

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и цифровизации,
доктор технических наук, доцент



Г.А.Костин

21 марта 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертационную работу Петрова Александра Анатольевича
«Методы улучшения точностных характеристик квантовых стандартов частоты», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики

Актуальность темы выполненной работы

Научные исследования в области создания квантовых стандартов частоты показывают, что для их реализации целесообразно использовать процессы обмена энергии в атомах и молекулах, так как они обладают наибольшей стабильностью. Существуют следующие основные разновидности стандартов частоты (СЧ): водородные стандарты частоты, стандарты частоты на основе лазерных и оптических технологий, стандарты частоты с использованием эффекта двойного радиооптического резонанса. Эффект двойного радиооптического резонанса позволяет исследовать сверхтонкие структуры энергетических уровней основного и возбужденного состояния атомов многих элементов. Научное исследование Петрова А.А. посвящено решению актуальной задачи: разработке новых и модернизации действующих квантовых стандартов частоты на основе использования эффекта двойного радиооптического резонанса для различных навигационных систем, а также систем связи и инфокоммуникационных технологий. Использование спутниковых систем навигации и связи определяет значимое место во многих областях науки и техники, а для гражданской авиации носит определяющий характер её развития и устойчивого функционирования, так как сбой в их работе может привести к непредсказуемым последствиям и к катастрофе. Повышение точности, стабильности и надёжности работы стандартов частоты спутниковых систем навигации и связи, а также снижения влияния помех на функционирование этих систем является актуальной и необходимой задачей.

Основные научные результаты и их новизна

Научная значимость диссертационной работы определяется тем, что на основе проведенных исследований автором:

установлены: основные факторы, оказывающие существенное влияние на чистоту спектральных характеристик выходного сигнала синтезатора

частоты при использовании в нем метода прямого цифрового синтеза, а также влияние нестабильности магнитного поля в цезиевых атомных часах на сдвиг разности частот двух резонансных переходов;

разработаны методы: формирования дробной частоты с разрешением до десятитысячных долей герца для подстройки частоты сигнала СВЧ-возбуждения под частоту резонансного перехода, с широким диапазоном выходных частот и реализации алгоритма многопозиционной девиации работы кольца АПЧ; подстройки магнитного поля по изменению разности между частотами зеемановских резонансов атомов цезия-133 и между частотами резонансов атомов рубидия-87;

разработаны математические модели: описывающие работу синтезатора частоты, в которой учитываются особенности использования метода прямого цифрового синтеза; проверки достоверности работы разработанного СЧ на основе моделирования режимов работы и обработки экспериментальных данных.

Практическая значимость полученных автором диссертации результатов заключается в том, что методом синтеза частоты разработана новая универсальная конструкция цифрового СЧ, позволяющая получать выходной сигнал с разрешением до десятитысячных долей герца. Подавление боковых составляющих в спектре выходного сигнала синтезатора частоты на 28 дБ лучше, чем в ранее используемых конструкциях, диапазон получаемых частот выходного сигнала синтезатора частоты увеличился до 500 кГц.

Новая схема построения синтезатора частоты позволила улучшить температурную стабильность выходной частоты КСЧ, а также реализовать новый метод постройки магнитного поля в АЛТ в КСЧ на атомах цезия-133.

Автоматическая система стабилизации магнитного поля для цезиевых атомных часов обеспечивает автоматически поддерживаемое на заданном уровне значение магнитного поля, исключая его дрейф, что позволило на 15% улучшить суточную нестабильность частоты.

Разработан новый метод многопозиционной девиации работы кольца АПЧ в квантовом стандарте частоты на атомах рубидия-87.

Новые методы конструкций СЧ и системы автоматической подстройки магнитного поля позволили уменьшить энергопотребление и вес прибора, что особенно важно при использовании КСЧ в летательных аппаратах различного назначения.

Результаты работы также могут быть применены для разработки новых моделей квантовых СЧ на атомах цезия-133 и рубидия-87 и алгоритмов для обработки данных для проведения измерений и исследований, направленных на установление фундаментальных ограничений по определению нестабильности частоты в течении определенных интервалов времени.

Структура диссертационной работы, публикации и апробация

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 120 наименований, трех приложений. Работа содержит 66

рисунков и 5 таблиц, полный объем диссертации с приложениями – 145 страниц.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 33 публикациях, из них 5 в научных журналах, рекомендованных ВАК, 14 в изданиях, индексируемых базами цитирования SCOPUS и Web of Science.

