

УТВЕРЖДАЮ:

проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Уфимский
университет науки и технологий»

доктор физ-мат. наук, доцент

И.Ф. Шарафуллин

«06» 2024 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

Диссертация «Снижение шага перестройки частоты оптоэлектронного автогенератора с элементами интегральной фотоники» выполнена на кафедре телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Степанов Иван Васильевич обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по специальности 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи и работал ассистентом кафедры телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2020 г. окончил ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по специальности 11.05.04 Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи.

В 2024 г. окончил очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2026 г. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Султанов Альберт Ханович, профессор кафедры телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Диссертация Степанова Ивана Васильевича является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), в которой содержатся научно обоснованные результаты решения задачи снижении шага перестройки частоты оптоэлектронного осциллятора при сохранении широкого диапазона её перестройки.

2. **Личный вклад соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации,** заключается в формулировке научной задачи, определении объекта и цели исследования, а также постановке задач исследования с последующим их решением.

Соискателем лично получены все основные результаты, выносимые на защиту:

- математическая модель процесса перестройки частоты на выходе оптоэлектронного осциллятора, учитывающая применение элементов интегральной фотоники в оптической части петли обратной связи оптоэлектронного осциллятора.

- метод перестройки частоты на выходе оптоэлектронного осциллятора с использованием управления фазовым набегом в оптической части петли обратной связи оптоэлектронного осциллятора без срыва процесса генерации при перестройке частоты.

- методика структурной оптимизации конструкции оптической части петли обратной связи оптоэлектронного осциллятора, учитывающая различные физические эффекты для изменения фазы оптического сигнала в интегральном оптическом волноводе.

- структура синтезатора сверхвысокочастотных колебаний, позволяющая упростить блок измерения и перестройки частоты оптоэлектронного осциллятора.

В перечисленных в диссертации работах соискателем лично получены следующие результаты:

- в работах [42], [80], [84] представлена математическая модель процесса перестройки частоты оптоэлектронного осциллятора с учётом интегральной реализации его оптической части, также произведена постановка задачи на численное моделирование отдельных компонентов;

- в работах [82], [83], [84] с помощью численного моделирования с использованием аппарата матриц рассеяния показано влияние величины вносимой временной задержки на частоту на выходе оптоэлектронного осциллятора;

- в работах [80], [83], [84] представлен метод перестройки частоты на выходе оптоэлектронного осциллятора без срыва процесса генерации;

- в работах [85], [104], [117], [118] представлены результаты численного моделирования отдельных компонентов интегральной оптической части оптоэлектронного осциллятора с учётом различных физических эффектов, обеспечивающих изменение фазы в интегральном оптическом волноводе;

- в работах [126–128] представлена структура синтезатора сверхвысокочастотных колебаний, упрощающая блок измерения и изменения частоты оптоэлектронного осциллятора, определены ограничения разработанной структуры.

Опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертационной работы. Все основные положения и результаты, выносимые на защиту, отражены в публикациях автора: по главе 1 – [83]; по главе 2 – [42], [80], [82–84]; по главе 3 – [85], [117], [118]; по главе 4 – [80], [83], [126–128]. Одна работа написана автором единолично, другие совместно с научным руководителем или другими членами научного коллектива.

3. Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается использованием известных теоретических положений, соответствием используемых математических моделей реальным физическим процессам и численными методами, апробированным в других областях, а также апробацией на научных конференциях, публикациями результатов в научных изданиях, в том числе из Перечня ВАК, актами о внедрении результатов работы в образовательную и производственную сферы.

4. Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель процесса перестройки частоты на выходе оптоэлектронного осциллятора, *основанного* на контроле фазового набега в его оптической части петли обратной связи, *отличающаяся* учётом применения элементов интегральной фотоники оптической части петли обратной связи оптоэлектронного осциллятора, и *позволяющая* определить частоту сверхвысокочастотного колебания на выходе оптоэлектронного

осциллятора и диапазон её перестройки, а также построить настроечную характеристику возбудителя сверхвысокочастотных колебаний.

2. Разработан метод перестройки частоты на выходе оптоэлектронного осциллятора, *основанный* на изменении фазового набег в оптической части петли обратной связи, *отличающийся* применением интегральной оптической линии задержки в ней, и *позволяющий* обеспечить перестройку частоты на выходе оптоэлектронного осциллятора без срыва генерации.

