

Ромашов В.В., Якименко К.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: yakimenko.kirill@yandex.ru.*

Алгоритм минимизации уровня фазовых шумов гибридных синтезаторов на основе прямого цифрового и прямого аналогового методов синтеза

Низкий уровень фазовых шумов – важнейшее требование к синтезаторам частот, используемым в современных системах мобильной связи, системах радиолокации и контрольно-измерительной аппаратуре [1]. Наиболее перспективными в настоящее время являются гибридные синтезаторы, построенные на основе прямого цифрового и прямого аналогового методов синтеза. К их достоинствам относятся малый шаг сетки частот, высокая скорость перестройки, а также низкий по сравнению с системами косвенного синтеза уровень фазовых шумов.

Принцип действия гибридных синтезаторов частот на основе прямого цифрового и прямого аналогового методов синтеза заключается в следующем: синтезатор прямого цифрового метода синтеза – цифровой вычислительный синтезатор (ЦВС) с коэффициентом передачи $K_{\text{ЦВС}}$ формирует полосу частот с очень малым шагом перестройки (до 0,001 Гц). Затем выходной сигнал ЦВС переносится на более высокий частотный диапазон путем смешивания с одним или несколькими высокочастотными сигналами, формируемыми генераторами опорной частоты (ГОЧ). Одна из наиболее простых архитектур гибридного синтезатора на основе прямого цифрового и прямого аналогового методов синтеза представляет собой ГОЧ, выходной сигнал которого с частотой $f_{\text{ГОЧ}}$ подается на умножитель тактовой частоты ЦВС, где умножается в n_{Γ} -раз. Затем сигнал с умноженной частотой тактирует ЦВС, который формирует полосу частот практически от 0,0001 Гц до $0,4f_{\text{ГОЧ}}n_{\Gamma}$. Кроме этого, сигнал ГОЧ подается на умножитель с переменным коэффициентом умножения (технически это можно реализовать в виде генератора гармоник на диоде с накоплением заряда и банка колебательных контуров, настроенных на выделение требуемых гармоник). Далее сигнал с умноженной частотой $f_{\text{ГОЧ}}n_{\Gamma}$ подается на смеситель, где смешивается с выходным сигналом ЦВС. Выходной сигнал смесителя является выходным сигналом гибридного синтезатора. Частота выходного сигнала определяется по формуле

$$f_{\text{ВЫХ}} = f_{\text{ГОЧ}} (n_{\Gamma} K_{\text{ЦВС}} + n_{\Gamma}). \quad (1)$$

К достоинству представленной схемы следует отнести возможность формирования «неразрывной» сетки частот в широком диапазоне с малым шагом перестройки.

При проектировании гибридного синтезатора перед разработчиком стоит задача рассчитать оптимальные частотные соотношения в структуре синтезатора, т.е. подобрать коэффициенты умножения n_{Γ} и n_{Γ} , а также коэффициент передачи ЦВС $K_{\text{ЦВС}}$, при установке которых синтезатор будет способен сформировать требуемые выходные частоты. Бывает, что количество комбинаций коэффициентов достигает нескольких сотен и разработчику необходимо выбрать одну из них. Авторы данной работы предлагают считать критерием оптимальности при выборе уровень фазовых шумов. В данной работе предлагается алгоритм минимизации уровня фазовых шумов гибридных синтезаторов на основе прямого цифрового и прямого аналогового методов синтеза, или выбора комбинаций коэффициентов умножения и передачи ЦВС, обеспечивающих наименьший уровень фазовых шумов гибридного синтезатора. Алгоритм сводится к следующим действиям:

Шаг 1. задается значение опорной частоты $f_{\text{ГОЧ}}$ и значение выходной частоты $f_{\text{ВЫХ}}$ синтезатора.

Шаг 2. По формуле (1) производится расчет всех возможных комбинаций коэффициентов, при установке которых гибридный синтезатор сформирует сигнал с заданной частотой. В результате формируется двумерный массив, содержащий i -комбинаций n_{Γ} , n_{Γ} , $K_{\text{ЦВС}}$:

$$\text{Koeff} = \begin{bmatrix} (n_{\Gamma})_1 & (n_{\Gamma})_1 & (K_{\text{ЦВС}})_1 \\ (n_{\Gamma})_2 & (n_{\Gamma})_2 & (K_{\text{ЦВС}})_2 \\ (n_{\Gamma})_3 & (n_{\Gamma})_3 & (K_{\text{ЦВС}})_3 \\ \dots & \dots & \dots \\ (n_{\Gamma})_i & (n_{\Gamma})_i & (K_{\text{ЦВС}})_i \end{bmatrix}.$$

Шаг 3. Для анализа шумовых характеристик синтезаторов частот используются математические модели спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов в зависимости от частоты отстройки F от несущей [2]. Авторами была разработана математическая модель СПМ фазовых шумов гибридного синтезатора на основе прямого цифрового и прямого аналогового методов синтеза [3].

На данном шаге комбинации параметров из массива Koeff поочередно подставляются в математическую модель СПМ фазовых шумов. Для каждой комбинации параметров рассчитываются значения СПМ фазовых шумов для заданных значений отстроек от несущей (F_1, F_2, \dots, F_j). Полученные результаты записываются в двумерный массив данных SGC :

$$\text{SGC} = \begin{bmatrix} \text{SGC}_{11} & \text{SGC}_{12} & \dots & \text{SGC}_{1j} \\ \text{SGC}_{21} & \text{SGC}_{22} & \dots & \text{SGC}_{2j} \\ \text{SGC}_{31} & \text{SGC}_{32} & \dots & \text{SGC}_{3j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{SGC}_{i1} & \text{SGC}_{i2} & \dots & \text{SGC}_{ij} \end{bmatrix}.$$

Шаг 4. Подпрограмма сравнения и выбора вариантов, при которых обеспечивается наименьший уровень фазовых шумов.

На данном этапе в полученном массиве SGC происходит сравнение значений по строкам. В случае, когда все значения одной строки больше всех значений другой строки, строка с большими значениями отсеивается. В результате остаётся строка с наименьшими значениями СПМ фазовых шумов, либо несколько строк, в которых значения при одних отстройках больше, чем значения на аналогичных отстройках, а при других меньше. Комбинации коэффициентов для этих строк как раз и будут оптимальными с точки зрения уровня фазовых шумов гибридного синтезатора.

Конец алгоритма.

Таким образом, предлагаемый алгоритм позволит автоматизировать процесс расчета и оптимизации частотных соотношений в структуре гибридного синтезатора на основе прямого цифрового и прямого аналогового методов синтеза.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации, а также Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках проекта по конкурсу УМНИК-2018.

Литература

1. Chenakin A. Frequency Synthesizers: From Concept to Product. New York: Artech House, 2010. 235 p.
2. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н., Якименко К.А. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. №1. С. 5–20.
3. Якименко К.А. Исследование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот на основе прямого аналогового и прямого цифрового методов синтеза // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2017. Т.19. С. 9–15.