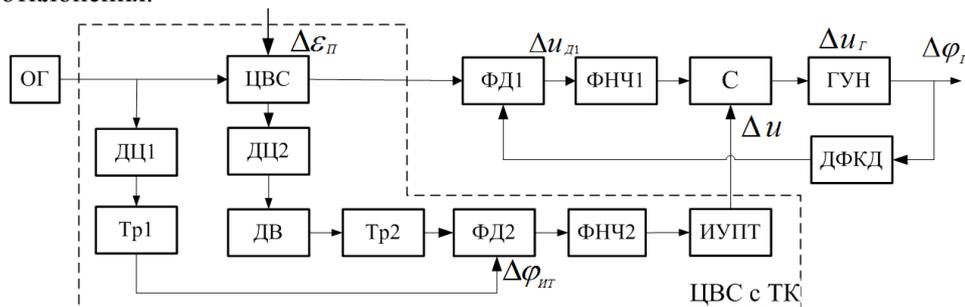


Рис. 1

Принцип функционирования устройства заключается в следующем. Для выделения паразитного отклонения фазы выходного сигнала ЦВС необходимо привести к одинаковой форме входной тактовый сигнал и ступенчатый сигнал с фазовыми искажениями с выхода цифро-аналогового преобразователя ЦВС, чтобы они отличались только фазовыми (временными) сдвигами. Указанное преобразование данных сигналов осуществляются в опорном (ДЦ1, Тр1) и информационном (ДЦ2, ДВ и Тр2) трактах автокомпенсатора. Далее сигналы обоих трактов сравниваются по фазе в фазовом детекторе ФД2. В результате получается сигнал, пропорциональный отклонению фазы ЦВС, а на выходе управляющего тракта (ФНЧ2 и ИУПТ) формируется компенсационный сигнал. Этот сигнал при помощи сумматора С вводится в управляющее напряжение ГУН и снижает искажения ЦВС в выходном сигнале формирователя.

Ранее с использованием аналитических выражений было осуществлено функциональное моделирование сигналов на выходах отдельных блоков исследуемого устройства во временной области в среде MathCAD [2]. Разработка схемотехнической модели формирователя в среде проектирования и моделирования электронных схем Micro-Cap [3] позволила исследовать режимы функционирования формирователя при вариации большого числа параметров схемы и ЦВС в частности (дифференциальной и интегральной нелинейности цифро-аналогового преобразователя, эффектов квантования, воздействия дестабилизирующих факторов с различным законом распределения и пр.).

Осциллограммы сигналов на выходе звеньев управляющего тракта ТК ЦВС (ФД, ФНЧ и ИУПТ) представлены на рис. 2. Они получены при некротной выходной частоте ЦВС, равной

7,2 МГц (0,24 от тактовой 30 МГц) и значении коэффициента регулирования автокомпенсатора, близкому к условиям полного подавления фазовых искажений ЦВС. Исследуемый ЦВС содержит аккумулятор фазы разрядностью 32 бит, 16-разрядное постоянное запоминающее устройство и 14-разрядный цифро-аналоговый преобразователь.

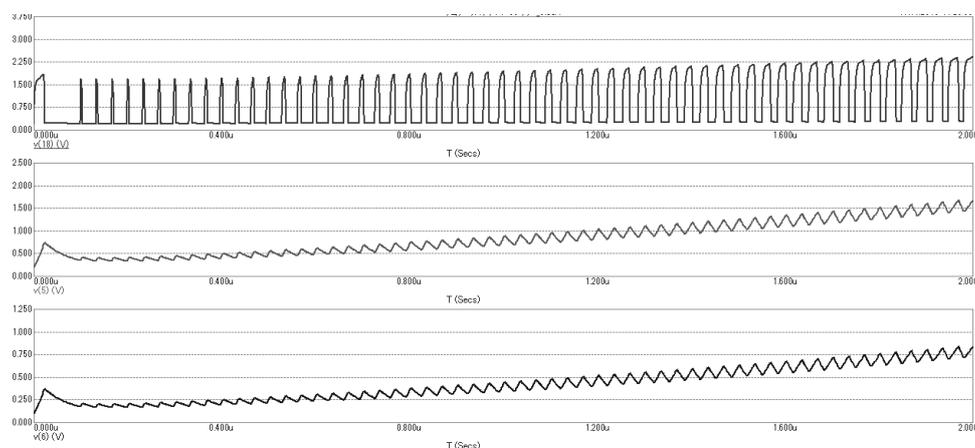


Рис. 2

Анализ сигналов на выходах звеньев ТК исследуемой модели формирователя во временной области позволил установить, что в результате дифференцирования тактового и выходного ступенчатого сигнала цифро-аналогового преобразователя ЦВС их амплитуды ослабляются в ДЦ1 и ДЦ2 до уровня, недостаточного для срабатывания триггеров Tr1 и Tr2 опорного и информационного трактов автокомпенсатора. В связи с этим проведено корректирование структурной схемы ТК, заключающееся в дополнении ее усилителями дифференцированных сигналов на входах триггеров.

Характер полученных осциллограмм соответствуют результатам функционального моделирования [1] сигналов на выходах звеньев устройства во временной форме и подтверждают достоверность предложенного способа выделения фазовых искажений выходного сигнала ЦВС, а также доказывают работоспособность предложенного устройства автокомпенсации.

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

### Литература

1. 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.
2. 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). – Omsk, May 21 – 23, 2015. – IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR. – ISBN: 978-1-4799-7102-2.1.
3. Амелина М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версия 9, 10. – Смоленск: Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2013. – 618 с.