

### Анализ ЧХ гибридных синтезаторов частот с автоматической компенсацией фазовых помех ЦВС

Гибридный метод синтеза позволяет существенно снизить влияние недостатков прямого и косвенного методов синтеза. Ряд недостатков присущих одним синтезаторам, компенсируются достоинствами других. В гибридных синтезаторах широко применяются цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС) и фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ), которые позволяют достичь высокого значения выходной частоты, упростить реализацию синтезатора, управление им, при этом получить достаточно низкий уровень фазовых шумов [2].

ЦВС, входящие в состав гибридных синтезаторов (ГСЧ), является активным источником фазовых помех. При отсутствии помех во входном сигнале основной причиной появления паразитных составляющих в спектре выходного сигнала ЦВС является ошибки квантования, дискретизации и цифро-аналогового преобразования. Для снижения уровня фазовых шумов ЦВС предложено использовать метод автоматической компенсации (АФП). Принцип действия автокомпенсатора основан на выделении закона паразитного отклонения фазы выходного сигнала ЦВС и последующем вычитании выделенного сигнала из сигнала системы ФАПЧ непосредственно перед его подачей на генератор, управляемый напряжением (ГУН).

Прямой цифровой синтезатор в составе ГСЧ может использоваться в качестве опорного генератора (ОГ) системы ФАПЧ, как делитель частоты (ДЧ) в цепи обратной связи (ОС), а также как генератор подставки системы ФАПЧ. Для указанных схем получены передаточные функции по действующим помехам ЦВС, которые имеют вид:

Для схемы ГСЧ с АФП и ЦВС в качестве ОГ системы ФАПЧ:

$$H_{\Delta\varepsilon_{\Pi}\Delta\varphi_{\Gamma}} = \frac{\Delta\varphi_{\Gamma}}{\Delta\varepsilon_{\Pi}} = \frac{-N_{\Pi} \frac{M_1(p)}{p} + N_A \frac{M_2(p)}{K_{\text{ЦВС}} p}}{1 + \frac{M_1(p)}{T_c p}}, \quad (1)$$

Для схемы ГСЧ с АФП и ЦВС в качестве ДЧ цепи ОС:

$$H_{\Delta\varepsilon_{\Pi}\Delta\varphi_{\Gamma}} = \frac{\Delta\varphi_{\Gamma}}{\Delta\varepsilon_{\Pi}} = \frac{-N_{\Pi} \frac{M_1(p)}{p} + N_A \frac{M_2(p)}{K_{\text{ЦВС}} p}}{1 + \frac{K_{\text{ЦВС}} M_1(p)}{T_c p}}, \quad (2)$$

Для схемы ГСЧ с АФП и ЦВС в качестве генератора подставки системы ФАПЧ:

$$H_{\Delta\varepsilon_{\Pi}\Delta\varphi_{\Gamma}} = \frac{\Delta\varphi_{\Gamma}}{\Delta\varepsilon_{\Pi}} = \frac{-N_{\Pi} \frac{M_1(p)}{N_2 p} + N_A \frac{M_2(p)}{p}}{1 + \frac{M_1(p)}{T_c p}}, \quad (3)$$

где  $T_c = \frac{N_{\text{ОС}}}{K_{\Gamma} K_{\text{Д1}}}$  - собственная постоянная времени ФАПЧ-синтезатора;  $N_{\Pi} = K_{\Gamma} K_{\text{Д1}} K_{\Pi}$  -

коэффициент передачи помехи;  $N_A = \frac{1}{2} n K_{\Gamma} K_{\text{Д1}} K_{\Pi}$  - коэффициент регулирования АФП;  $K_{\Gamma}$  - крутизна управляющей характеристики ГУН;  $p$  - оператор Лапласа;  $M_1(p)$  - коэффициент передачи ФНЧ1 в кольце фазовой автоподстройки;  $K_{\text{Д1}}$  - крутизна дискриминационной характеристики ФД1;  $N_1, N_2, N_3$  - коэффициенты деления ДЧ1, ДЧ2 и ДЧ3,  $N_{\text{ОС}}$  - коэффициент деления цепи ОС,  $K_{\Pi}$  - коэффициент передачи дестабилизирующего фактора;  $n$  - коэффициент усиления УПТ,  $M_2(p)$  - коэффициент

## Секция 18. Радиоэлектроника

передачи ФНЧ2 в УТ АФП,  $K_{Д2}$  - крутизна дискриминационной характеристики ФД2;  $K_{ОТ}$  и  $K_{ИТ}$  - коэффициенты передачи ОТ и ИТ;  $K_{ЦВС}$  - коэффициент передачи ЦВС;  $n_1$  - коэффициент умножения УЧ.

В работе проводится исследование частотных характеристик (ЧХ) гибридных синтезаторов частот с АФП ЦВС. Заменим  $p \rightarrow j\Omega$ , тогда соотношения (1)-(3) превратятся в комплексную дробь. Выделив вещественные и мнимые составляющие, получили выражения для амплитудно-и фазочастотных характеристик (АЧХ) и (ФЧХ) исследуемых устройств. На основании полученных выражений построены графики частотных характеристик ГСЧ с АФП ЦВС с различными параметрами цепи автокомпенсации. Проведенные исследования позволяют выбирать параметры блоков АФП (постоянную времени фильтра нижних частот и коэффициента передачи усилителя постоянного тока) для увеличения подавления помехи и улучшения избирательных свойств устройства.

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

### Литература

1. 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.
2. 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.