



ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА С НИЗКИМ УРОВНЕМ ФАЗОВЫХ ШУМОВ В ИНТЕГРАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ.

Молчанов Е.Г., Силаев Е.А.,
Формальнов И.С., Чубаров Д.В.

Как известно, в радиосвязи и радиолокации предъявляются жёсткие требования к фазовым флуктуациям выходного колебания. Поэтому снижение и оценка предельно допустимого уровня фазовых шумов являются важнейшими задачами при проектировании радиопередающих устройств. Ниже предложена методика проведения расчёта спектральной плотности мощности фазовых флуктуаций выходного сигнала синтезатора частоты на основе ФАПЧ.

За основу для расчёта была принята аппроксимационная модель системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), предложенная в [1]. (рис 1.)

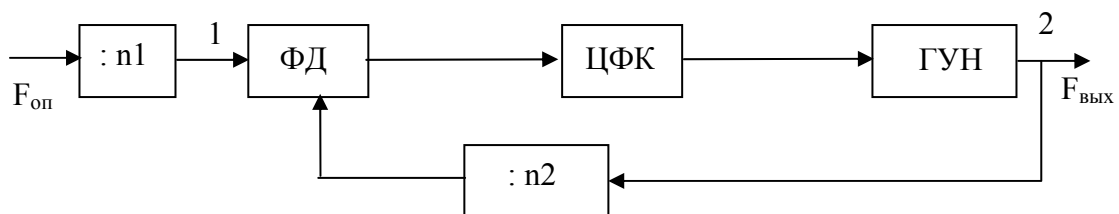


Рис.1. Блок-схема исследованной системы ФАПЧ.

Составные части:

- n1 – делитель частоты опорного колебания;
- n2 – делитель частоты в цепи обратной связи;
- ФД – фазовый детектор;
- ЦФК – цепь фильтрации-коррекции;
- ГУН – генератор, управляемый напряжением.

Пусть у нас «шумят» все элементы, то есть добавляют флуктуацию фазы к общему сигналу: эти добавочные величины назовём Φ_{n1} , $\Phi_{фд}$, $\Phi_{цфк}$, $\Phi_{гун}$, Φ_{n2} . Для упрощения рассмотрения системы можно привести эти величины к двум составляющим : Φ_1 , Φ_2 , действующие соответственно на точки 1 и 2.

Тогда $\Phi_1 = \Phi_{n1} + \Phi_{фд} + \Phi_{цфк} + \Phi_{n2} + \Phi_{ог}$;

$\Phi_2 = \Phi_{гун}$,

$$\Phi_{вых} = H_1(p) \Phi_1 + H_2(p) \Phi_2, \quad (1)$$

где $H_1(p)$ - передаточная функция замкнутого кольца ФАПЧ по внешним шумам:

$$H_1(p) = \frac{K_{цфк} S_{гун} E_{фд} / p}{1 + H(p)} \quad (2)$$

$H_2(p)$ - передаточная функция замкнутого кольца ФАПЧ по внутренним шумам:

$$H_2(p) = \frac{1}{1 + H(p)} \quad (3)$$

$H(p)$ – передаточная функция разомкнутого кольца ФАПЧ:

$$H(p) = \frac{K_{цфк}(p) E_{фд} S_{гун}}{p} \frac{1}{n_2} \quad (4)$$

Далее, зная передаточные характеристики кольца ФАПЧ по мощности, рассчитывается картина фазовых флуктуаций выходного колебания. Шумами ФД и ЦФК, как правило, пренебрегают, так как они вносят значительно меньший вклад

в результирующую картину, чем остальные составляющие. Влияние делителей учитывается с помощью передаточной функции делителя по шумам:

$$|H(F)| = \frac{\sin \pi F \tau_0}{\pi F \tau_0}.$$

Её можно рассматривать как своеобразную АЧХ делителя частоты [1]. Тогда спектр флуктуаций частоты на выходе делителя определяется по формуле $S_f(F)_{\text{вых}} = |H(F)|^2 S_f(F)_{\text{вх}}$.

График спектральной плотности мощности фазовых флуктуаций опорного колебания, построенный в двойном логарифмическом масштабе, делится на квазилинейные участки, на которых путём несложных математических вычислений можно вывести аппроксимационную зависимость $S_{\text{фог}}(F) = 10^a F^b$, где a, b – постоянные величины для данного отрезка, не обязательно целочисленные, так как здесь не преследуется цель определения степенной природы шума (белый ли он, фликкер-шум или шум случайных блужданий). Точно так же производится аппроксимация типичного шума ГУНа. Далее, подставляя полученные зависимости в (1), можно построить расчётную кривую. Для облегчения расчёта следует учесть, что из внешнего вида формул (1) – (4) понятно, что на малых отстройках от несущей основную роль играют шумы опорного генератора, а на больших – шумы ГУНа.

