

Г.С. Васильев, Д.И. Суржик
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

Разработка и исследование гибридного синтезатора частот с автокомпенсацией фазовых помех ЦВС и ФАПЧ

Цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС), реализующие метод прямого цифрового синтеза частот, обладают существенными преимуществами перед аналоговыми и косвенными методами синтеза частот и сигналов: удобство цифрового интерфейса, высокое разрешение по частоте и фазе, быстрая перестройка по частоте без разрыва фазы. Однако важным недостатком формирователей сигналов на основе ЦВС, например, по сравнению с синтезаторами косвенного синтеза частот на основе фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), является значительный уровень фазовых шумов синтезируемого колебания. К факторам, вызывающим рост фазовых флуктуаций, относятся: шумы квантования, дискретизации, вызванные конечной разрядностью цифровых блоков синтезатора и погрешности преобразования цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) ЦВС; переходные процессы ЦАП, вызывающие выбросы выходного сигнала при смене управляющего кода; джиттер отдельных звеньев синтезатора и интерфейсов между блоками. Проблема фазовых шумов также является актуальной для гибридных синтезаторов частот на основе ЦВС и ФАПЧ.

Установлено, что эффективным способом уменьшения фазовых помех ЦВС является автоматическая компенсация данных помех [1]. Способ основан на выделении закона паразитного отклонения фазы выходного сигнала ЦАП ЦВС и последующем противофазном отклонении тактового сигнала ЦАП в устройстве управляемой задержки – управляемом фазовращателе (УФ) под действием выделенного сигнала.

Предлагается дополнить схему автокомпенсатора помех ЦВС гибридного синтезатора частот (ГСЧ) цепью регулирования по возмущению и цепью автокомпенсации помех ФАПЧ для улучшения шумовых свойств ГСЧ. Получение передаточных функций гибридного синтезатора с новой схемой автокомпенсации позволит выполнить анализ статических, динамических, частотных характеристик и устойчивости устройства в общем виде для различных характеристик составляющих блоков.

Структурная схема ГСЧ с автокомпенсацией помех ЦВС и ФАПЧ представлена на рис. 1. На схеме обозначены блоки: ОГ – опорный генератор, УФ – управляемый фазовращатель, ФЦ – сглаживающий фильтр выходного сигнала ЦВС (в данной схеме является самостоятельным устройством и не входит в состав ЦВС), ФВ1 и ФВ2 – неуправляемые фазовращатели, ИТ1 и ИТ2 – информационные тракты, ФДА1 и ФДА2 – фазовые детекторы автокомпенсатора, Ф, Ф1 и Ф2 – фильтры системы ФАПЧ и управляющих трактов автокомпенсатора, У1 и У2 – усилители постоянного тока, С – сумматор. ФАПЧ включает в себя фазовый детектор (ФД), фильтр нижних частот (Ф), генератор, управляемый напряжением (ГУН) и делитель с переменным коэффициентом деления (ДПКД). Каждый информационный тракт автокомпенсатора (ИТ1 и ИТ2) состоит из дифференцирующей цепи (ДЦ1 и ДЦ2), двухполупериодного выпрямителя (ДВ1 и ДВ2) и Т-триггера (Тр1 и Тр2). Опорный тракт (ОТ) представляет собой Т-триггер, который выполняет деление частоты на 2 и обеспечивает равенство частот импульсных последовательностей на входах ФДА1 и ФДА2. Детекторы ФДА1 и ФДА2, а также фильтры Ф1 и Ф2 образуют управляющие тракты автокомпенсатора (УТ1 и УТ2). Тракт автокомпенсации помехи ФАПЧ состоит из фильтра Ф* и усилителя У*.

