

УДК 621.396.967

Н.П. Кандырин

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

ФАЗОВЫЕ ШУМЫ КВАРЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И ГЕНЕРАТОРОВ, УПРАВЛЯЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЕМ

Проведен сравнительный анализ шумовых характеристик кварцевых генераторов и генераторов, управляемых напряжением. Приведены выражения, определяющие относительную спектральную плотность мощности фазовых шумов генераторов и графики зависимостей фазовых шумов от частоты расстройки.

Ключевые слова: синтезатор сетки частот, фазовая автоподстройка частоты, фазовый шум.

Введение

Постановка проблемы и анализ публикаций. Цифровые синтезаторы частот (ЦСЧ) и цифровые синтезаторы сигналов (ЦСС) находят в последние годы все большее применение в современных радиотехнических системах, таких, как мобильные средства связи, прецизионные измерительные устройства, системы радиолокации и радионавигации. Основной тенденцией развития ЦСС в указанных областях является повышение выходных частот (десятки гигагерц) и уменьшение шага сетки частот (единицы герц). Поэтому вопросы минимизации уровня фазовых шумов в ЦСС становятся особенно актуальными.

Анализ фазовых шумов в ЦСС проводится практически во всех работах, посвященных синтезу частот [1 – 10].

В [1, 2] рассмотрены теоретические аспекты возникновения и прохождения фазовых шумов во всех существующих видах синтезаторов. Там же показано, что возможность оптимизации уровня фазовых шумов при заданных отстройках от несущей частоты существует в ЦСС с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ).

В [3, 4, 10] представлены шумовые модели генератора, управляемого напряжением (ГУН), а также опорного кварцевого генератора (КВГ). Однако эти модели не являются достаточно точными, при сравнительном расчете дают существенно заниженные уровни фазовых шумов при малых отстройках от несущей частоты по сравнению с классической моделью [1].

Поэтому в работах последних лет [5, 6] подчеркивается, что для источников гармонических колебаний с высокими требованиями к спектральной чистоте сигнала необходимо учитывать, что фазовые флуктуации при различных частотных отстройках порождаются различными физическими причинами и имеют разные границы. Их положение и протяженность для того или иного выпол-

нения источника колебаний зависят от режима его работы и других факторов.

Целью статьи является проведение сравнительного анализа результатов расчета спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов модели генератора, управляемого напряжением, и кварцевого генератора по известным выражениям предложенных различными авторами с целью оптимизации их расчета при различных отстройках от несущей частоты для проектирования синтезаторов частот и сигналов.

Основной материал

Любое электрическое колебание содержит составляющие фазовой (или частотной) модуляции случайного характера. Шумы возникают в различных элементах устройств: в резисторах, конденсаторах, диодах и транзисторах. В зависимости от режима работы элементов уровни соответствующих шумов могут меняться [1].

Шумы дробового эффекта характеризуются гауссовским распределением амплитуды, поскольку вызваны очень большим числом независимых составляющих.

Переменное напряжение, вызванное беспорядочным тепловым движением свободных электронов в объеме проводника, является тепловым шумом. Тепловые шумы также описываются гауссовским распределением амплитуды. Низкочастотные ($1/f$) – шумы – третий часто встречающийся вид с гауссовским распределением, известные также под названием избыточных или шумов фликкер-эффекта. Шумы этого вида связаны с контактными и поверхностными неоднородностями в полупроводниках и вызваны, по-видимому, флуктуациями проводимости среды, через которую протекает ток [1].

Выражения, определяющие относительную спектральную плотность (ОСП) шумов кварцевых генераторов и генераторов, управляемых напряжением приведены в [2, 4, 10].

Для генераторов управляемых напряжением, проанализируем три выражения, определяющие относительную спектральную плотность шумов генераторов с точки зрения простоты и оптимальности их расчетов.

