

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ «ВНИИОФИ»

к. физ.-мат. н

И.С. Филимонов



2024г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Парёхина Данила Александровича** «Методы стабилизации параметров квантового дискриминатора стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение (технические науки)

Актуальность работы

В настоящее время в развитых в экономическом и военном отношениях странах мира значительное внимание уделяется разработке малогабаритных стандартов частоты. Объём таких устройств не превышает нескольких десятков кубических сантиметров, а точностные характеристики сравнимы с уже существующими стационарными цезиевыми, водородными и рубидиевыми стандартами частоты.

Цели этих разработок направлены на повышение эффективности спутниковых навигационных систем при существенных динамических и помеховых воздействиях, а также в условиях затенений и ухудшения видимости навигационных космических аппаратов. Малогабаритные стандарты частоты находят применение в инерциальных системах навигации (навигации без спутников); в системах связи, включая широкополосную связь

с быстрым переключением несущей частоты и спектральным уплотнением каналов, повышении помехозащищенности аппаратуры и создании устойчивых беспроводных каналов передачи данных; для синхронизации оборудования в высокоскоростных вычислительных сетях и т.д.

В диссертации Парёхина Данила Александровича рассматривается актуальная задача улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик миниатюрных квантовых стандартов частоты (КЧС), основанных на эффекте когерентного пленения населенностей (КПН) в парах рубидия. Диссертационная работа Парёхина Д. А. посвящена разработке и реализации новых методов стабилизации параметров квантового дискриминатора, как ключевого элемента КСЧ на основе эффекта КПН.

Научная новизна и практическая значимость результатов диссертационной работы

Научная новизна данной работы заключается в создании новых методов стабилизации параметров квантового дискриминатора КСЧ, основанных на эффекте когерентного пленения населенностей, позволивших существенно улучшить метрологические характеристики разрабатываемого стандарта частоты.

Разработанные в диссертации методы и алгоритмы стабилизации КПН – резонанса, настройки СВЧ-генератора, стабилизации и калибровки длины волны лазера позволили для кратковременной (на интервале 1с) и долговременной (на интервале 1 сутки) нестабильности частоты получить результаты на уровне передовых лабораторий мира. Кроме того, впервые в России создан КСЧ КПН с нестабильностью частоты менее 5×10^{-13} на интервале времени 1000 секунд при энергопотреблении менее 300 мВт. Разработана уникальная программа для системы управления КСЧ КПН.

Практическая значимость результатов работы в первую очередь связана с возможностью их применения для серийно выпускаемого изделия КСЧ КПН на базе ФГУП «ВНИИФТРИ». Полученные результаты также используются при выполнении соответствующих НИОКР ФГУП «ВНИИФТРИ», что

способствует развитию отечественных измерительных технологий времени и частоты и подтверждает практическую значимость результатов диссертационного исследования.

Достоверность выводов и научных положений

Достоверность полученных автором результатов подтверждается хорошей сопоставимостью с результатами аналогичных или альтернативных исследований в ведущих лабораториях России и в зарубежных исследовательских центрах. Основные результаты диссертации докладывались на международных конференциях и опубликованы в отечественных и зарубежных журналах. Все измерения проводились на сертифицированном оборудовании.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Она содержит 111 страниц текста, включая 45 рисунков и 6 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 142 наименования.

Введение содержит данные, обосновывающие актуальность работы, ее научной новизны и практической значимости, сформулированы цель и задачи работы, приведены положения, выносимые на защиту, а также личный вклад автора.

В Главе 1 представлен обзор применения эффекта КПН в КСЧ. Он включает в себя детальный анализ существующей литературы по данному вопросу, обсуждение теоретических основ эффекта КПН и его практической реализации в КСЧ. В этой главе также подробно описаны функциональные и структурные схемы КСЧ на основе КПН, выделены ключевые компоненты и их роль в генерации и стабилизации тактового сигнала. Кроме того, в Главе 1 рассматриваются различные факторы, которые могут влиять на резонансную частоту КПН, такие как интенсивность лазера, температура ячейки, микроволновая мощность и магнитное поле.

