

ОТЗЫВ

Официального оппонента
Башкирова Алексея Викторовича
на диссертацию Герасименко Евгения Сергеевича
«Быстрые цифровые алгоритмы когерентной демодуляции сигналов с
амплитудной и фазовой манипуляцией»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.2.13 — Радиотехника, в том числе системы и
устройства телевидения.

Актуальность темы диссертационного исследования.

В радиотехнических системах передачи дискретной информации по проводным и радиоканалам применяются различные сигналы с фазовой модуляцией (ФМ, Phase Modulation - PM) и манипуляцией (ФМн, Phase Shift Keying - PSK), относительной фазовой манипуляцией (ОФМ), амплитудной модуляцией (АМ), а также квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ, Quadrature Amplitude Modulation - QAM). Широкое распространение получили двоичные и многопозиционные (много-кратные) сигналы, например, двоичные ФМн (BPSK) и четырехпозиционные (QPSK) сигналы, в том числе со сдвигом фазы на $(\pi/4)$ QPSK). С точки зрения помехоустойчивости оптимальной является когерентная демодуляция сигналов, однако при этом необходима полная (фазовая) синхронизация опорного генератора демодулятора с принимаемым сигналом. Применение относительной фазовой манипуляции (ОФМ), и некогерентной демодуляции с квадратурной обработкой сигнала упрощает систему синхронизации приемника, но приводит к существенной потере помехоустойчивости.

В современных системах передачи дискретной информации широко используется цифровая обработка сигналов (ЦОС). Принимаемый случайный процесс квантуется по уровню и времени с частотой аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Полученные отсчеты смеси сигнала и помех в моменты квантования передаются в вычислительное устройство для формирования результата обработки, например, принимаемого информационного символа.

Известные оптимальные алгоритмы ЦОС требуют значительных вычислительных мощностей и часто труднореализуемы в реальном времени. Наилучшие результаты обеспечивают быстрые алгоритмы ЦОС, однако они ориентированы прежде всего на спектральный анализ сигнала (алгоритмы быстрого преобразования Фурье - БПФ) и быструю свертку принимаемого и опорного сигналов, а их применение затруднительно при потоковой обработке отсчетов высокочастотных радиосигналов. Хорошие результаты обеспечивает быстрый цифровой алгоритм некогерентной цифровой обработки сигналов с относительной фазовой манипуляцией в демодуляторе.

Исходя из анализа работ, представленных в диссертации Герасименко Е.С. и посвященных данному вопросу, можно сделать вывод о том, что единый

подход к проектированию сложных технических систем (гетерогенных) в области общественной безопасности и правопорядка до сих пор отсутствует, в связи с постоянным совершенствованием и развитием современных технологий. Следует также отметить, что особую значимость решение рассматриваемой выше задачи приобретает как для правоохранительных органов в целом, так и для органов внутренних дел в частности, так как обеспечение общественной безопасности и правопорядка является одной из их первостепенных функций.

Таким образом считаю, что разработка новых математических моделей, численных методов и алгоритмов оптимизации функционирования гетерогенных систем в области обеспечения общественной безопасности является необходимой. Указанное обстоятельство обуславливает актуальность темы диссертационного исследования соискателя.

В известных источниках отсутствуют предложения по реализации быстрых цифровых алгоритмов и соответствующих им устройств когерентной демодуляции сигналов с ФМн, ОФМ, АМ и КАМ, и их разработка является актуальной.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации.

Достоверность основных научных положений и выводов, сформулированных в диссертации Герасименко Е.С. подтверждается использованием при разработке моделей известных математических методов, результатами вычислительных экспериментов, а также опытом практического внедрения полученных результатов.

Обоснованность результатов исследования обеспечивается выбором основных допущений и ограничений, принятых в качестве исходных при формулировании постановок частных научных задач, использованием современного, апробированного научно методического (математического) аппарата, а также корректным выбором использованных общих и частных показателей и критериев в разрабатываемых математических моделях.

Научная новизна исследования и полученных результатов.

Соискателем Герасименко Е.С. получены следующие результаты, обладающие признаками научной новизны:

1. На единообразной основе предложены быстрые цифровые алгоритмы когерентной демодуляции сигналов с двоичной фазовой и относительной фазовой манипуляцией, с четырехпозиционной фазовой и относительной фазовой манипуляцией, многопозиционной амплитудной манипуляцией и квадратурной амплитудной модуляцией, требующие выполнения минимального числа простых арифметических операций.

2. На базе предложенных быстрых алгоритмов цифровой обработки сигнала разработаны структурные схемы цифровых когерентных демодуляторов. Показано, что они обладают высокой собственной частотной

избирательностью и обеспечивают оптимальное накопление отсчетов на интервале длительности информационного символа. Получены патенты РФ на изобретение №2633183, №2748858.

3. Предложена цифровая модель узкополосного радиотракта на базе рекурсивного цифрового фильтра, согласованная с предлагаемыми алгоритмами обработки радиосигналов. Исследовано влияние узкополосности радиотракта на форму демодулируемых сигналов и их межсимвольную интерференцию. Даны рекомендации по выбору параметров радиотракта.

