Утверждаю  
ректор федерального автономного государственного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.Н.И.Лобачевского»

проф., д.м.н Загайнова

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**кафедры радиотехники радиофизического факультета**

Диссертация «Цифровая коррекция фазовых и дисперсионных искажений сигнальных и измерительных трактов» выполнена на кафедре радиотехники радиофизического факультета.

В период подготовки диссертации соискатель Морозов Никита Сергеевич работал на кафедре радиотехники радиофизического факультета ННГУ им.Н.И.Лобачевского в должности преподавателя.

В 2009 г. окончил Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского по специальности «Информационные системы и технологии в радиофизике и телекоммуникациях». Кандидатские экзамены по истории и философии науки и английскому языку сданы, о чем свидетельствует диплом об окончании аспирантуры по направлению 03.06.01 № 105204 0038464 р/н 18/04-77.

Научный руководитель Бугров Владимир Николаевич, к.т.н., Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, доцент кафедры радиотехники.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Работа Н.С.Морозова посвящена проектированию цифровых фазовых корректоров для компенсации фазовых и дисперсионных искажений в сигнальных и измерительных трактах различных аналого-цифровых систем связи. При синтезе фазовых корректоров или компенсаторов дисперсии перед разработчиком стоит задача реализации фазовых характеристик сложной формы (в случае коррекции), либо иметь дело с весьма малыми фазовыми девиациями при компенсации частотной дисперсии сигнала в узкой полосе канала связи. В большинстве публикациях и аналитических подходах к синтезу цифровых корректирующих цепей вопросы практической реализации полученных решений не рассматриваются.

Поэтому задача разработки методов синтеза цифровых фазовых корректоров (ЦФК) является актуальной как с теоретической, так и с практической точки зрения. Ошибки аппроксимации и квантования могут быть устранены при проектировании ЦФК современными методами дискретного программирования, позволяющими работать не с аналитическим, а с дискретным представлением характеристик корректора. В этом случае как исходные требуемые, так и текущие характеристики табулированы с заданной дискретностью в частотной области и в вычислительной системе представлены двумерными массивами.

Целью диссертационной работы являлась разработка подхода к синтезу корректоров и компенсаторов частотной дисперсии на основе цифровых фазовых фильтров для сигнальных видео и радиотрактов с учётом возможности их реализации на целочисленных цифровых платформах.

**2. Личное участие соискателя** в получении результатов, изложенных в диссертации.

Выносимые на защиту результаты получены совместно с Бугровым В.Н. В ходе выполнения научно-исследовательских работ на кафедре радиотехники радиофизического факультета ННГУ им.Н.И.Лобачевского автором самостоятельно проведено моделирование сигнальных трактов, оценка уровня фазовых искажений и постановка задачи синтеза компенсатора. Так же автор реализовал альтернативные подходы к синтезу и показал несомненное преимущество метода направленного поиска на сетке Грея. Реализация метода целочисленного нелинейного программирования, обсуждение и анализ результатов проводился совместно с Бугровым В.Н. Опубликовано 2 статьи без соавторов, в том числе 2 из перечня ВАК.

**3. Достоверность результатов** исследований, сформулированных в диссертации.

Результаты диссертации согласуются с известными положениями статистической радиотехники, теории чисел, цифровой обработки сигналов. Достоверность подтверждается данными компьютерного моделирования и экспериментальных исследований методами радиофизических измерений на лабораторных макетах.

**4. Научная новизна** полученных автором результатов заключается в следующем:

- На основе всестороннего анализа систематических ошибок аналитических подходов к синтезу цифровых цепей коррекции фазовых искажений получена дискретная модель корректоров и компенсаторов дисперсии на основе цифровых фазовых фильтров, которая, в отличие от известных моделей, позволяет устранить ошибки аппроксимации требуемых характеристик и ошибки квантования параметров при практической реализации устройства;

- Впервые предложена методика синтеза рекурсивных фазовых фильтров непосредственно на квантованном целочисленном параметрическом пространстве с использованием поисковых методов нелинейного математического программирования, позволяющих находить технические решения фазовых корректоров и компенсаторов частотной дисперсии с учётом совокупности требований к их частотным характеристикам;

- Получены целочисленные решения как цифровых корректоров фазовых искажений сигнальных широкополосных (видеотрактов) и узкополосных (радиотрактов) трактов, так и компенсаторов линейно возрастающей и линейно падающей частотной дисперсии в линии связи. Их устойчивость и работоспособность, отсутствие ошибок квантования коэффициентов при их практической реализации, а также соответствие характеристик теоретическим расчетам было подтверждено экспериментально. В отличие от решений, полученных другими методами, они обладают высоким быстродействием и малой вносимой в сигнал задержкой.

**5. Практическая значимость** диссертационной работы

- Предложенный метод синтеза позволяет получить решения с заданной конечной разрядностью коэффициентов, что позволяет избежать дополнительных операций округления или усечения при практической реализации, а это, в свою очередь, приводит к нулевой ошибке квантования при аппаратной реализации;

- Полученные в результате синтеза цифровые фазовые корректоры позволяют успешно компенсировать фазовые искажения как широкополосного видеотракта, так и узкополосного радиоканала.