Результаты работы докладывались и обсуждались на 34 международных и всероссийских конференциях, конгрессах и симпозиумах.

Замечания по работе

Отмечая достаточно высокий уровень работы и глубокую проработку темы исследования, следует отметить некоторые спорные моменты и отдельные недостатки:

1. Первая глава диссертации перегружена дополнительной информацией о существующих типах квантовых стандартов частоты. Более рационально было остановиться на рассмотрении только тех стандартов частоты, по которым проводились исследования.

2. В тексте желательно дать общее описание элементной базы реализуемого автором синтезатора частоты и системы стабилизации магнитного поля.

3. В работе приведены основные характеристики реализованного частотного синтезатора, но отсутствует информация относительно оценки спектральной плотности фазовых шумов, что наиболее важно для анализа и практической реализации.

4. В работе приведены малоинформативные фотографии внешнего вида климатической и термовакуумной камер, которые не дают новых знаний в исследуемой области науки.

Однако, указанные замечания в значительной степени связаны с формой изложения материала и не меняют общей положительной оценки диссертационной работы, которая выполнена на высоком уровне, содержит большой объем экспериментальных и теоретических данных, обладает научной новизной и имеет важное практическое значение.

Рекомендации по использованию результатов и сделанных выводов настоящей работы

Предложенные автором новые методы улучшения метрологических характеристик квантовых СЧ могут быть использованы для проведения экспериментальных исследований и различных областях науки и техники. Универсальность предложенных методов и моделей, а также конструкции разработанного синтезатора частоты после незначительных доработок и уточнении исходных данных, позволяет их использовать в конструкциях различных типов КСЧ, например, на атомах Na^{23} , H^2 , Hg^{199} и т.д.

Конкретными потребителями результатов могут быть АО «ГОЗ Обуховский завод» (г. Санкт –Петербург), ведущие научные организации ФГУП «ВНИИФТРИ» (г. Москва), ФГУП науки «Физический институт

имени П.Н. Лебедева» (г. Москва), Институт лазерной физики СО РАН (г. Новосибирск), ЗАО «Время-Ч» (г. Нижний Новгород) и другие.

Предложенные в работе теоретические подходы могут быть использованы в учебных курсах при подготовке бакалавров по направлению 16.03.01 «Техническая физика», магистров и аспирантов по направлению 16.04.01 «Радиофизика», а также магистров и аспирантов по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия».

Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для развития физики, а также обладают значительным потенциалом для практического применения. Содержание диссертации обладает внутренним единством, содержит выносимые для публичной защиты обоснованные научные результаты и положения, обладающие новизной, практической и теоретической значимостью. Полученные результаты свидетельствуют о конкретном научном и личном вкладе автора в развитие и совершенствовании приборов и методов экспериментальной физики в области квантовых стандартов частоты для спутниковых систем навигации и связи. В диссертации не содержится заимствованный материал без ссылок на авторов и источники заимствования.

Выводы и рекомендации обоснованы. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Публикации соискателя соответствуют тематике диссертационного исследования и позволяют судить о значимости его личного вклада в полученные и представленные результаты.

Полученные автором научные результаты убедительно подтверждают формулу специальности 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики», как интегрированной научной дисциплины, с одной стороны, базирующейся на физических явлениях, а с другой, подразумевающей совершенствование методов и систем, предназначенных как для проведения исследований в различных областях физики, так и для создания новых математических моделей физических процессов, позволяющих получить новые методы улучшения метрологических характеристик квантовых СЧ.

Диссертационная работа «Методы улучшения точностных характеристик квантовых стандартов частоты» удовлетворяет требованиям и критериям п. 9 «О порядке присуждения ученых степеней» (Утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (редакция от 28.08.2017)), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Петров Александр Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Результаты диссертационной работы рассмотрены и одобрены на расширенном заседании кафедры 22 «Организации и управления в транспортных системах», протокол № 09/03-2022 от 18.03.2022.



Крыжановский Георгий Алексеевич
д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники
РСФСР, профессор кафедры организации и управления в
транспортных системах Санкт-Петербургского
государственного университета гражданской авиации



Шестаков Иван Николаевич
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой организации и
управления в транспортных системах

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации»

Почтовый адрес: 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38

Телефон: +7 (812) 704-18-18

Электронная почта: info@spbguga.ru