Глава 2 содержит результаты исследования автора относительно влияния различных рабочих параметров на производительность КСЧ на основе КПН. Автор исследует влияние температуры ячейки, мощности микроволнового излучения, интенсивности лазера и магнитного поля на сдвиг частоты КПН-резонанса. В Главе 2 приведены подробные описания экспериментальной установки и процедур, используемых для измерения перечисленных зависимостей. Полученные результаты согласуются с результатами других исследований и дают исходную информацию об оптимизации рабочих параметров для повышения стабильности КСЧ на основе КПН.

Глава 3 посвящена разработке и внедрению новых методов стабилизации КПН-резонанса. Автор решает задачу достижения высокой воспроизводимости выходной частоты от одного включения к другому и предлагает метод, обеспечивающий воспроизводимость частоты в пределах $\pm 4,0 \times 10^{-11}$ при времени прогрева КСЧ менее 180 секунд. Кроме того, в Главе 3 представлен новый метод стабилизации длины волны лазера на основе линии поглощения рубидия, который способствует повышению стабильности частоты. Там же автор предлагает метод калибровки системы стабилизации длины волны лазера, что еще больше повышает общую стабильность КСЧ.

Глава 4 посвящена подробному анализу результатов диссертационного исследования с перечислением различных факторов, влияющих на стабильность частоты КСЧ на основе КПН. В проведенном анализе подчеркивается важность рассмотрения системы в целом, учета взаимозависимости различных параметров и влияния факторов окружающей среды. Также автор исследует температурный коэффициент частоты разработанного КСЧ и предлагает методы его снижения.

В заключении приведены основные результаты проведенного диссертационного исследования.

Замечания по содержанию диссертационной работы:

1. Во Введении диссертации автору следовало бы дать чёткое определение некоторых терминов, например, «квантовый

дискриминатор частоты» и «когерентное пленение», поскольку возникает ряд вопросов, связанных, в частности, с отсутствием данных терминов в защищаемых положениях и в устоявшейся метрологической литературе, хотя и в названии диссертации и в формулировке цели диссертации они присутствуют.

2. В качестве дополнения к функциональной схеме квантового стандарта частоты на основе КПН-эффекта (Рисунки 3 и 9 диссертации), следовало бы привести более подробную оптическую схему квантового дискриминатора с кратким описанием назначения и характеристик её компонент (фокусирующая линза, поляризационная пластина, ослабляющие фильтры и т.д.) .
3. В диссертации и в автореферате не проведен сопоставительный анализ метрологических характеристик лучших зарубежных стандартов частоты на КПН-эффекте с результатами данной диссертационной работы, хотя ссылки на зарубежные работы в ней имеются.
4. В 4-й Главе диссертации отсутствует бюджет неопределенностей для частоты выходного сигнала для стандарта частоты на КПН-эффекте.

Сделанные замечания носят, скорее, рекомендательный характер и не затрагивают основные положения диссертационной работы, а также общую положительную оценку диссертации.

Заключение

Оценивая диссертационную работу Парёхина Данила Александровича в целом, можно сделать следующее заключение:

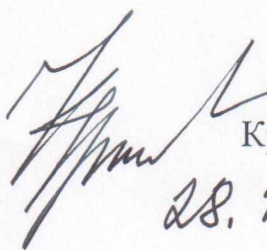
- результаты диссертации обладают научной новизной, практической значимостью, прошли апробацию, в достаточной степени представлены в научных трудах автора;

- результаты диссертационных исследований имеют перспективу использования в ведущих НИИ и организациях Российской Федерации;

- тема диссертации актуальна, диссертация Парёхина Д.А. «Методы стабилизации параметров квантового дискриминатора стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.13 г, а ее автор Парёхин Данил Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение (технические науки).

Отзыв ведущей организации составлен на основе обсуждения содержания диссертационной работы на расширенном заседании секции НТС на базе НИО «Волоконных, квантовых и интегральных оптических систем» ФГБУ «ВНИИОФИ».

Главный научный сотрудник
ФГБУ «ВНИИОФИ», д.т.н.



Крутиков Владимир Николаевич

28.10.24г

Ученый секретарь



Анисимова Л.Н.