3. Разработана методика структурной оптимизации конструкции оптической части петли обратной связи оптоэлектронного осциллятора, *отличающаяся* учётом различных физических эффектов для изменения фазы оптического сигнала в интегральном оптическом волноводе, *позволяющая* снизить шаг перестройки частоты на выходе оптоэлектронного осциллятора.

4. Предложена структура синтезатора сверхвысокочастотных колебаний, *основанная* на использовании оптоэлектронного осциллятора с элементами интегральной фотоники в его оптической части петли обратной связи, *отличающаяся* применением блока понижения частоты, *позволяющая* упростить структуру блока измерения частоты и её перестройки.

5. Практическая значимость заключается в следующем:

Снижение шага перестройки частоты ОЭО и упрощение блока измерения и управления его частотой позволит уменьшить количество задающих генераторов, применяемых для различных диапазонов частот, на ОЭО, то есть обеспечит унификацию перечня используемых в телекоммуникационном оборудовании автогенераторов и повысит технологичность производства.

Результаты диссертационного исследования применяются в инициативных опытных разработках компании АО «БПО «Прогресс» г. Уфа, что позволяет строить сеть тактовой синхронизации на новых системных принципах, а также внедрены в учебные процессы ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и техники» при проведении практических и лабораторных занятий по дисциплине «Конструирование устройств электроники, сверхвысоких частот и радиофотоники» направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

6. Ценность научных работ заключается в том, что:

Предложены метод перестройки частоты ОЭО без срыва генерации, структурное решение, обеспечивающее снижение шага перестройки частоты ОЭО, а также разработана методика структурной оптимизации конструкции оптической части петли обратной связи ОЭО. Полученные результаты являются основой для дальнейшего совершенствования приемопередающих устройств в беспроводных системах связи.

7. Обоснование выбранной специальности и отрасли науки диссертации

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.2.15. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»: п. 1. Разработка, и совершенствование методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций. п. 2. Исследование новых технических, технологических и программных решений, позволяющих повысить эффективность развития цифровых сетей, систем и устройств телекоммуникаций. п. 20. Разработка методов совмещения телекоммуникационных, измерительных и управляющих систем.

Отрасль науки – технические науки, поскольку приведенные результаты исследований дают существенный технический эффект при использовании и внедрении – снижение шага перестройки частоты оптоэлектронного осциллятора и упрощение блока измерения и управления его частотой позволит применять его в большем количестве телекоммуникационных устройств, что, в свою очередь, повысит технологичность новых систем связи.

8. Полнота изложения материалов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 4 в научных изданиях, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus (2 из них уровня Q1 и Q2), 5 публикаций в других изданиях. Получены 2 свидетельства на результат интеллектуальной деятельности: 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем публикаций – 12,375 п. л., авторский вклад – 7,25 п. л.

Статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, либо в научных изданиях, индексируемых базами данных RSCI

1. Перестройка частоты интегрального оптоэлектронного осциллятора на основе управляемой оптической линии задержки в петле обратной связи / В. В. Иванов, И. В. Степанов, Г. С. Воронков, А. В. Воронкова, Е. П. Грахова // Радиотехника. – 2024. – Т. 88, № 12. – С. 158-169. – DOI: 10.18127/j00338486-202412-14.

2. Схема понижения частоты сенсорной системы на основе интегрального оптоэлектронного осциллятора / И. В. Степанов, В. В. Иванов, Г. С. Воронков, А. Х. Султанов // Инфокоммуникационные технологии. – 2025. – Т. 23, № 1(89). – С. 21-28. – DOI 10.18469/ikt.2025.23.1.02.

3. Моделирование оптоэлектронного осциллятора с участком оптического волокна в качестве линии задержки в его петле обратной связи / И. В. Степанов,

А. Х. Султанов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2026. – Т. 14, № 8(59). – DOI 10.26102/2310-6018/2026.59.8.008.

Публикации в изданиях, включенных в международные базы

Web of Science, Scopus

4. Voronkov G. S., Aleksakina Y. V., Ivanov V. V., Zakoyan A. G., Stepanov I. V., Grakhova E. P., Butt M. A., Kutluyarov R. V. Enhancing the performance of the photonic integrated sensing system by applying frequency interrogation //Nanomaterials. – 2023. – Vol. 13. – No. 1. – P. 193. – DOI: 10.3390/nano13010193.

