

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Национального исследовательского
университета «МИЭТ», д.т.н., профессор

С. А. Гаврилов

12 октября 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Диссертация Мелёшина Юрия Михайловича на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка и исследование многополосной радиосистемы с фазокодовой манипуляцией» выполнена в Институте Микроприборов и систем управления (Институте МПСУ) Национального исследовательского университета «МИЭТ». В период подготовки диссертации Мелёшин Юрий Михайлович был аспирантом в Национальном исследовательском университете «МИЭТ», сдал экзамены по направлению 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические системы). Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2019 году.

Научный руководитель – Лялин Константин Сергеевич, кандидат физико-математических наук, заместитель директора Института МПСУ.

В Институт МПСУ представлена диссертация и на заседании института был заслушан доклад Мелёшина Юрия Михайловича по теме диссертации. По докладу и представленным научно-техническим материалам были заданы вопросы. На заданные вопросы Мелёшин Юрий Михайлович дал ответы, свидетельствующие о высоком уровне его научной квалификации и подтверждающие соответствие работы предъявляемым требованиям.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

В настоящее время широкое распространение получили многодиапазонные радиотехнические системы. Отличительной чертой такого рода систем является использование нескольких частотных диапазонов. При этом данные частотные диапазоны могут быть как сильно разнесены (многодиапазонные радиотехнические системы, в зарубежной литературе упоминаются как «Multiband system»), так и граничить или пересекаться в частотной области (многополосные радиотехнические системы, в зарубежном литератураторе упоминаются как «Step-frequency system»). Особое преимущество от использования нескольких рабочих полос частот нашлось в помехозащищенных системах связи и комплексах дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Это связано с тем, что помехи, мешающее работе систем связи, как правило, достаточно узкополосные, следовательно, и влияние таких узкополосных помех значительно ограничивается. Многополосные и многодиапазонные системы ДЗЗ, в свою очередь, активно развиваются, так как результатом работы таких систем, как правило, является изображение местности, а функциональные возможности по обнаружению целей такой системы сильно зависят от используемых рабочих полос частот. Например, способность обнаруживать объекты, скрытые листвой или небольшими слоями почвы присуща низкочастотным (L-, P- и т.д.) частотным диапазонам, а высокая разрешающая способность по дальности, как правило, присуща более высокочастотным системам (X-, Ku- и т.д.).

Однако, большинство таких систем работают по принципу разделения на независимые подсистемы с разными рабочими полосами частот, а объединение таких подсистем в одну происходит уже на поздних этапах обработки. Из-за этого максимальные технические характеристики (например, разрешающая способность) всей системы ограничены техническими характеристиками используемых подсистем.

Решением данной проблемы является система, где сигналы всех подсистем формируются и обрабатываются не независимо, а по специальному алгоритму, который бы позволил эффективно использовать всю суммарную рабочую полосу радиотехнической системы, что позволит достигнуть максимальной разрешающей

способности по дальности и увеличит качество получаемого изображения. Также, из-за уменьшенной мгновенной полосы сигнала, такая система позволит снизить требования к аппаратной части некоторых типов радиотехнических систем и трудоемкость операций по настройке и регулировке, что позволит снизить их себестоимость.

Отдельно стоит сказать, что ввиду фундаментальных отличий принципов построения радиотехнических систем на основе сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) от радиотехнических систем с фазокодовой манипуляцией (ФКМ), исследования в области синтеза и обработки сигналов в многодиапазонных и многополосных радиолокаторах для этих двух случаев стоит разделять. Для систем с ЛЧМ сигналами, на сегодняшний день, известны способы и алгоритмы эффективного использования рабочей полосы частот, данной проблематикой занимаются как отечественные ученые: Верба В.С., Бомштейн А. Д., Ильин Е. М., Меркулов В.И., Садовский П.А., Лихачев В.П., Пашук М.Ф., Лепёхина Т.А., Николаев В.И, так и зарубежные ученые: Wang A., Zhou D., Gong H., Han B., Ding C., Liang Y., Wang Y., Huynh C., Lee J., Nguyen C., Capria A., Petri D., Moscardini C., Conti M., Cantelli F и другие. Однако, для систем с ФКМ сигналами такие алгоритмы отсутствуют.