1. Формула Рыжкова [4]

$$S_{ГУН1}(F) = \frac{10^{-11,6} \cdot f_{out}^2}{Q^2 \cdot F^3} + \frac{10^{-15,6}}{Q^2 \cdot F^2} + \frac{10^{-11}}{F} + 10^{-15}.$$

2. Формула Drucker [10]

$$S_{ГУН2}(F) = \frac{10^{0,7}}{F^3} + \frac{10^{-3}}{F^2} + 10^{-15,5}.$$

3. Формула Кгоура [2]

$$S_{ГУН3}(F) = \frac{10^{-11,6} \cdot f_{out}^2}{Q^2 \cdot F^3} + \frac{10^{-15,6} \cdot f_{out}^2}{Q^2 \cdot F^2} + \frac{10^{-15}}{F} + 10^{-15}.$$

На основе этих выражений в среде MathCAD были построены графики зависимости относительных плотностей фазовых шумов генераторов от частоты расстройки (рис. 1).

Из построенных зависимостей следует, что до частоты, равной 20 кГц, кривые идут примерно одинаково. Далее кривая, построенная по выражению Рыжкова, имеет больший уровень спектральной плотности шумов.

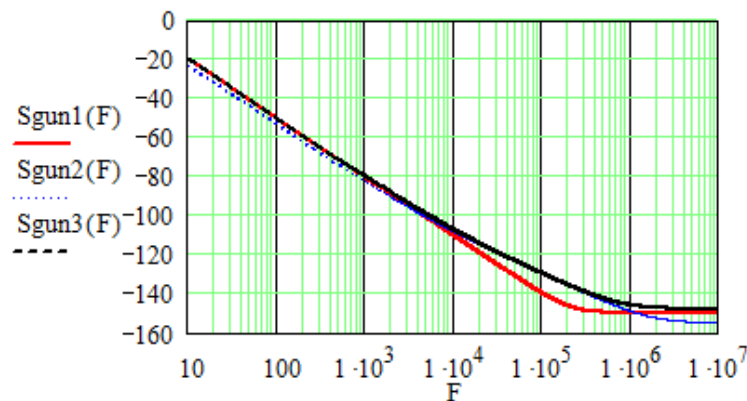


Рис. 1. ОСП фазовых шумов генераторов, управляемых напряжением

Сравнивая выражения по количеству величин, входящих в формулы видим, что в выражениях Рыжкова и Кгоура, присутствуют добротность и выходная частота f_{out} , в то время как в формуле Drucker данные величины отсутствуют. Следовательно, наиболее простым и оптимальным для расчетов выражением можно считать формулу Drucker [10], по которой в дальнейшем и будем строить зависимости фазовых шумов при проектировании синтезаторов сигналов.

Как известно, любой синтезатор частот или сигналов в своем составе содержит генератор опорных колебаний как неотъемлемую его часть. Поэтому представляет интерес проанализировать расчетные выражения для расчета ОСП фазовых шумов предложенных теми же авторами для кварцевых генераторов.

1. Формула Рыжкова [4]

$$S_{кв1}(F) = \frac{10^{-37,25} \cdot f_{out}^4}{F^3} + \frac{10^{-39,4} \cdot f_{out}^4}{F^2} + \frac{10^{-12,25}}{F} + 10^{-15}.$$

2. Формула Drucker [10]

$$S_{кв2}(F) = \frac{10^{-7,82}}{F^3} + \frac{10^{-9,86}}{F^2} + \frac{10^{-12,7}}{F} + 10^{-15,8}$$

3. Формула Кгоура [2]

$$S_{кв3}(F) = \frac{10^{-10,5}}{F^4} + \frac{10^{-10,5}}{F^3} + \frac{10^{-11,4}}{F^2} + \frac{10^{-13,8}}{F} + 10^{-16,2}.$$

Графики зависимостей спектральных плотностей шумов кварцевых генераторов от частоты расстройки, построенные по предложенным формулам, были сравнены с графиком, построенным по экспериментально полученным данным для кварцевого генератора ГК85ТС (рис. 2).

Сравнивая кривые зависимостей ОСП построенные по формулам можно сказать следующее, что наиболее совпадающей по форме с экспериментальным графиком является зависимость, построенная по формуле Druckera, поэтому при проектировании и расчетах фазовых шумов кварцевых генераторов будем использовать ее как наиболее простую и точную.