5. Ivanov V. V., Stepanov I. V., Voronkov G. S., Kutluyarov R. V., Grakhova E. P. An Approach to Reduce Tuning Sensitivity in the PIC-Based Optoelectronic Oscillator by Controlling the Phase Shift in Its Feedback Loop //Micromachines. – 2024. – Vol. 16. – No. 1. – P. 32. – DOI: 10.3390/mi16010032.

6. Ivanov V. V., Stepanov I. V., Voronkov G. S., Voronkova A. V., Grakhova E. P. Optoelectronic oscillator frequency tuning based on loop-back control //Optical Technologies for Telecommunications 2023. – SPIE, 2024. – Vol. 13168. – P. 417-423. – DOI: 10.1117/12.3026503.

7. Ivanov V. V., Stepanov I. V., Aleksakina Y. V., Shaygardanova A. R., Khairetdinova A. D., Voronkov G. S. PIC-Based Continuous Frequency Tuning of the Optoelectronic Oscillator //2024 IEEE 3rd International Conference on Problems of Informatics, Electronics and Radio Engineering (PIERE). – IEEE, 2024. – P. 570-573. – DOI: 10.1109/PIERE62470.2024.10804972.

Другие публикации по теме диссертации

8. Частотный интеррогатор на основе фотонной интегральной схемы для оптических датчиков акустической эмиссии / В. В. Иванов, Г. С. Воронков, А. Г. Закоян, И. В. Степанов, А. В. Воронкова, Р. В. Кутлюяров, Е. П. Грахова // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 73-81. – DOI: 10.18127/j5604128-202206-10.

9. Численное моделирование интегральных оптических линий задержки в программной среде Ansys Lumerical / И. В. Степанов // Молодежный Вестник УГАТУ. – 2025. – Т. 32, № 1. – С. 104-112. – DOI: 10.54708/22259309_2025_132104.

10. Моделирование элементов интегрального оптоэлектронного осциллятора с плавной перестройкой частоты на основе управления фазой в его петле обратной связи / Г. С. Воронков, И. В. Степанов, В. В. Иванов, Р. В. Кутлюяров, Е. П. Грахова // Компьютерное проектирование в электронике, Минск, 28 ноября 2024 года. – Минск: БГУИР, 2024. – С. 136-139.

11. Применение интегральной оптической линии задержки в петле обратной связи оптоэлектронного осциллятора в качестве чувствительного элемента сенсорной системы / В. В. Иванов, И. В. Степанов, Г. С. Воронков // VII научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2024 : Материалы XXII Международной научно-технической конференции, Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 176-177.

12. Схема подстройки частоты оптоэлектронного осциллятора / И. В. Степанов, В. В. Иванов, Г. С. Воронков, А. Х. Султанов // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях : материалы XXVII и XXIII Международных научно-технических конференций, Уфа, 05–07 ноября 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 447-448.

Регистрация результатов интеллектуальной деятельности

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661528 Российская Федерация. Программа для создания дизайна небалансного интерферометра Маха-Цендера с малой длиной дуг в среде KLayout : № 2023660668 : заявл. 24.05.2023 : опубл. 01.06.2023 / И. В. Степанов.

14. Патент на полезную модель № 235445 U1 Российская Федерация, МПК Н03В 17/00, Н04В 10/50. Оптоэлектронный генератор сверхвысокочастотных колебаний на основе фотонной интегральной схемы с оптической линией задержки : заявл. 04.03.2025 : опубл. 02.07.2025 / И. В. Степанов, В. В. Иванов, Г. С. Воронков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский университет науки и технологий".

Диссертация Степанова Ивана Васильевича соответствует п. 14 Положения о порядке присуждении ученых степеней:

- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;

- соискатель ссылается на авторов и источники заимствования.

Диссертация «Снижение шага перестройки частоты оптоэлектронного автогенератора с элементами интегральной фотоники» Степанова Ивана Васильевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Заключение принято на заседании кафедры телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Присутствовало на заседании 19 человек, в том числе 6 докторов наук.

Результаты голосования: «за» – 19 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол № 11 от «29» июня 2026 г.

Заведующий кафедрой
телекоммуникационных систем,
к.т.н., доцент



Г.С. Воронков