Также стоит сказать о растущей потребности, со стороны реальных секторов экономики, в универсальной многодиапазонной радиотехнической системе, которая бы выполняла функции как датчиков ДЗЗ (построения изображений местности, определение мест утечек газо- и нефтепродуктов, определение радиовегетационных индексов растительности (RVI) и так далее), так и системы связи (для передачи полученных данных с воздушного носителя на землю).

Следовательно, актуальными являются вопросы разработки и исследований многополосной радиосистемы с фазокодовой манипуляцией для нужд промышленности и сельского хозяйства.

Таким образом, **целью работы** является: разработка и исследование многополосной радиосистемы с фазокодовой манипуляцией и алгоритмов ее работы

Основные научные задачи исследования:

1. Провести анализ современных многодиапазонных и многополосных радиотехнических систем.
2. Проанализировать существующие алгоритмы использования суммарной рабочей полосы частот и калибровки каналов в многодиапазонных и многополосных радиотехнических системах на основе сигналов с ЛЧМ.
4. Разработать алгоритм формирования и обработки сигналов в многодиапазонных и многополосных радиотехнических системах с фазокодовой манипуляцией.
5. Разработать алгоритм компенсации амплитудно-фазовых искажений, возникающих при объединении нескольких рабочих полос частот в одну в многополосных радиотехнических системах с фазокодовой манипуляцией.
6. Исследовать технические основы проектирования многодиапазонных и многополосных радиотехнических систем с фазокодовой манипуляцией.
7. Разработать структурную схему многополосной радиотехнической системы ДЗЗ для нужд промышленности и сельского хозяйства X-частотного диапазона.
8. Провести экспериментальные исследования и подтвердить работоспособность разработанных алгоритмов и системы в лабораторных и полевых условиях.

Методы исследований. Для решения поставленных задач в работе используются методы математического моделирования, применяются основы корреляционного анализа сигналов и теории цифровой обработки сигналов. Проводились лабораторные и полевые экспериментальные исследования.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Разработан оригинальный алгоритм формирования и обработки сигналов в многополосных радиотехнических системах с фазокодовой манипуляцией.

2. Разработан алгоритм компенсации амплитудно-фазовых искажений, возникающих при объединении нескольких рабочих полос частот в одну в многополосных радиотехнических системах с фазокодовой манипуляцией.

3. Предложены технические основы разработки многополосных радиотехнических систем с фазокодовой манипуляцией в части системного проектирования: выбор оптимального разбиения суммарной рабочей полосы частот на поддиапазоны, установлены зависимости выбора режимов работы радиотехнической системы в зависимости от параметров носителя радиотехнической системы.

4. Разработана уникальная малогабаритная многодиапазонная радиотехническая система ДЗЗ с фазокодовой манипуляцией для нужд промышленности и сельского хозяйства на основе разработанного алгоритма и разработанных технических основ.

Достоверность основных положений и выводов, выносимых на защиту, подтверждается использованием общеизвестного математического аппарата, использованием математического моделирования и экспериментальным подтверждением результатов моделирования.

Практическая значимость исследования

Проведенные исследования показали, что разработанный алгоритм формирования и обработки сигналов в многодиапазонных и многополосных радиотехнических системах с фазокодовой манипуляцией может применяться при разработках новых радиотехнических систем. Применение данного алгоритма позволяет существенно сократить мгновенную рабочую полосу частот, что позволяет как упростить аппаратную часть формирования и обработки сигналов, так и снизить трудоемкость операций настройки и регулировки аналоговых частей радиотехнической системы. Так, для реализации суммарной рабочей полосы частот в X-частотном диапазоне равной 2.5 ГГц, при классической схеме построения радиотехнической системы необходимо было бы применять модуль формирования и обработки сигналов с частотой дискретизации не менее 2.5 ГГц, и производить настройку и регулировку аналоговых трактов в аналогичной полосе частот 2.5 ГГц.

