

Разработка и исследование математических моделей шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот с использованием цифровых вычислительных синтезаторов

Для получения высокочастотных сигналов применяются формирователи сигналов. В их состав могут входить синтезаторы частоты разных типов, умножители частоты, генераторы опорной частоты. В последнее время широко применяются интегральные цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС), обладающие рядом полезных качеств, таких как возможность формирования сетки частот, переключение между частотами без разрыва фазы выходного сигнала, высоким разрешением до долей Гц, программным управлением. Существенным недостатком современных цифровых вычислительных синтезаторов является ограниченная выходная частота, которая не превышает 40% от тактовой частоты. Повысить частоту можно, используя умножители частоты на биполярных и полевых транзисторах. Также существуют умножители, основанные на системе ФАПЧ. Однако умножение частоты неизбежно приведет к росту фазовых шумов пропорционально квадрату коэффициента умножения.

Однако в настоящее время находит практическое применение идея, заключающаяся в том, чтобы использовать для увеличения выходной частоты ЦВС побочные компоненты спектра. Данные компоненты получили название – образы основной частоты. Решением данной проблемы может быть использование образов основной выходной частоты ЦВС. Образы основной частоты – это побочные спектральные составляющие выходного сигнала, которые обычно подавляются с помощью ФНЧ. Применение образов позволяет в несколько раз повысить выходную частоту ЦВС, тем самым снизив коэффициенты умножения последующих умножителей частоты. Это позволяет сохранить приемлемый уровень СПМ фазовых шумов при одновременном увеличении выходной частоты формирователя.

Структурная схема гибридного синтезатора частот, использующего образы основной частоты ЦВС, представлена на рис. 1.

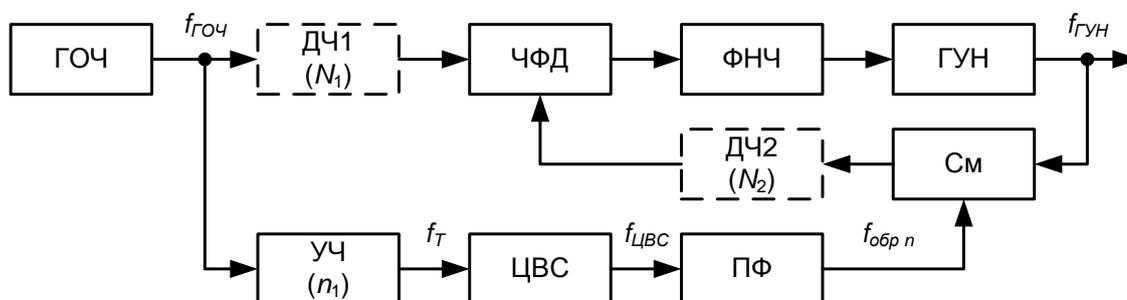


Рис. 1. Структурная схема гибридного синтезатора частот, использующего образы основной частоты ЦВС

Генератор опорной частоты (ГОЧ) вырабатывает сигнал с частотой $f_{ГОЧ}$, которая в делителе частоты ДЧ делится в N_1 раз. Выходной сигнал генератора, управляемого напряжением ГУН, с частотой $f_{ГУН}$ подается на один вход смесителя См. Тактовая частота f_T ЦВС образуется умножением выходной частоты ГОЧ в n_1 раз во встроенном в интегральный ЦВС умножителе частоты УЧ на системе ИФАПЧ.

$$f_T = n_1 f_{ГОЧ}.$$

Выходной сигнал ЦВС содержит частоты

$$f_{обр n} = |n| f_T + \text{sgn}(n) f_{осн},$$

где $f_{осн}$ – основная частота ЦВС; $n = \pm 1, \pm 2, \dots$ – номера образов основной частоты; $\text{sgn}(x)$ – функция выделения знака аргумента x .

Для выделения необходимого спектрального компонента с частотой соответствующего n -го образа используется полосовой фильтр ПФ, причем для лучшей фильтрации дискретных составляющих желательно использовать коэффициент деления ЦВС

Секция 13. Моделирование радиоэлектронных устройств и систем

$$K_{ЦВС} = f_{осн} / f_T = 0,15...0,35.$$

Для анализа шумовых характеристик гибридного синтезатора воспользуемся моделью спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов системы ФАПЧ со смесителем, добавив в нее модели СПМ умножителя частоты и ЦВС на образцах основной частоты:

$$S_{ФАПЧ}(F) = \left[\frac{S_{ГОЧ}(F)}{N_1^2} + S_{Д1}(F) + S_{ЧФД}(F) + \right. \\ \left. + S_{Д2}(F) + \frac{1}{N_2^2} \left[S_{СМ}(F) + S_{УЧ}(F)(n - K_{ЦВС})^2 + S_{ЦВСобр}(F) \right] \right] * \\ * |H_{31}(F)|^2 + S_{ГУН}(F) \cdot |H_{32}(F)|^2$$

На рис. 2 приведены полученные в результате моделирования шумовые характеристики гибридного синтезатора частот на основе однокольцевой ИФАПЧ со смесителем и ЦВС для следующих значений частот: $f_{ГОЧ} = 96$ МГц, $f_T = 2496$ МГц, $f_{ГУН} = 3000$ МГц, $f_{СРЧФД} = 24$ МГц, $f_{ЦВС} = 880$ МГц. Коэффициенты деления для выбранных частот составляют $N_1=4$, $N_2=5$. Коэффициент умножения $n_1=26$.

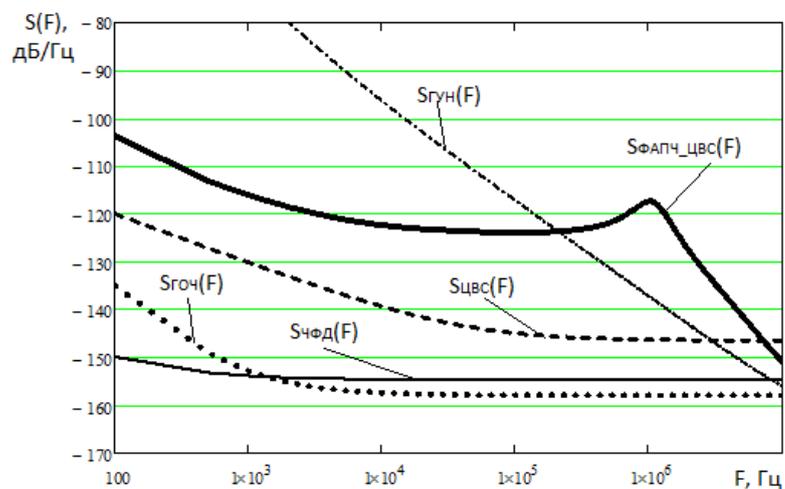


Рис. 2. Собственные фазовые шумы звеньев гибридного синтезатора частот

Таким образом, полученная математическая модель СП фазовых шумов гибридного синтезатора частот позволяет рассчитать его шумовые характеристики для произвольных выходных частот.