

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

УДК 621.373.1

Соколовский
Дмитрий Владимирович

СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ С МАЛЫМ УРОВНЕМ ШУМОВ И БЫСТРОЙ
ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТЫ

АВТОРЕФЕРАТ

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

Научный руководитель
Кореневский Святослав Александрович
кандидат технических наук, доцент

Минск 2021

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях боевых действий противоборствующими сторонами все активнее используются ударные беспилотные летательные аппараты, крылатые и баллистические ракеты, способные работать на крайне малых высотах. Данные объекты отличает достаточно малая эффективная поверхность рассеяния и относительно невысокие скорости, что приводит к достаточно малым доплеровским смещениям частоты, малым уровням мощности отраженного сигнала и, соответственно, к ужесточению технических требований радиолокационных станций для их обнаружения.

На сегодняшний день в составе радиолокационных станций зарекомендовали себя супергетеродинные и инфрадинные методы преобразования принимаемого сигнала, которые обеспечивают в связке с цифровыми трактами высокий динамический диапазон, высокую чувствительность и избирательность, а также низкое восприятие к внешним помехам. В составе аналого-цифрового тракта приемо-передающей системы входит высокостабильный синтезатор частот, который формирует когерентные сигналы для сеток частот первого и, при необходимости, второго гетеродинов, зондирующего сигнала, для опорной и тактовой частот.

Параметры синтезатора частот, такие как уровень побочных составляющих спектра, фазовый шум, скорость перестройки частоты выходного сигнала, стабильность частоты, влияют на параметры приемного тракта и на стабильность системы в целом. Ухудшение фазового шума и уровня побочных составляющих спектра приводит к снижению чувствительности приемного тракта. При этом ухудшение фазового шума приводит к сужению диапазона измеряемых доплеровских частот, а ухудшение уровня побочных составляющих спектра – к снижению избирательности по побочным, соседним и зеркальным каналам приема (внеполосным помехам). Наличие режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты с высокой скоростью перестройки позволяет значительно повысить устойчивость радиолокационной станции к помехам.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью работы является разработка и исследования параметров синтезатора частот с малым уровнем шумов и быстрой перестройкой частоты.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- обзор и анализ существующих методов синтеза частоты и их схем построения;
- разработка структурной схемы;
- моделирование и экспериментальные исследования побочных составляющих спектра;
- макетирование или моделирование, экспериментальные исследования существующих методов синтеза для применения в составе разрабатываемого синтезатора частот;
- разработка и исследования составных узлов синтезатора частот;
- экспериментальные исследования изготовленного образца синтезатора частот с малым уровнем шумов и быстрой перестройкой частоты;
- анализ полученных результатов.

Объект исследования – синтезатор частот с низким уровнем шумов и быстрой перестройкой частоты.

Предмет исследования – шумовые характеристики синтезатора частот.

Теоретическо-методологическую основу исследования составили труды отечественных и зарубежных ученых, занимающихся теоретическими и практическими вопросами в области радиотехники, радиолокации, а также методы экспериментального исследования и компьютерного моделирования.

Научная новизна работы. В результате работы разработаны структурная схема синтезатора частот и частотный план. Проведено моделирование побочных составляющих спектра. Разработаны макеты синтезаторов частот крупного шага с последующими экспериментальными исследованиями. Разработана модель расчета параметров петлевого фильтра, переходной характеристики и стабильности схемы ФАПЧ. Параметры разработанного синтезатора частот с малым уровнем шумов и быстрой перестройкой частоты подтверждены экспериментальными исследованиями.

Практическая значимость. Использование описанных подходов позволяет строить синтезаторы частот с низким уровнем шумов и быстрой перестройкой частоты со значительным сокращением времени разработки опытного образца и уменьшением количества итераций. Практические рекомендации и предложения диссертационной работы фактически используются при разработке малозагрязняющих синтезаторов частот в НПООО «ОКБ ТСП».

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается экспериментальными исследованиями изготовленного опытного образца синтезатора частот с малым уровнем шумов и быстрой перестройкой частоты.

Публикации. Опубликовано пять печатных работ в материалах научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка. Материал изложен на 74 страницах, включает 2 таблицы, 68 рисунков и 2 приложения. Список использованных источников информации содержит 25 наименований, список публикаций автора – 5 наименований.

Библиотека БГУИР

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** показывается актуальность темы диссертационной работы, даётся краткая характеристика вопроса, формируются цели и задачи.