Применение предложенного алгоритма снижает мгновенную рабочую полосу частот в 10 раз до 250 МГц, что, снижает себестоимость АЦП модуля формирования и обработки сигналов более чем в 30 раз.

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Института микроприборов и систем управления НИУ «МИЭТ» при проведении занятий по курсу «Цифровая обработка сигналов», использованы при проведении ПНИЭР по теме «Исследование и разработка радиолокационных средств оперативного контроля состояния поверхности Земли с беспилотных летательных аппаратов», а также использованы в АО «НИИП имени В.В. Тихомирова» при проведение опытно-конструкторских работ.

Положения, выносимые на защиту

1. Предложенный алгоритм позволяет проектировать сверхширокополосные радиотехнические системы с фазокодовой манипуляцией и сниженной себестоимостью.

2. Разработанное устройство генерирования, преобразования и обработки радиосигналов для многополосной радиотехнической системы за счет применения разработанного алгоритма, имеет сниженную более чем в 30 раз себестоимость АЦП.

3. Разработанная радиотехническая система на основе представленного алгоритма имеет суммарную ширину рабочей полосы частот 2.5 ГГц при полосе модуля формирования и обработки сигналов 250 МГц.

Апробация результатов работы. Результаты работы докладывались на 10 научно-технических конференциях: на 57-й научной конференции МФТИ, 2014 г.; на 22-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика», 2015 г.; на международной конференции «Инженерные и научные приложения на базе технологий NI NIDays», 2015 г.; на 26-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 2016 г.; на 2016 IEEE NW Russia Young

Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW), 2016; на 2017 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW), 2017; на 2018 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW), 2018; на 8-ой Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем», 2018 г.; на 4-ой Международной научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули», 2018 г.; на 2019 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW), 2019.

Публикации. Основное содержание работы представлено в 21 научных публикациях, включая 5 статей в ведущих научных изданиях, входящих в перечень ВАК, 9 публикаций, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science и 2 патента на изобретение.

Соответствие диссертации научной специальности. Диссертация соответствует специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические системы). Представленные результаты соответствуют паспорту специальности: п. 3 «Разработка устройств генерирования, усиления, преобразования радиосигналов в радиосредствах различного назначения. Создание методик их расчета и основ проектирования» и п. 4 «Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки радиосигналов в радиосистемах телевидения и связи при наличии помех. Разработка методов разрушения и защиты информации».

Совокупная оценка содержания представленной диссертации, научных достижений автора, публикаций и результатов внедрения позволяет сделать вывод о том, что автор диссертационной работы является зрелым научным работником, способным самостоятельно вести научные исследования.

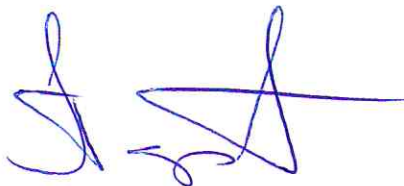
По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация Мелёшина Юрия Михайловича на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка и исследование многополосной радиосистемы с фазокодовой манипуляцией» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук и рекомендуется для защиты по специальности 05.12.04 -

Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические системы).

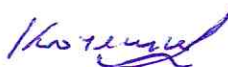
Заключение принято на заседании ученого совета Института МПСУ, присутствовало на заседании 15 чел. Результаты голосования: «за» - 15 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол №1 от «30» сентября 2020 г.

Проректор по инновационной
деятельности НИУ МИЭТ, директор
Института МПСУ, д.т.н., доцент



А.Л. Переверзев

К.т.н., доцент Института МПСУ



М.П. Кочетков