

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Петрова Александра Анатольевича «МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАНТОВЫХ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ»
представленной к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики

Представленная к защите диссертация Петрова А.А. посвящена актуальной тематике – исследованию и разработке квантовых стандартов частоты. В настоящее время в мире широко применяются спутниковые навигационные системы (СНС) в различных областях человеческой деятельности. В частности, в Российской Федерации в последнее десятилетие активно развивается система ГЛОНАСС, в США создана система GPS, в Европе - Galileo, в Китае - БейДоу. Одной из основных проблем, которую необходимо решать разработчикам СНС является обеспечение взаимной синхронизации спутниковых шкал времени с высокой точностью. Решение задачи высокоточной синхронизации бортовых шкал времени потребовало установки на спутниках высокостабильных бортовых синхронизирующих устройств (БСУ), которые определяют точность синхронизации всех наземных и бортовых элементов навигационных систем. В состав БСУ входит несколько квантовых стандартов частоты, в том числе на атомах изотопа цезий-133. Все выше сказанное говорит об **актуальности** предпринятого в диссертации исследования.

Научная новизна работы обусловлена:

- разработкой нового метода формирования дробной частоты с разрешением до десятитысячных долей герца для подстройки частоты сигнала СВЧ-возбуждения под частоту резонансного перехода, с широким диапазоном выходных частот для реализации алгоритма многопозиционной девиации работы кольца АПЧ,
- разработкой математической модели, описывающей работу синтезатора частоты, в которой учитываются особенности использования метода прямого цифрового синтеза;
- разработкой математической модели для проверки достоверности работы разработанного синтезатора частоты на основе моделирования режимов работы и обработки экспериментальных данных,
- разработкой нового метода подстройки величины магнитного поля по изменению разности между частотами зеемановских резонансов атомов цезия-133 и атомов рубидия-87.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что её результаты могут быть использованы для разработки новых моделей КСЧ на атомах

цезия – 133 и рубидия – 87.

Работа А.А.Петрова посвящена разработке новых и развитию существующих методов, проведения исследований, направленных на улучшение метрологических характеристик квантовых стандартов частоты на атомах цезия - 133 и рубидия - 87.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения, списка литературы из 120 наименований, трех приложений. Работа объемом 145 страниц содержит 66 рисунков и 5 таблиц. Основные публикации автора по теме диссертации составляют 16 наименований.

Во **Введении** обоснованы актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи работы. для её реализации. Также определены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, изложены защищаемые положения.

Первая глава посвящена обзору квантовых стандартов частоты на атомах цезия - 133 и рубидия - 87, приведен краткий обзор разработок различных типов КСЧ, работающих на других физических принципах. В главе, проводится подробное рассмотрение физических основ работы квантовых стандартов частоты, а также приводится обзор литературы по теме диссертационной работы.

Вторая глава посвящена теоретическому описанию различных методов синтеза частот, а также работе одного из функциональных блоков квантового стандарта частоты – синтезатора частоты. Подробно представлено влияние характеристик выходного сигнала СЧ на характеристики выходного сигнала КСЧ.

Третья глава посвящена описанию метода стабилизации магнитного поля, разработанной системы стабилизации магнитного поля и обсуждению полученных результатов экспериментальных исследований.

Четвертая глава посвящена проведению экспериментов по исследованию метрологических характеристик КСЧ на атомах цезия-133. В ней описываются экспериментальная установка и методика проведения измерений, а также экспериментальное исследование работы КСЧ на атомах цезия - 133 с разработанной

новой схемой формирования сигнала СВЧ возбуждения совместно с новой системой стабилизации магнитного поля.

В **Заключении** перечислены основные результаты.

Достоверность результатов, полученных автором в диссертации, и обоснованность сделанных им выводов не вызывают сомнений. Основные результаты полно опубликованы в рецензируемых научных изданиях, доложены и обсуждены на конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Однако, однако имеют место и **замечания** к работе:

- в защищаемых положениях и в автореферате и тексте диссертации имеется пункт: «Метод синтеза резонансной частоты атомов цезия - 133 и рубидия – 87 с дробным коэффициентом преобразования, позволяющий расширить диапазон выходных частот в 5 раз, *уменьшить разрешение выходного сигнала до десятитысячных долей герца*, улучшить подавление боковых спектральных составляющих...». Представляется спорным, что уменьшение разрешения является достижением, либо в это выражение закладывается смысл, который должен объяснен.

- в диссертации используется большое количество аббревиатур, но далеко не все из них расшифрованы в тексте диссертации. Например, БСУ – стр. 9, ШВ – стр. 41 и т.д.

- вызывают удивления выражения типа «влияние на *чистоту* спектральных характеристик» стр.10 или «В качестве выхода *из стандарта выводятся реперная частота*» - стр. 37,

- в работе имеются опечатки. Например, «*modulation frequancy*» стр.86 и ряд других,

- в начале диссертации указано, что основные результаты работы опубликованы в 16 статьях, при этом в конце диссертации приводится список основных публикаций по теме диссертации из 14 наименований (стр.14 и 119) соответственно,

- на стр. 98 относительный сдвиг частоты дается в Гц, на стр. 103 неправильно указана величина магнетона Бора,

- глава 3 диссертации посвящена описанию «метода стабилизации магнитного поля, разработке системы стабилизации магнитного поля и обсуждению полученных результатов». Однако, в работе отсутствуют численные данные как по величине прикладываемого магнитного поля, так и по точности его удержания, а также сравнение с ранее реализованными параметрами.

- в работе проводились температурные исследования и указывается на зависимость

выходных характеристик устройств. При этом в тексте диссертации отсутствует информация о точности удержания температуры в климатической камере.

Сделанные замечания не затрагивают защищаемых положений, не снижают ценности полученных результатов.

Я считаю, что диссертационная работа «МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАНТОВЫХ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ» полностью удовлетворяет требованиям и критериям п. 9 Положения ВАК РФ «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».

Официальный оппонент
Картошкин Виктор Арсеньевич
доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Атомной радиоспектроскопии и квантовой магнитометрии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.
194021 г. Санкт-Петербург, Политехническая ул.26
телефон: +7 (921) 7423998
электронная почта: victor.kart@mail.ioffe.ru



Подпись
урезовирова
Ученый
секретарь



ФТИ им. А.Ф. Иоффе

29.03.2022