

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 определения параметров гибридных синтезаторов частот, обеспечивающих наименьший уровень фазовых шумов выходного сигнала**

Гибридные синтезаторы частот на основе прямого цифрового (цифровые вычислительные синтезаторы – ЦВС) и косвенного (системы фазовой автоподстройки частоты – ФАПЧ) методов синтеза формируют широкий диапазон выходных частот с малым шагом перестройки, обеспечивая при этом низкий уровень фазовых шумов и малое количество дискретных побочных составляющих в спектре выходного сигнала [1, 2]. Для анализа шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот используются математические модели спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов на основе степенных полиномов [3]. При проектировании гибридного синтезатора на основе ФАПЧ и ЦВС перед разработчиком стоит задача рассчитать частотные соотношения в структуре системы ФАПЧ. Исходными данными для расчета, как правило, являются значения входной (опорной) частоты, частоты сравнения в фазовом дискриминаторе, выходной частоты синтезатора [4]. Однако, для некоторых типов гибридных синтезаторов (например, для гибридного синтезатора с ЦВС в качестве генератора подставки или для гибридного синтезатора, использующего образы основной частоты ЦВС) достигнуть требуемое значение выходной частоты можно при различных комбинациях параметров синтезатора (значений коэффициентов деления делителей частот, коэффициентов умножения умножителей частот, коэффициентов передачи ЦВС). Количество таких комбинаций может достигать нескольких тысяч. Поэтому актуальной задачей представляется выбрать из этого набора комбинаций одну, при установке, которой синтезатор будет формировать требуемый сигнал с наименьшим уровнем фазовых шумов. Таким образом, целью данной работы является разработка на основе математических моделей СПМ фазовых шумов алгоритма определения параметров гибридных синтезаторов, обеспечивающих наименьший уровень фазовых шумов выходных сигналов.

Алгоритм определения параметров, обеспечивающих наименьший уровень фазовых шумов, сводится к расчёту и сравнению значений СПМ фазовых шумов по математическим моделям при всех возможных комбинациях параметров гибридных синтезаторов, обеспечивающих формирование заданных частот:

Шаг 1. Ввод набора параметров гибридного синтезатора, обеспечивающих формирование заданной выходной частоты.

Задаётся набор Par из всех возможных параметров гибридного синтезатора (общим количеством –  $i$ ), получившихся при частотном планировании, при установке которых гибридный синтезатор сформирует сигнал с заданной выходной частотой.

Для гибридного синтезатора с ЦВС в качестве генератора подставки ФАПЧ массив Par будет состоять из параметров  $(N_1, N_2, n_1, K_{\text{ЦВС}})$

$$\text{Par} = \begin{bmatrix} (N_1)_1 & (N_1)_2 & \dots & (N_1)_i \\ (N_2)_1 & (N_2)_2 & \dots & (N_2)_i \\ (n_1)_1 & (n_1)_2 & \dots & (n_1)_i \\ (K_{\text{ЦВС}})_1 & (K_{\text{ЦВС}})_2 & \dots & (K_{\text{ЦВС}})_i \end{bmatrix}.$$

Для гибридного синтезатора, использующего образы основной частоты ЦВС, массив Par дополняется номером образа  $n$ :

$$\text{Par} = \begin{bmatrix} (N_1)_1 & (N_1)_2 & \dots & (N_1)_i \\ (N_2)_1 & (N_2)_2 & & (N_2)_i \\ (n_1)_1 & (n_1)_2 & & (n_1)_i \\ (n)_1 & (n)_2 & & (n)_i \\ (K_{\text{ЦВС}})_1 & (K_{\text{ЦВС}})_2 & & (K_{\text{ЦВС}})_i \end{bmatrix}.$$

Шаг 2. Подпрограмма расчета значений СПМ фазовых шумов на заданных частотах отстройки  $F$  от несущей.

На данном этапе параметры из массива  $\text{Par}$  поочередно подставляются в соответствующие математические модели 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  $\text{SGC}$ :

$$\text{SGC} = \begin{bmatrix} \text{SGC}_{11} & \text{SGC}_{12} & \text{SGC}_{13} & \dots & \text{SGC}_{1i} \\ \text{SGC}_{21} & \text{SGC}_{22} & \text{SGC}_{23} & & \text{SGC}_{2i} \\ \text{SGC}_{31} & \text{SGC}_{32} & \text{SGC}_{33} & & \text{SGC}_{3i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{SGC}_{j1} & \text{SGC}_{j2} & \text{SGC}_{j3} & & \text{SGC}_{ji} \end{bmatrix}.$$

Шаг 3. Подпрограмма сравнения и выбора вариантов, при которых обеспечивается наименьший уровень фазовых шумов.

На данном этапе в полученном массиве  $\text{SGC}$  происходит сравнение значений по столбцам. В случае, когда все значения одного столбца больше всех значений другого столбца, столбец с большими значениями отсеивается. В результате остаётся столбец, с наименьшими значениями СПМ фазовых шумов, либо несколько столбцов, в которых значения при одних отстройках больше, чем значения на аналогичных отстройках, а при других меньше.

Шаг 4. Подпрограмма выбора параметров.

На данном этапе необходимо решить, какой набор параметров обеспечивает наименьший уровень фазовых шумов, то есть из оставшихся столбцов выбрать один по определённому критерию. Данный критерий зависит от области применения гибридного синтезатора. Для одних применений критичным является уровень фазовых шумов на ближних отстройках, для других – на дальних. Поэтому выбор критерия на данном этапе определяется пользователем.

Алгоритм был реализован в виде подпрограммы, входящей в состав программного комплекса, разработанного в [5].

### Литература

1. Chenakin A. Frequency Synthesizers: From Concept to Product. New York: Artech House, 2010. 235 p.
2. Romashov V.V., Romashova L.V., Khramov K.K., Yakimenko K.A., Doktorov A.N. Wide-band hybrid frequency synthesizer with improved noise performance // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2018 - Proceedings. № 1. 2018. С. 1–4. DOI: 10.1109/MWENT.2018.8337224.
3. 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.
4. Ромашов В.В., Якименко К.А. Разработка математического аппарата для частотного планирования гибридных синтезаторов частот // Проектирование и технология электронных средств. 2016. № 3. С. 3–9.
5. Ромашов В.В., Якименко К.А. Программный комплекс для проектирования гибридных синтезаторов частот и моделирования их шумовых характеристик // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2018. № 1. С. 36–44.