Выводы

В результате сравнительного анализа выражений для расчета ОСП генераторов управляемых напряжением и кварцевых генераторов используемых при построении синтезаторов частот и сигналов пришли к выводу:

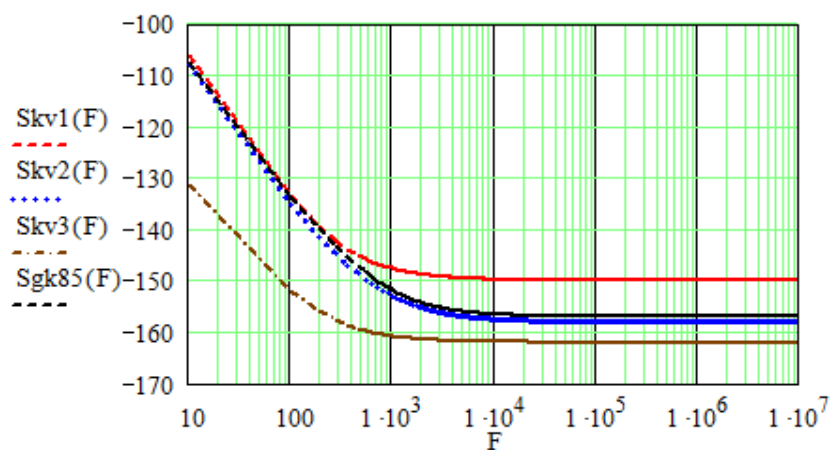


Рис. 2. ОСП фазових шумів кварцевих генераторів

- расчет относительной спектральной плотности для генератора, управляемого напряжением, лучше всего производить по формуле Drucker [10], как наиболее простой и оптимальной, а по точности расчета не уступающей двум другим;

- для кварцевых генераторов, судя по сравнению с экспериментальным графиком наиболее совпадающей по форме, является кривая, рассчитанная по формуле Drucker [10].

Список литературы

1. Манасевич В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование / В. Манасевич. Пер. с англ. Под ред. А.С. Галина. – М.: Связь, 1979. – 384 с.
2. Кроура V.F. Phase Lock Loops and Frequency Synthesis, 2003, John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0-470-84866-9 – 320 с.
3. Шапиро Д.Н. Основы теории синтеза частот / Д.Н. Шапиро, А.А. Паин. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
4. Рыжков А.В. Синтезаторы частот в технике радиосвязи / А.В. Рыжков, В.Н. Попов. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
5. Белов Л.А. Синтезаторы частот и сигналов. Курс лекций для студентов радиотехнических специальностей. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2002. – 80 с.

6. Романюк В.А. Синтезаторы частот на основе автогенераторов с ФАПЧ. Учебник для высшей школы / В.А. Романюк. – М.: МИЭТ, 2005. – 99 с.

7. Белов Л.А. Синтезаторы стабильных частот / Л.А. Белов // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2004. – №3. – С. 38-44.

8. Никитин Ю. Частотный метод анализа характеристик синтезаторов частот с импульсно-фазовой автоподстройкой частоты Analog Devices. Часть 3. Расчет фильтрации помех кольцом АФАП / Ю. Никитин, С. Дмитриев // Компоненты и технологии. – 2003. – № 5. – С. 3-62.

9. Никитин Ю. Генераторы, управляемые напряжением, компании SYNERGY для радиочастотных синтезаторов / Ю. Никитин // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2005. – №5. – С. 66-68.

10. Drucker Erik. Model PLL Dynamics and Phase-Noise Performance. – Microwaves & RF, 2000. №2.

Поступила в редколлегию 12.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.И. Сухаревский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ФАЗОВІ ШУМИ КВАРЦОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ І ГЕНЕРАТОРІВ, КЕРОВАНИХ НАПРУГОЮ

М.П. Кандирін

Проведено порівняльний аналіз шумових характеристик кварцових генераторів та генераторів, керованих напругою. Наведено результати моделювання шумових процесів рівня фазових шумів генераторів від частоти розлагодження.

Ключові слова: синтезатор сітки частот, фазова автопідстроювання частоти, фазовий шум.

PHASE NOISE QUARTZ OSCILLATOR AND A VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR

N.P. Kandyrin

A comparative analysis of the noise characteristics of crystal oscillators and voltage-controlled oscillator. The results of modeling of noise processes phase noise oscillators frequency detuning.

Keywords: grid frequency synthesizer, phase-locked loop, the phase noise.