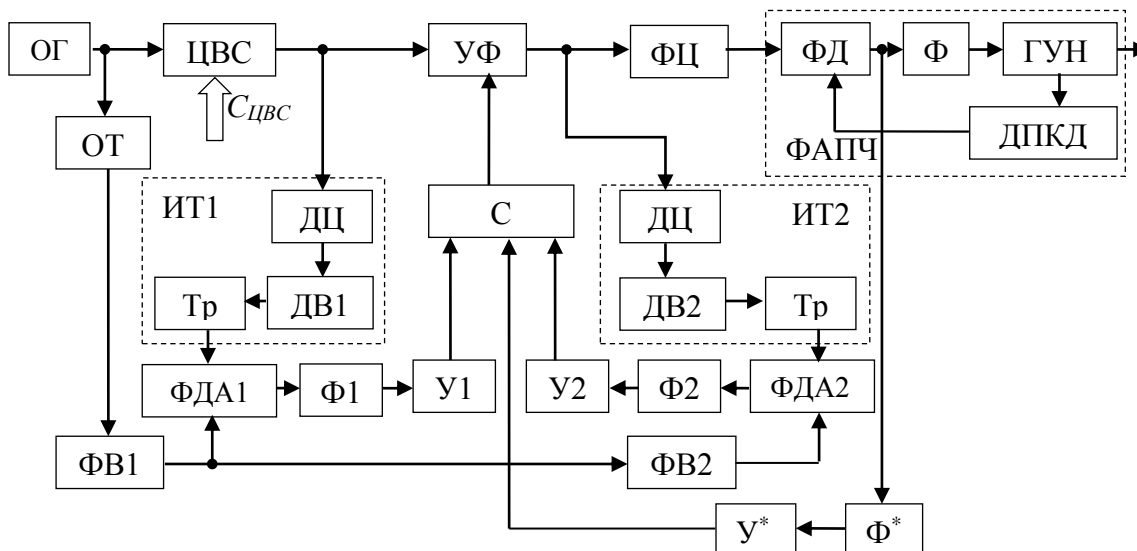


Рис. 1. Структурная схема гибридного синтезатора частот с автокомпенсацией фазовых помех ЦВС и ФАПЧ

Схема работает следующим образом: ОГ формирует опорный сигнал для тактирования ЦВС, параметры выходного сигнала ЦВС задаются кодом $C_{ЦВС}$, затем в УФ, происходит фазовое отклонение выходного сигнала ЦВС под действием управляющего сигнала, ФЦ (нижних частот или полосовой) выделяет основную частоту выходного сигнала ЦВС или ее образ, затем выходной умножитель частоты на ФАПЧ, подключенный к выходу ФЦ, осуществляет умножение частоты в $N_{ДПКД}$ раз, где $N_{ДПКД}$ – коэффициент деления ДПКД. Управляющий сигнал УФ формируется сложением в сумматоре С выходных сигналов цепи регулирования по возмущению (блоки ИТ1, ФДА1, Ф1 и У1), цепи регулирования по отклонению (блоки ИТ2, ФДА2, Ф2 и У2) и канала автокомпенсации фазовых флуктуаций ФАПЧ (блоки Φ^* и Y^*). Цепи регулирования по возмущению и отклонению составляют канал автокомпенсации фазовых флуктуаций ЦВС. Таким образом, наличие двух каналов автокомпенсации фазовых флуктуаций обеспечивают одновременное подавление фазовых шумов в выходном сигнале гибридного синтезатора, обусловленных шумовыми вкладами ЦВС и ФАПЧ.

Приняты обозначения: N_1, N_2 - коэффициенты регулирования автокомпенсатора помехи ЦВС по возмущению и по отклонению, N^* - коэффициент передачи цепи компенсации помехи ФАПЧ. Анализ передаточных функций гибридного синтезатора для паразитных фазовых отклонений, вносимых блоками ОГ, ЦВС и УФ, показал, что подавление фазовых флуктуаций в квазистационарном режиме работы фильтров нижних частот Ф2, Φ^* и Φ (передаточные функции фильтров равны 1) составляет: подавление шумового вклада ОГ - $10\lg(1+N^*)$ дБ при $N_2=0$; подавление шумового вклада УФ - $10\lg(1+N_2)$ дБ при $N^*=0$. Одновременное увеличение коэффициентов N_2 и N^* приводит к значительному уменьшению шумовых вкладов отдельных блоков и результирующего фазового шума выходного сигнала ГСЧ, что подтверждает эффективность предложенного устройства.

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.