Ниже приведен результат подобного расчёта и сравнение его с экспериментальными данными для синтезатора частоты, выполненного на микросхеме Si4133 фирмы Silicon Laboratories для выходной частоты 1573.5 МГц с опорой от кварцевого генератора 25.5 МГц (рис.3.). Сплошной гладкой линией показан результат расчёта, а две другие линии – результаты замеров фазовых шумов, характеризующие максимальный разброс измерений по нескольким изделиям.

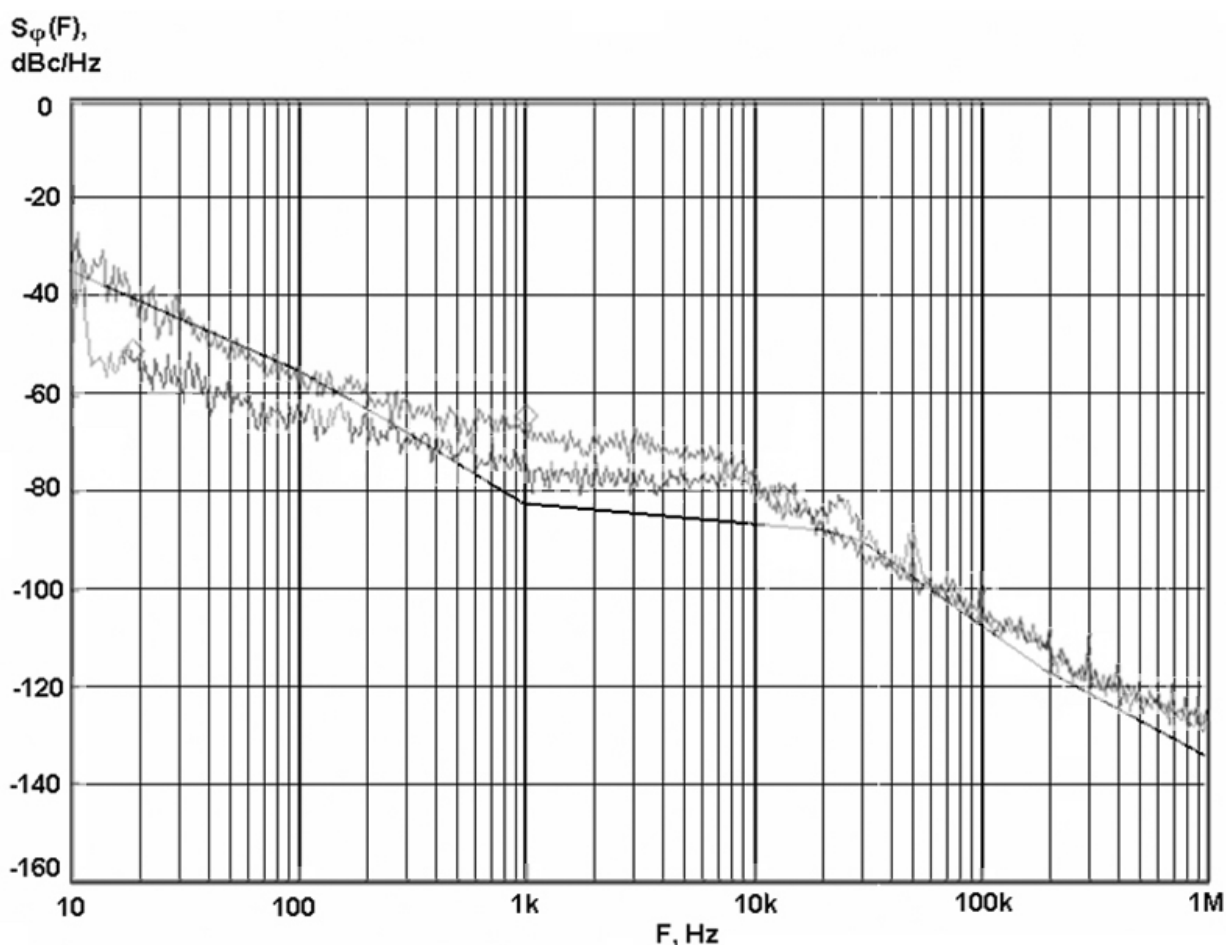


Рис.2. Сравнение расчётных (кусочно-линейная аппроксимация) и экспериментальных данных.

