Частотные характеристики гибридных синтезаторов частот с автоматической компенсацией фазовых искажений и регулированием по возмущению.

Д.И.Суржик[1], О.Р. Кузичкин[2], Г.С.Васильев[2], И.А.Курилов[1]

[1]Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых", E-mail: arzerum@mail.ru

[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования"Белгородский государственный национальный исследовательский университет",E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Представлена структурная схема цепи автокомпенсации фазовых искажений цифровых вычислительных синтезаторов и результаты моделирования частотных характеристик гибридных синтезаторов частот с улучшенными спектральными характеристиками на ее основе.

A block diagram of the phase-distortion autocompensation circuit of direct digital synthesizers and the results of modeling the frequency characteristics of hybrid frequency synthesizers with improved spectral characteristics based on it are presented.

Введение

Создание устройств формирования сигналов с низким уровнем паразитных спектральных составляющих и фазовых шумов для таких диапазонов частот является актуальной и не до конца решенной задачей.

Теоретические и экспериментальные исследования современных авторов показывают, что наиболее перспективными представляются формирователи сигналов на основе гибридных синтезаторов частот [1-5], сочетающих в себе прямой цифровой и косвенный синтез. При таком варианте гибридного синтеза цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС), реализующие метод прямого цифрового синтеза, выполняет функцию формирователя сетки частот, а петля фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), реализующая метод косвенного частотного синтеза – умножителя частоты.

Данные синтезаторы обеспечивают широкий диапазон синтезируемых частот и малый шаг перестройки, однако обладают недостаточной спектральной чистотой синтезируемых сигналов.

Автоматическая компенсация фазовых искажений гибридных синтезаторов частот

Известно, что наиболее нежелательными компонентами, присутствующими в спектре выходного сигнала гибридного синтезатора частот, являются дискретные паразитные спектральные составляющие, обусловленные фазовыми искажениями выходного сигнала ЦВС в составе устройства. Эффективным методом снижения данных искажений и тем самым улучшения спектральных характеристик гибридных синтезаторов частот является использование метода автоматической компенсации фазовых искажений (АКФИ) [6]. Идея данного метода заключается в выделении в спектре выходного сигнала цифро-аналогового преобразователя ЦВС тактовой частоты с фазовыми искажениями, ее сравнении с входной тактовой частотой синтезатора, формировании управляющего сигнала и последующем изменении выходного сигнала петли ФАПЧ синтезатора для компенсации присутствующих фазовых искажений ЦВС.

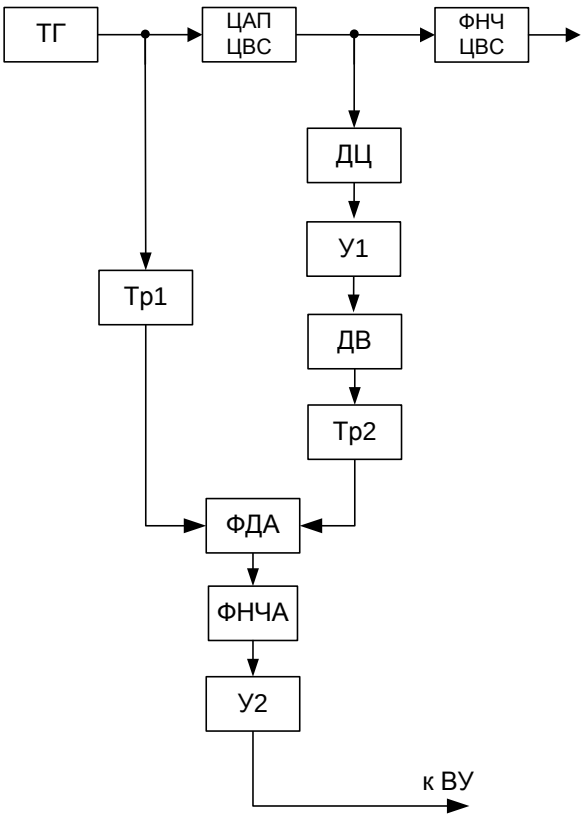


Рис. 1 Структурная схема тракта формирования управляющего сигнала АКФИ ЦВС

Структурная схема одного из вариантов реализации тракта формирования управляющего сигнала АКФИ ЦВС [6] представлена на рис. 1. На схеме приняты следующие обозначения: ТГ – тактовый генератор или источник тактовой частоты, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь ЦВС, ФНЧ - выходной фильтр нижних частот ЦВС, Тр – Т-триггер, ДЦ – дифференцирующая цепь, У – усилитель, ДВ – двухполупериодный выпрямитель, ФДА - фазовый детектор АКФИ, ФНЧА - фильтр нижних частот АКФИ, ВУ – вычитающее устройство (размещается в составе петли ФАПЧ, выполняющей функцию устройства управления).

На основе данной структурной схемы реализовано множество различных вариантов гибридных синтезаторов частот с улучшенными спектральными характеристиками, достигаемыми применением АКФИ ЦВС с различными типами регулирований. При этом необходимо отметить, что наиболее простым для реализации является регулирование по возмущению, которое рассматривается в данной работе.

