Гербовая печать

«**УТВЕРЖДАЮ***»*

Директор филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ

«НИИИС им. Ю.Е.Седакова»

д.т.н. А.Ю.Седаков

**О Т З Ы В**

**ведущей организации**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»

на диссертационную работу Никиты Сергеевича Морозова

«Цифровая коррекция фазовых и дисперсионных искажений в каналах связи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

**Актуальность избранной темы диссертации**

Коррекция искажений в каналах связи различных аналого-цифровых систем связи является одной из часто встречающихся задач цифровой обработки сигналов. Для минимизации линейных искажений применяется множество способов построения блока приема и обработки сигналов и фильтры (как антиалайзинговые, так и постобработки), вносящие минимальные амплитудные и фазовые искажения. И как часть этой системы, линейные цифровые фильтры могут быть эффективно использованы и для построения цифровых фазовых корректоров.

Диссертационная работа Морозова Никиты Сергеевича посвящена проектированию цифровых фазовых корректоров реального времени. Для решение данной многокритериальной задачи используется не аналитическое, а с дискретное представление характеристик корректора, что позволяет применять для синтеза технического решения эффективные поисковые методы многокритериальной (векторной) оптимизации. Таким образом получаемые фильтры на основе цифровой фазовой цепи имеют низкую вычислительную сложность и простоту реализации. Построение малозатратных корректирующих систем, работающих в реальном или близком к реальному масштабах времени является актуальной задачей и данная тема соответствует области исследования по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

**Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов**

**Научная новизна** работы состоит, прежде всего, в развитии теории и методологии построения компенсаторов фазовых и дисперсионных искажений на основе цифровых фильтров.В частности:

1. Впервые 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;
2. Предложена новая методика синтеза рекурсивных фазовых фильтров непосредственно на квантованном целочисленном параметрическом пространстве с использованием поисковых методов;
3. Полученные технические решения фазовых корректоров и компенсаторов частотной дисперсии учитывают совокупность требований к их частотным характеристикам;
4. Получены устойчивые и работоспособные решения как для цифровых корректоров фазовых искажений сигнальных широкополосных (видеотрактов) и узкополосных (радиотрактов) трактов, так и для компенсаторов линейно возрастающей и линейно падающей частотной дисперсии в линии связи;
5. В отличие от решений, полученных другими методами, они обладают высоким быстродействием и малой вносимой в сигнал задержкой.

**Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и**

**заключений, содержащихся в диссертации**

Обоснованность положений, выносимых на защиту автором диссертационной работ, подтверждаются корректным использованием известных положений статистической радиотехники, теории колебаний, теории цифровой обработки сигналов, а также они согласуются с решениями, полученным ранее применением иных методик синтеза. Достоверность подтверждается данными компьютерного моделирования и экспериментальными исследованиями на лабораторных макетах.

В частности, о достоверности полученных результатов свидетельствуют положительные результаты их апробации среди научной общественности, так материалы диссертационного исследования доложены и обсуждены на конференциях международного и всероссийского уровня.

По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 5 — в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций, 3 — в прочих изданиях, входящих в РИНЦ, 5 — в материалах научно-технических конференции. Получен патент RU2691528C1 на систему бесконтактной передачи электроэнергии для дверей транспортного средства. В патенте использована схема корректировки фазовых искажений.

**Значимость результатов, полученных в диссертации,**

**для науки и практики**

Работа обладает как научной, так и практической ценностью.

**Теоретическая значимость работы.**

Полученные автором результаты имеют значение для развития теории цифровой обработки сигналов. В частности, диссертантом

- предложена дискретная модель цифрового фазового фильтра;

- приведена постановка задачи многокритериального синтеза цифрового корректора фазовых искажений методами нелинейного математического программирования;

- создан алгоритм, позволяющий провести предварительную оценку вычислительных затрат при практической реализации корректоров.