Первый раздел «Обзор и анализ существующих методов синтеза частот и их схем построения» носит теоретический характер. В данном разделе описано влияние параметров синтезатора частот на параметры приемо-передающих систем радиолокационных станций. Классифицированы и подробно рассмотрены методы синтеза частот: прямой аналоговый синтез, прямой цифровой синтез, косвенный синтез на основе схем фазовой автоподстройки частоты, гибридный синтез. Актуализировано применение гибридного метода синтеза в структуре синтезатора частот для достижения сочетания таких параметров, как малый уровень шумов и быстрая перестройка частоты.

Во **втором разделе** «Разработка структурной схемы» предъявлены требования к разрабатываемому синтезатору частот. Проводится разработка структурной схемы. Приведена применяемая модель архитектуры программного обеспечения микроконтроллера для управления и диагностики синтезатора частот.

Третий раздел «Моделирование и исследования побочных составляющих спектра синтезатора частот» посвящен частотному планированию составных узлов синтезатора частот, моделированию побочных составляющих спектра на его выходе. Предъявлены требования к составным узлам.

В рамках **четвертого раздела** «Разработка и исследования синтезатора частот крупного шага» проведено проектирование структурных и принципиальных схем макетов, программного обеспечения с дальнейшим исследованием параметров умножителя частот на *NLT* элементах, схем ФАПЧ, где все элементы схемы в виде одной микросхемы, так и в виде отдельных микросхем. Показана актуальность применения схем ФАПЧ, где все элементы схемы выполнены в виде отдельных микросхем.

В **пятом разделе** «Экспериментальные исследования разработанного синтезатора частот» проводятся исследования изготовленного опытного образца и его составных узлов. Показано полное соответствие измеренных параметров синтезатора частот с малым уровнем шумов и быстрой перестройкой частоты с предъявляемыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа посвящена решению актуальной задачи: разработке и исследованиям синтезатора частот, который является одним из основных элементов приемно-передающей системы радиолокационной станции. Параметры синтезатора частот, такие как уровень побочных составляющих спектра, фазовый шум, скорость перестройки частоты выходного сигнала, стабильность частоты, влияют на параметры приемного тракта радиолокационной станции и на стабильность системы в целом. Ухудшение фазового шума и уровня побочных составляющих спектра приводит к снижению чувствительности приемного тракта. При этом ухудшение фазового шума приводит к сужению диапазона измеряемых доплеровских частот, а ухудшение уровня побочных составляющих спектра – к снижению избирательности по побочным, соседним и зеркальным каналам приема (внеполосным помехам). Наличие режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты с высокой скоростью перестройки позволяет значительно повысить устойчивость радиолокационной станции к помехам.

В результате выполнения магистерской диссертации проведен обзор и анализ существующих методов синтеза частот и их схем построения. Разработана структурная схема синтезатора частот с малым уровнем шумов и быстрой перестройкой частоты. Проведено моделирование побочных составляющих спектра на выходе синтезатора частот. На основании полученных моделей определены требования к фильтрам на выходе, ЦВС и синтезатору частот крупного шага. Проведено проектирование структурных и принципиальных схем, программного обеспечения и экспериментальные исследования макетов для применения в качестве синтезатора частот крупного шага.

Проведена разработка, изготовление и экспериментальные исследования опытного образца синтезатора частот с малым уровнем шумов и быстрой перестройкой частот. Показано, что достигнутые параметры в полной мере соответствуют заданным.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

[1-А.] СВЧ тракт приемопередающего модуля АФАР для космического радиолокатора X-диапазона / Р.А. Богданов, Д.В. Соколовский, О.С. Мальцев. // Инженерия для освоения космоса : сб. научн. Тр. VI Международного молодежного форума / Томский политехнический университет. – Томск, 2018. – 78 с.

[2-А.] Соколовский, Д. В. Широкополосный генератор радиочастот с малым уровнем побочных излучений / Д. В. Соколовский // Информационные радиотехнологии : материалы 55-й юбилейной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 2019 года). – Минск : БГУИР, 2019. – С. 139.

[3-А.] М. В. Давыдов. Методика оценки и программной коррекции неравномерности АЧХ ВЧ-тракта генератора для широкополосного пере-страиваемого акустооптического фильтра / М. В. Давыдов, Д.В. Соколовский и др. // Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018): материалы международной научной конференции, Минск, / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2018. – С. 48 - 49.

[4-А.] Ляшук, Ю. А. Загрузчик программно-определяемых модулей / Ляшук Ю. А., Соколовский Д. В. // Радиотехника и электроника : сборник тезисов докладов 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель-май 2020 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. - Минск : БГУИР, 2020. - С. 188-189.

[5-А.] Ляшук, Ю. А. Синтезатор частот крупного шага сетки частот / Ляшук Ю. А., Соколовский Д. В., Корневский С. А. // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2020 : материалы Республиканской научно-практической конференции, Минск, 28-29 октября 2020 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 82-84.