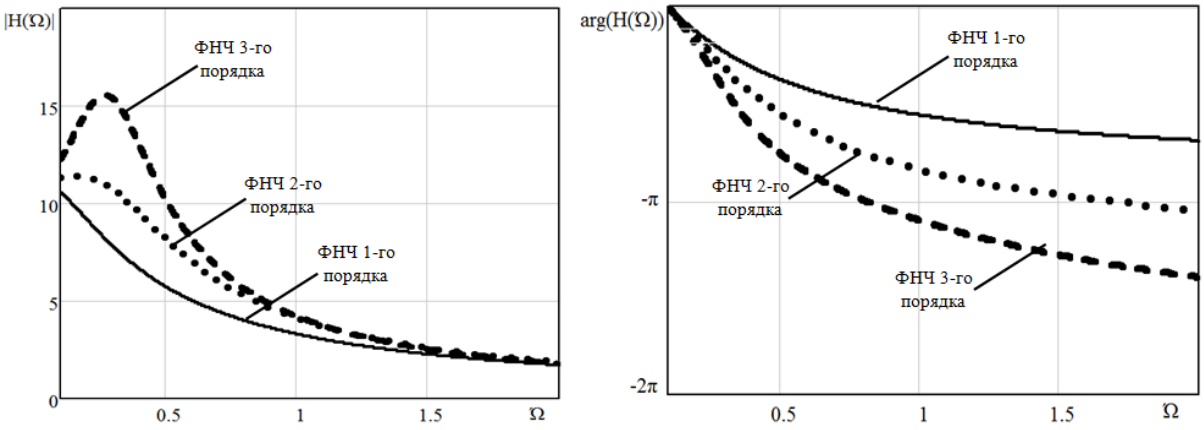
Частотные характеристики гибридных синтезаторов частот с автоматической компенсацией фазовых искажений и регулированием по возмущению

Важным свойством представленного АКФИ является избирательное подавление фазовых искажений выходного сигнала ЦВС гибридных синтезаторов частот в заданном диапазоне частотного спектра, что обеспечивается введением в цепь автокомпенсации фильтра с соответствующей характеристикой избирательности.

Для базовых вариантов построения гибридных синтезаторов частот на основе прямого цифрового и косвенного методов синтеза и АКФИ с регулированием по возмущению получена линеаризованная обобщенная передаточная функция (содержит одинаковую частотно-зависимую часть и отличается для каждого конкретного варианта синтезатора только частотно-независимыми коэффициентами передачи отдельных звеньев) по фазовым искажениям ЦВС.

На основе данной передаточной функции построены соответствующие частотные характеристики для различных вариантов построения гибридных синтезаторов частот с улучшенными спектральными характеристиками. В качестве примера на рис. 2 представлены графики амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных характеристик (ФЧХ) гибридных синтезаторов частот с АКФИ по фазовым искажениям ЦВС в качестве опорного генератора петли ФАПЧ и фильтрами различных порядков. Для моделирования использовались следующие

параметры устройства: тактовая частота ЦВС f_T =100 МГц, синтезируемая частота ЦВС $f_{ЦВС}$ = 30 МГц, коэффициент умножения петли ФАПЧ N_2 = 5.



а) АЧХ **б) ФЧХ**

Рис. 2 Частотные характеристики гибридных синтезаторов частот с АКФИ по фазовым искажениям ЦВС и фильтрами различных порядков

Из полученных графических зависимостей видно, что с увеличением порядка фильтра возрастает нелинейность обеих частотных характеристик, а АЧХ приобретает экстремальный характер, при этом экстремум возрастает и смещается влево по оси частот.

Также в работе проведено исследование влияния на частотные характеристики гибридных синтезаторов частот постоянной времени фильтра нижних частот и коэффициента усиления усилителя АКФИ. Установлено, что при выполнении условий полной компенсации фазовых искажений в соответствии с обобщенной передаточной функцией АЧХ устройств совпадают с осью абсцисс и фазовые искажения выходного сигнала ЦВС компенсируются.

Выводы

Полученная линеаризованная обобщенная передаточная функция гибридных синтезаторов частот с АКФИ ЦВС и регулированием по возмущению позволяет оценивать частотные свойства исследуемых устройств, а полученные графические зависимости позволяют выбирать параметры блоков АКФИ для увеличения подавления фазовых искажений ЦВС и улучшения избирательных свойств предложенных устройств.

Литература

1. Kroupa, V.F. Phase Lock Loops and Frequency Synthesis / V.F. Kroupa. - John Wiley & Sons, Ltd, 2003. – 320 p.
2. Goldberg, Bar-Giora. Digital Frequency Synthesis Demystified DDS and Fractional-N PLLs / Bar-Giora Goldberg. - LLH Technology Publishing, 1999. – 355 p.
3. Белов, Л.А. Формирование стабильных частот и сигналов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л.А. Белов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 224 с.
4. Шахтарин, Б.И. Синтезаторы частот: Учебное пособие / Б.И. Шахтарин. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 128 с.
5. Манассевич, В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование: пер. с англ. / В. Манассевич; Под. ред. А.С. Галина. - М.: Связь, 1979. - 384 с.
6. Суржик, Д.И. Компенсация искажений ЦВС в гибридных синтезаторах частот / Д.И. Суржик, И.А. Курилов, Г.С. Васильев // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. - 2015. – № 4(20). - С. 13-19.