

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шайдурова Кирилла Дмитриевича
«ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛЬНЫХ И ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
АВТОДИННЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ
С АМПЛИТУДНОЙ И ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

Актуальность работы.

Современные мировые тенденции развития теории и техники систем ближней радиолокации связаны с созданием новых более совершенных прямо-передающих модулей СВЧ и КВЧ диапазонов в различном конструктивном исполнении и освоение все более высоких рабочих частот. В соответствии с этими тенденциями многими зарубежными фирмами разрабатывается широкая номенклатура таких изделий. При этом особый интерес представляют микросхемы прямо-передатчиков для поверхностного монтажа. Среди них значительную долю составляют автодинные модули, выполненные на основе диодов Ганна, полевых и биполярных транзисторов. Технические решения этих модулей и микросхем защищены большим числом патентов в первую очередь в передовых промышленно развитых странах: Япония, ЕС, США и Китай.

В нашей стране, в последнее время, также возобновился интерес к развитию данного направления в связи с запросом промышленности на реализацию операций по измерению скорости различных технических объектов, определения направления их движения, пройденного пути и некоторых других задач как среди гражданских приложений, так и в области военно-технического использования. В свете этого запроса автодинные модули, которые в наибольшей мере удовлетворяют указанным требованиям, имеют особые преимущества перед гомодинными реализациями по габаритам, весу и стоимости при любой технологии их изготовления и поэтому востребованы.

В связи с этим представляется актуальным проведение исследований, направленных на поиск новых режимов работы, структур и технических решений автодинных прямо-передатчиков, обеспечивающих улучшение динамических сигнальных и шумовых характеристик, а также расширение функциональных возможностей и области применения СБРЛ. При этом востребованными для практического использования являются результаты исследования автодинов с амплитудной и частотной модуляциями с учетом их взаимного влияния на сигнальные и шумовые характеристики.

Поэтому сформулированная в диссертационной работе цель, которая заключается в исследовании процесса формирования сигналов и шумов автодинных систем ближней радиолокации при использовании одновременно амплитудной и частотной модуляции излучения, действительно направлена на решение актуальной технической задачи,

позволяющей развивать различные радиолокационные системы, реализуя в них высокие показатели точности и обеспечивая необходимые эксплуатационные характеристики.

2. Общая характеристика работы

Диссертационная работа Шайдурова К.Д. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 146 наименований и одного приложения. Список цитируемых источников содержит достаточное число публикаций, требуемых ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ. Диссертация имеет чёткую структуру, обладает внутренним единством, написана технически грамотным языком, оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011. Общий объём работы составляет 163 страницы машинописного текста.

Во *введении* автором обосновывается актуальность работы, формулируются цель и задачи исследования, определяются предмет, объект и методы исследования, указывается научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы, перечислены мероприятия, на которых проводилась апробация работы, приведены сведения о публикациях, указан личный вклад автора.

В *первой главе* выполнен обзор литературы, посвященной исследованиям и применению автодинов в СБРЛ с АМ и ЧМ. Сформулированы основные принципы построения и реализации схемных решений автодинных модулей. Проведено обобщение результатов изучения технической литературы, связанной с особенностями формирования сигналов и шумов в автодинах с АМ и ЧМ. Дано обоснование цели и поставлены задачи диссертационного исследования.

Вторая глава диссертации посвящена теоретическим основам построения исследуемых автодинных модулей. Автором разработана математическая модель автодинного генератора с амплитудной и частотной модуляцией, находящегося под воздействием собственного отражённого от объекта локации излучения. Данная модель позволяет осуществлять анализ автодинных сигналов, возникающих в радиоприёмном устройстве, при независимой вариации наиболее существенных параметров, включая внутренние параметры активного элемента, параметры модуляции, произвольное соотношение времени запаздывания отражённого излучения, периода автодинного сигнала и периода модулирующей функции. Данная модель, действительно, может быть интересна как специалистам, занимающимся теоретическим изучением автодинного эффекта, так и радиоинженерам, решающим прагматичные задачи проектирования и инженерного расчёта радиосистем и устройств с конкретными выходными параметрами. На основе разработанной математической модели теоретически обоснован и экспериментально подтвержден способ оценки динамических свойств СВЧ генераторов методом биений, позволяющий в лабораторных условиях при помощи стороннего источника СВЧ колебаний определять постоянную времени автодинного отклика этого генератора. Предложенный способ удобен для радиоинженерной практики в качестве альтернативы существующим лабораторным способам оценки в силу своей простоты, более того, он весьма демонстративен и может стать хорошей методической основой для обучения студентов радиотехнических специальностей в рамках соответствующих учебных курсов.

В *третьей главе* выполнены расчеты и анализ динамических сигнальных и шумовых характеристик автодинных СБРЛ с АМ и ЧМ, проведен численный анализ особенностей поведения автодинов с АМ и ЧМ для гармонического закона модулирующей функции с учетом приближений, учитывающих реальные условия функционирования автодинных СБРЛ миллиметрового диапазона.

Результаты выполненных расчетов показывают, что в автодинных АМ СБРЛ с гармоническим модулирующим сигналом наиболее целесообразно использование большой глубины модуляции. При этом реализуется возможность выделения сигналов на высших гармониках частоты модуляции, а наличие сопутствующей ЧМ излучения автодина способствует изменению соотношения между уровнями гармоник в пользу повышения их порядка. Показано, что в случае использования слабой внешней обратной связи сигнальные характеристики имеют вид гармонической функции, а шумовые характеристики являются стационарными, а в случае сильной внешней обратной связи, сигнальные характеристики приобретают характерные искажения, представленные на временных диаграммах.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям особенностей формирования сигнальных и шумовых характеристик автодинных СБРЛ с ЧМ и АМ миллиметрового диапазона. Получены зависимости сигнальных и шумовых характеристик автодинного модуля от расстояния до объекта локации и величин параметров модуляции и внешней обратной связи системы «генератор - объект локации». При этом установлена степень влияния одного вида модуляции на параметры СБРЛ с другим видом модуляции.