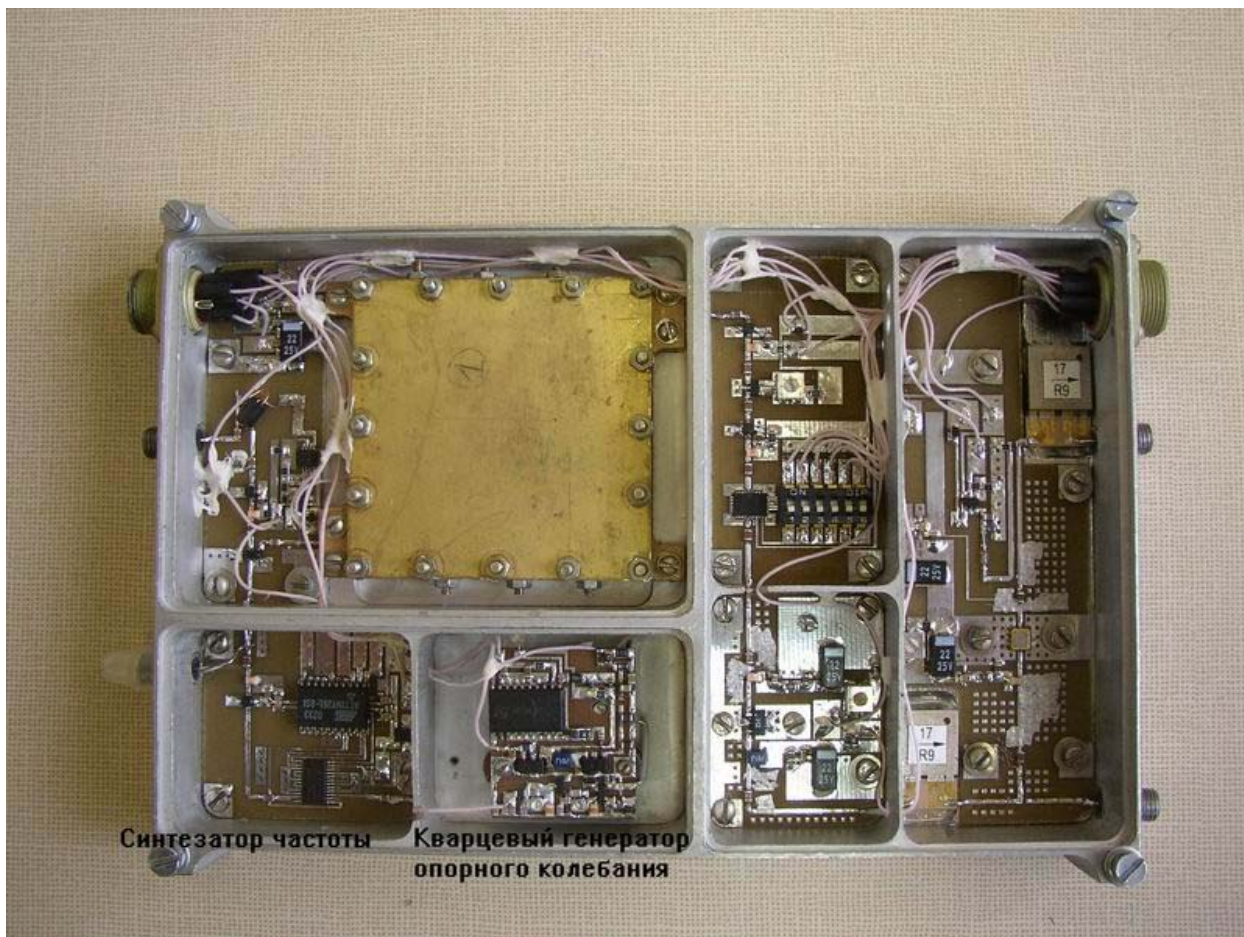


Рис. 3 Синтезатор частоты с управлением от микроконтроллера в составе блока преобразования частоты.

Сравнение расчёта с результатами измерений по нескольким изделиям позволило сделать следующие выводы:

1. В изготовленных изделиях удалось реализовать возможности выбранной элементной базы.
2. Подтверждена правильность модели и методики проведения вычислений.
3. Экспериментально подтверждено, что результирующая картина фазовых флуктуаций на малых отстройках в основном зависит от опорного колебания, на больших отстройках определяется параметрами ГУНа, а переходная область – фильтрующими свойствами системы ФАПЧ в сочетании с шумовыми характеристиками опорного колебания и ГУНа.

Литература

1. Рыжков А.В., Попов В.Н.: Синтезаторы частоты в технике радиосвязи. – Москва: Радио и связь, 1991.