4. Проведено исследование помехоустойчивости предлагаемых демодуляторов при воздействии шумовых помех. Показано, что они обеспечивают потенциальную помехоустойчивость при минимальных вычислительных или аппаратных затратах. Наблюдается нормализация помех с различными статистическими свойствами, что расширяет возможности использования полученных выражений для вероятностей ошибок.

5. Разработаны программы статистического имитационного моделирования предлагаемых демодуляторов. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетами помехоустойчивости. Исследовано влияние узкополосности радиотракта на вероятности ошибок, показано, что избыточное уменьшение полосы пропускания приводит к значительному ухудшению помехоустойчивости. Рассмотрено влияние смещения фаз принимаемого и опорного сигналов. Показано, что при демодуляции простых двоичных сигналов требования к точности фазовой синхронизации совпадают с известными результатами для оптимальных демодуляторов. При обработке многопозиционных сигналов требования к их синфазности с опорным сигналом повышаются или требуется увеличение рабочего отношения сигнал/шум.

6. Рассмотрен пример аппаратной реализации демодулятора четырехпозиционных ФМ сигналов на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Показано, что для решения поставленной задачи на несущих частотах до 10÷20 МГц достаточно сравнительно простой и недорогой ПЛИС семейства Spartan-6.

Положения, выносимые на защиту, являются новыми научными результатами и соответствуют паспорту специальности 2.2.13 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Теоретическая значимость полученных Герасименко Е.С. результатов заключается в возможности использования результатов диссертационного исследования при проектировании и разработке аппаратуры связи. Использование предлагаемых алгоритмов дает возможность построения эффективных цифровых когерентных демодуляторов, обеспечивающих цифровую обработку высокочастотных радиосигналов при минимальных требованиях к вычислительной мощности.

Практическая значимость Практическая значимость работы подтверждается зарегистрированными в федеральной службе по интеллектуальной собственности патентами на изобретение (№2748858 от 09

октября 2020 г.; №2633183 от 11.10.2017 г.) и программами для ЭВМ (№2017615092 от 03.05.2017 г.; №2017615256 от 12.05.2017 г.; №2017615365 от 15.05.2017 г.; №2017660249 от 21.06.2017 г.).

Рассмотрен пример аппаратной реализации демодулятора четырехпозиционных ФМ сигналов на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Показано, что для решения поставленной задачи на несущих частотах до 10-20 МГц достаточно сравнительно простой и недорогой ПЛИС семейства Spartan-6.

Использование основных результатов диссертации подтверждается актами внедрения в практическую деятельность ООО «Сайком», ООО «БГ-Оптикс», ООО «НПП «ТЕТА».

Общая характеристика диссертации и автореферата диссертации.

Диссертацию Герасименко Е.С. можно охарактеризовать как хорошо структурированную и логически законченную работу. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы и приложения. Каждый раздел исследования содержит развернутые выводы и результаты. Стиль изложения научный. Текст диссертации соответствует цели исследования и включает в себя решение необходимых частных научных задач.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Диссертация и автореферат диссертации оформлены в соответствии с установленными требованиями.

Требования п.13 «Положения о присуждении ученых степеней» соблюдены. Основные результаты исследования отражены в 31 печатной работе. Опубликовано 1 статья в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus. Кроме того, опубликованы 11 статьи в других изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России. Все основные результаты получены соискателем лично. Герасименко Е.С. имеет 15 научных работ, опубликованных без соавторов. Зарегистрировано 2 патента на изобретение Российской Федерации. Получены свидетельства о регистрации 4 программ для ЭВМ.

Результаты исследования получили широкую апробацию и неоднократно обсуждались на конференциях международного и всероссийского уровня, а также на многочисленных семинарах и круглых столах.

Замечания по диссертации.

В качестве замечаний по работе можно отметить следующее:

1. Присутствуют орфографические ошибки и опечатки.
2. В приложении А указан код программы статистического имитационного моделирования когерентного демодулятора сигналов с двоичной фазовой манипуляцией, однако же не указано для какой программной среды этот код применяется. Возможно, целесообразно было бы

представить коды всех четырех зарегистрированных программ для возможности оценки работы программного продукта.

3. В 4 главе для моделирования автор использует ПЛИС фирмы Xilinx, однако же критерии выбора именно данной фирмы не приводятся.

4. Имеются недочеты в оформлении списка литературы согласно ГОСТ. Присутствуют ошибочные ссылки на источники списка литературы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным ВАК Минобрнауки России для кандидатских диссертаций.

В целом, изложенные выше замечания не снижают ценности проведенных исследований и не ставят под сомнение их научную новизну, обоснованность и достоверность.

Диссертация Герасименко Е.С. «Быстрые цифровые алгоритмы когерентной демодуляции сигналов с амплитудной и фазовой манипуляцией» является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор Герасименко Евгений Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой

конструирования и производства радиоаппаратуры

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный

технический университет»,

доктор технических наук, доцент

«01» сентября 2022 г.



А.В. Башкиров



Башкиров Алексей Викторович, доктор технических наук, доцент

Наименование организации: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Должность: заведующий кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры

Почтовый адрес (рабочий): 394066, г. Воронеж, Московский проспект 179 (3-ий учебный корпус ВГТУ)

Телефон рабочий: +7(473)243-77-06

Эл. почта: kigr@vorstu.ru