**Практическая значимость работы.**

К результатам работы, имеющие практическое значение:

- предложенный метод синтеза позволяет получить решения с заданной конечной разрядностью коэффициентов, что позволяет избежать дополнительных операций округления или усечения при практической реализации фазового фильтра, а это, в свою очередь, приводит к нулевой ошибке квантования при его 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 небольших вычислительных ресурсов, что позволяет использовать их в системах реального времени;

- разработанные универсальная методика и программа расчёта отклика рекурсивного фазового фильтра, позволяют провести предварительную оценку вычислительных затрат при программной реализации фазовых корректоров и компенсаторов частотной дисперсии.

Результаты диссертационного исследования использовались:

- в АО «Корпорация «Комета» — КБ «Квазар» при оптимизации алгоритма для обработки сигналов с фазовой манипуляцией;

- в учебном процессе и научно-исследовательской работе на кафедре радиотехники радиофизического факультета ННГУ им.Н.И.Лобачевского.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Считаем целесообразным продолжить работу в направлении исследований по созданию и повышению эффективности корректоров фазовых искажений в каналах связи. Необходимым условием при этом является малые вычислительные затраты при реализации целочисленных корректоров. Считаем необходимым более тесное сотрудничество с предприятиями радиоэлектронной промышленности в рамках совместных исследований и возможного внедрения разработанных методик и алгоритмов.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке блоков цифровой обработки принятых по каналам связи сигналов в предприятиях АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», предприятиях АО «Концерн «Радиоэлектронные технологии», НИИИИС им.А.Ю.Седакова, ПАО «Завод им. Г.И. Петровского» и других профильных научных и производственных организациях.

**Общие замечания по диссертационной работе**

1. В работе рассмотрены цифровые фильтры с целочисленными действительными коэффициентами, нет примеров для сравнения с фильтрами с иным типом представления коэффициентов, например, комплексными;
2. Не представлены условия выбора порядка фильтра при синтезе, был ли он одним из изначальных требований или частью полученного при синтезе решения;
3. В схеме измерительной установки, на которой проводилась практическая проверка работоспособности полученных фильтров, присутствует фильтр нижних частот, но нигде далее не указано, учитывался ли при построении графиков его вклад в полученные результаты;
4. Показаны примеры практической реализации фильтров-корректоров фазовых искажений узкополосного и широкополосного трактов, но для компенсаторов частотной дисперсии пример реализации на ПЛИС не приведен;
5. Оценка нелинейности фазового тракта до и после компенсации проведена недостаточно формально, нет конкретных значений, лишь некоторая верхняя оценка.

**Заключение по работе**

Диссертация Морозова Никиты Сергеевича «Цифровая коррекция фазовых и дисперсионных искажений в каналах связи» представляет собой законченную научно-квалификационную работу по актуальной проблеме. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для радиотехники и радиотехнических систем.

Выводы и результаты достаточно обоснованы.

Автореферат и публикации соответствуют и отражают содержание диссертации. Диссертация соответствует специальности 2.2.13 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. В работе содержится решение задачи синтеза цифровых фазовых корректоров широкополосного и узкополосного сигнального тракта, а так же решение для компенсатора частотной дисперсии в высокоскоростных каналах связи, что имеет существенное значение для организации связи на длинных радиотрассах и оптоволоконных линиях в части повышения эффективной скорости передачи данных за счет снижения искажений и взаимных наложений вследствие разной скорости распространения частотных составляющих.

Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (утверждено постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842), а ее автор Морозов Никита Сергеевич достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании НТС \_\_\_ 2022 г., протокол № \_\_.

|  |  |
| --- | --- |
| Отзыв составил д.т.н., профессор, заместитель главного конструктора филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ  «НИИИС им. Ю.Е.Седакова» | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Кашин Александр Васильевич  подпись, **дата** |

Почтовый адрес Филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ

«Научно-исследовательский институт

измерительных систем им.Ю.Е.Седакова»:

603951, г.Нижний Новгород , Бокс-486

Контактный телефон: +7

Адрес электронной почты:

**Подпись заверяю (удостоверяю):**

**Печать организации**