- Разработанные алгоритмы требуют для их практической реализации относительно небольших вычислительных ресурсов, что позволяет использовать их в системах реального времени;

- Разработанная универсальная методика и программа расчёта отклика рекурсивного фазового фильтра, позволяет провести оценку вычислительных затрат при программной реализации фазовых корректоров и компенсаторов на микропроцессорном контроллере или сигнальном процессоре.  
**Научная новизна**

- На основе всестороннего анализа систематических ошибок аналитических подходов к синтезу цифровых цепей коррекции фазовых искажений получена дискретная модель корректоров и компенсаторов дисперсии на основе цифровых фазовых фильтров, которая, в отличие от известных моделей, позволяет устранить ошибки аппроксимации требуемых характеристик и ошибки квантования параметров при практической реализации устройства;

- Впервые предложена методика синтеза рекурсивных фазовых фильтров непосредственно на квантованном целочисленном параметрическом пространстве с использованием поисковых методов нелинейного математического программирования, позволяющих находить технические решения фазовых корректоров и компенсаторов частотной дисперсии с учётом совокупности требований к их частотным характеристикам;

- Получены целочисленные решения как цифровых корректоров фазовых искажений сигнальных широкополосных (видеотрактов) и узкополосных (радиотрактов) трактов, так и компенсаторов линейно возрастающей и линейно падающей частотной дисперсии в линии связи. Их устойчивость и работоспособность, отсутствие ошибок квантования коэффициентов при их практической реализации, а также соответствие характеристик теоретическим расчетам было подтверждено экспериментально. В отличие от решений, полученных другими методами, они обладают высоким быстродействием и малой вносимой в сигнал задержкой.

**6. Апробация**

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях:

- международные конференции - 3:

18-я международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение»;

XХI международная научно-технической конференции «Информационные системы и технологии ИСТ-2017»;

12 международная конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации» ПТСПИ-2017;

- всероссийская конференция – 2;

- региональная конференция – 3.

**7. Практическая ценность научных работ** **соискателя**:

Впервые предложенная методика синтеза рекурсивных фазовых фильтров позволяет получить как целочисленные, так и вещественные решения для компенсаторов сигнальных и измерительных трактов.

- Полученные решения устойчивы и не требуют дополнительных операций округления или усечения, благодаря чему результаты синтеза полностью соответствуют результатам измерений при практической реализации.

- Методика решения задачи синтеза как задачи нелинейного математического программирования позволяет получить решения с минимальной вычислительной сложностью, что, в отличие от решений, полученных методами оптимизации в непрерывной области, дает возможность применять компенсаторы фазовых искажений в системах реального времени.

**8.** **Основные публикации по теме работы.** По теме работы автором опубликовано 11 работ, в том числе 5 работ в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Материалы диссертации достаточно полно изложены в работах, опубликованных соискателем:

в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. В.Н.Бугров, Н.С.Морозов Синтез целочисленных цифровых КИХ-фильтров с линейной фазой // Цифровая обработка сигналов 2016 №1. стр. 14-19
2. Н.С.Морозов, В.Н. Бугров Синтез фазовых корректоров на основе цифровых фазовых цепей // Проектирование и технология электронных средств 2020 №4 стр.15-22
3. Е.С.Фитасов, Д.Н.Ивлев, Н.С.Морозов, Д.В.Савельев Система синхронизации и локального позиционирования на базе беспроводных сетей // Датчики и системы № 8-9. 2017. С. 20-26
4. Н.С.Морозов Моделирование частотной дисперсии цифровых фильтров // Радиолокация. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, книга 2. М.: Радиотехника. стр.122-132
5. Н.С.Морозов Исследование дисперсионных свойств рекурсивных цифровых фильтров // Проектирование и технологии электронных средств (принято к печати)

в прочих изданиях:

1. В.Н.Бугров, Н.С.Морозов Проектирование цифровых фильтров малой разрядности с целочисленными коэффициентами // Современная электроника №3 2018 стр.56-63
2. В.Н.Бугров, Н.С.Морозов Поисковые технологии проектирования целочисленных цифровых фильтров // Компоненты и технологии №1'2015, ISSN 2079-6811, стр.122-128
3. В.Н.Бугров, Н.С.Морозов Фазовая линейность целочисленных КИХ-фильтров // Компоненты и технологии №10'2020, ISSN 2079-6811, стр.113-120.
4. В.Н.Бугров, В.И.Пройдаков, Н.С.Морозов Частотная дисперсия сигнала в рекурсивных цифровых фильтрах // 18-я международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение», доклады, том 1, стр. 198-202
5. Н.С.Морозов, В.Н. Бугров Частотная дисперсии сигнала в целочисленных БИХ-фильтрах. // Тезисы доклада на XХI международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии ИСТ-2017». - НГТУ, Н.Новгород, С.33-34
6. Н.С.Морозов, И.А.Сорокин Фазовые искажения широкополосных сигналов в БИХ-фильтрах // 12 международная конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации» ПТСПИ-2017, том 2, стр.132-134

**9. Соответствие диссертации требованиям ВАК**

Диссертационная работа соответствует требованиям установленным пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842. По тексту диссертации даны ссылки на цитируемые литературные источники, а также на результаты собственных работ, выполненных единолично или в соавторстве.

**10. Соответствие диссертации научной специальности**

Диссертация Н.С.Морозова, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

**11. Выводы**

Диссертация «Цифровая коррекция фазовых и дисперсионных искажений сигнальных и измерительных трактов» Н.С.Морозова является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющее существенное значение для цифровой обработки сигналов.

Диссертация «Цифровая коррекция фазовых и дисперсионных искажений сигнальных и измерительных трактов»Никиты Сергеевича Морозова рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Заключение принято на заседании кафедры радиотехники радиофизического факультета федерального автономного государственного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.Н.И.Лобачевского».

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Присутствовало на заседании |  | чел. Результаты голосования: “за” - |  | чел., |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| “против” - |  | чел., “воздержалось” - |  | чел., протокол № |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| от “ |  | ” |  | 20 |  | г. |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Заведующий каф.радиотехники РФФ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | доц., д.т.н. Фитасов Е.С. |