

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
Информатики и радиоэлектроники

УДК 621.373.1

Ляшук  
Юрий Анатольевич

Виброустойчивый синтезатор частоты X-диапазона

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии»

---

Научный руководитель

Корневский Святослав  
Александрович  
канд. техн. наук, доцент

---

Минск 2021

## Краткое введение

Основная отличительная особенность бортового применения синтезатора частот (СЧ) – высокие уровни механических воздействий (вибрации, акустические шумы, удары) и высокие эксплуатационные требования к живучести, надежности, габаритам, массе и энергопотреблению. Назначение бортовых СЧ, чаще всего, – бортовые РЛС. Так, в когерентной бортовой РЛС многофункциональный СЧ дает сигналы для сеток частот первого и второго гетеродинов, зондирующего сигнала, для опорной и тактовой частот. Как правило, наиболее трудными для одновременного выполнения являются требования, как в режиме отсутствия воздействий, так и при воздействиях, по фазовым шумам, по скорости переключения частот, по уровню ПСС.

Вибрационные частоты, воздействующие, например, на оборудование тактических ракет, простираются от нулевой частоты (постоянная составляющая ускорения вызывает постоянное смещение частоты рабочего генератора (РГ)) до максимальных частот порядка, скажем 50 КГц, что перекрывает диапазон доплеровских частот РЛС. Т.е. под действием вибрационно-индуцированных фазовых шумов снижается и чувствительность приемника, и диапазон измеримых доплеровских частот. Индуцированная вибрацией и акустическим шумом паразитная частотная модуляция несущей СЧ увеличивает фазовый шум, вызывая дополнительную деградацию эффективности СЧ.

В итоге, с ростом эффективности бортовых радиоэлектронных систем, в частности, радиолокационных, все чаще традиционные решения СЧ не могут удовлетворить весь объем требований бортового применения.

Целью данной работы является разработка виброустойчивого синтезатора  $X$  диапазона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор существующих схем построения синтезаторов частот, а также проанализировать влияние дестабилизирующих вибрационных факторов на фазовый шум синтезатора;
- разработать структурную схему синтезатора частот  $X$  диапазона;
- выполнить моделирование синтезатора частот;
- разработать программное обеспечение для синтезатора частот;
- провести исследование методов компенсации фазовых шумов под действием вибраций.

## **Общая характеристика работы**

**Цель и задачи исследования.** Целью данной работы является разработка виброустойчивого синтезатора X диапазона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор существующих схем построения синтезаторов частот, а также проанализировать влияние дестабилизирующих вибрационных факторов на фазовый шум синтезатора;
- разработать структурную схему синтезатора частот X диапазона;
- выполнить моделирование синтезатора частот;
- разработать программное обеспечение для синтезатора частот;
- провести исследование методов компенсации фазовых шумов под действием вибраций.

**Объект исследования** – Синтезатор частот X диапазона.

**Предмет исследования** – Влияние дестабилизирующих вибрационных воздействий на фазовый шум синтезатора частот.

**Практическая значимость.** Разработанный метод электронной компенсации позволяет бороться с вибрационно-индуцированными фазовыми шумами снижающими чувствительность, диапазон измеримых доплеровских частот приемников на подвижной технике.

### **Научная новизна**

В результате работы разработаны методы электронной компенсации фазового шума для СЧ X диапазона.

### **Личный вклад соискателя**

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, а также их обработка, анализ и интерпретация, получены автором самостоятельно. Вклад научного руководителя заключается в формулировке целей и задач исследования.

Основным соавтором опубликованных работ является научный руководитель, кандидат технических наук, доцент С.А.Корневский.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 2019).

## **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликована 1 печатная работа в сборнике трудов и материалов конференций в БГУИР.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и двух приложений.

В первом разделе проводится анализ существующих схем построения синтезаторов частот.

Во втором разделе производится разработка структурной схемы синтезатора частот.

Третий раздел посвящен моделированию параметров синтезатора частот в среде *Matlab/Simulink*.

В четвертом разделе приведено исследование электронных методов компенсации фазовых шумов.

Общий объем работы составляет 76 страниц, из которых основного текста – 56 страницы, 38 рисунков, 2 таблицы, список использованных источников из 31 наименования на 2 страницах.

## Основное содержание

Во **введении** определена область и указаны основные направления исследования, показана актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика вопроса.

**Первый раздел** «Анализ схем построения синтезаторов частот» носит теоретический характер. В данном разделе рассматриваются наиболее актуальные схемы построения синтезаторов частот, а также проводится анализ дестабилизирующих факторов влияющих на параметры синтезатора.

Во **втором разделе** «Разработка схемы электрической структурной» на основании анализа предъявляемых требований проводится разработка структурной схемы синтезатора частот.

**Третий раздел** «Моделирование фазовых шумов синтезатора частот при воздействии вибраций в заданном диапазоне частот и амплитуд» посвящен численным расчетам фазовых шумов на основе экспериментальных исследований. Расчёт производится в среде *Matlab/Simulink*, которая хорошо подходит для решения математических и практических задач.

В **четвертом разделе** «Исследование методов компенсации фазовых шумов» производится разработка электронной аналоговой и цифровой схем компенсации фазовых шумов при воздействии вибраций.

В **пятом разделе** «Разработка программного обеспечения» производится описание возможностей программного обеспечения разработанного для синтезатора частот.

## Заключение

В результате выполнения работы проведен анализ существующих схем построения СЧ, проанализированы дестабилизирующие вибрацион-ные факторы, влияющие на ФШ. Показано, что основным элементом определяющим уровень фазового шума при воздействии вибраций является кварцевый генератор.

Разработана структурная схема синтезатора частот. Требуемые значения диапазона частот и шага обеспечиваются путем формирования трех сеток частот. Шаг крупной сетки частот выбран 600 МГц. Шаг средней сетки частот выбран 100 МГц. Диапазон рабочих частот СЧ с ПЦС выбран в диапазоне 350 – 440 МГц, шаг сетки частот 10 МГц. Объединение этих сеток частот позволяет сформировать требуемые значения диапазона и шага сетки рабочих частот при этом обеспечив быструю перестройку частоты. Время перестройки частоты выходной частоты СЧ определяется временем переключения коммутаторов и может быть менее 0.5 мкс.

На основании экспериментальных данных разработана модель синтезатора частот, параметры которой совпадают с параметрами экспериментальной установки.

Для обеспечения уменьшения спектральной плотности мощности ФШ разработаны две схемы электронной компенсации. Показано что большое время задержки акселерометров выполненных по технологии МЭМС не позволяет их использовать в схеме компенсации ФШ. Схема аналоговой компенсации позволяет обеспечить эффективное уменьшение ФШ кварцевого генератора в диапазоне частот 20 – 300 Гц. Эффект работы схем электронной комп в диапазоне выше 400 Гц уменьшается. Для повышения эффективности уменьшения ФШ предлагается одновременное использование электронной компенсации и применения виброгасителей.

Для проведения исследований разработано программное обеспечение, контролирующее основные параметры синтезатора.

## Список опубликованных работ

1. Ляшук, Ю. А. Программно-управляемый широкополосный генератор СВЧ / Ю. А. Ляшук // 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов (Республика Беларусь, г. Минск, 22-26 апреля 2019). – Минск: БГУИР, 2019.

Библиотека БГУИР