Полученные экспериментальные данные достаточно хорошо коррелируются с результатами теоретических исследований и подтверждают адекватность разработанных моделей автодинных СБРЛ с АМ и ЧМ для расчета их динамических сигнальных и шумовых характеристик.

В *пятой главе* приводится описание примеров, с использованием результатов полученных в результате диссертационных исследований, а именно: на основе разработанной математической модели выполнены исследования режима биений с целью его использования для определения динамических параметров генераторов. Рассмотренный подход может использоваться для измерения предельной чувствительности автодина, как радиоприёмного устройства и кроме этого позволяет определить коэффициенты автодинного усиления и девиации частоты. Также приведена патентованная информация об использовании радиолокационных датчиков в системах измерения скорости, путевой навигации по геометрии железнодорожного пути и обзора передней полусферы локомотива.

Заключение традиционно содержит основные результаты исследования и выводы по работе.

3. Обоснованность результатов и их достоверность

Достоверность и обоснованность полученных в диссертационной работе научных результатов, выводов и рекомендаций обеспечивается корректным использованием общеизвестных методов теоретических и экспериментальных исследований, которые строго

обоснованы в научной литературе, апробированы и хорошо себя зарекомендовали при проведении научных исследований.

В качестве вычислительной платформы в диссертационной работе использовался известный пакет MathCAD, который применяется для решения широкого круга инженерных задач и достоверность проведенных с его помощью вычислений не подвергается сомнению.

Адекватность теоретических расчетов подтверждается их согласованностью с результатами натуральных экспериментов.

Научные положения, выводы и заключения Шайдурова К.Д. прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях, известны специалистам и достаточно полно отражены в опубликованных им научных работах, включая 25 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (в том числе 14 публикаций в изданиях, индексируемом в Scopus и Web of Science) и двух патентах на изобретения.

4. Научная новизна результатов

Задачи, поставленные в диссертационной работе Шайдурова К.Д. - решены, в результате получены следующие научные результаты:

- разработана математическая модель автодинного радиолокатора с одновременной амплитудной и частотной модуляцией излучения, описывающая формирование характеристик амплитудной селекции цели в зависимости от расстояния и учитывающая внешнюю инерционность автодинной системы «генератор - объект локации», обусловленную конечным временем распространения зондирующего излучения до цели и обратно, а также произвольное соотношение этого времени и периода модулирующей функции;

- выполнены теоретические и экспериментальные исследования взаимного влияния АМ и ЧМ, а также величины параметра внешней обратной связи на формирование динамических сигнальных и шумовых характеристик автодинных СБРЛ при произвольном соотношении времени запаздывания отраженного от цели излучения и периодов сигнала и модулирующей функции;

- сформулировано обоснование метода биений для определения динамических свойств и чувствительности автодинных генераторов;

- найдены новые технические решения СБРЛ с ЧМ, предназначенные для определения параметров движения локомотивов и повышения безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта.

5. Значимость полученных результатов для науки и практики

Теоретическая значимость полученных в диссертационной работе результатов определяется предложенным соискателем подходом к анализу процессов в системе «генератор - объект локации», позволившим разработать теорию работы автодинных СБРЛ при одновременной амплитудной и частотной модуляции. Основные положения этой теории обеспечивают возможность учета различных параметров и характеристик автодинного генератора, произвольное время запаздывания отражённого от цели излучения и динамику формирования сигналов и шумов.

Практическая значимость результатов диссертационной работы определяются возможностью выполнения инженерных расчетов по определению динамических сигнальных и шумовых характеристик автодинов, необходимых для их правильного использования в перспективных СБРЛ. Технические решения по радиолокационным датчикам, защищенные двумя патентами на изобретения, позволяют определять параметры движения локомотива и повышения безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта.

6. Характеристика автореферата диссертации

Автореферат повторяет структуру диссертации и в кратком виде позволяет судить о ее содержании. Основные выводы диссертации корректно и полно отражены в основных выводах автореферата.

7. Замечания по работе:

1. Несмотря на неоднократное упоминание преимуществ и описание перспектив использования автодинов при реализации СБРЛ в диссертации нет количественных сравнительных оценок конкретных преимуществ по сравнению с известными СВЧ устройствами при решении конкретных практических задач.
2. При анализе автодинных сигналов и шумов при помощи разработанной математической модели автодинного генератора с модуляцией, не рассмотрены методические погрешности и их влияние на результаты как численного моделирования, так и сравнительных оценок с экспериментальными данными. Также в работе не рассмотрены дополнительные погрешности, обусловленные влиянием температуры на параметры активного элемента, воздействием внешних шумов и др.
3. В названии и тексте диссертации присутствует формулировка «автодинный радиолокатор», тогда как цель и задачи посвящены детальному изучению формирования сигналов в одном из функциональных узлов радиолокатора, а именно, автодинного генератора, находящегося под воздействием собственного отражённого от цели излучения и в силу этого одновременно являющегося преобразователем частоты по аналогии со смесителем в гомодинном радиолокаторе. По моему мнению, вопросы изучения сигнальных свойств радиолокаторов неизбежно должны включать в себя количественную оценку таких радиолокационных характеристик, как динамический диапазон, радиометрическое разрешение и др.

Отмеченные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы, являющейся полноценным и самостоятельным научным трудом, объём которого и полученные результаты достаточны для диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, тогда как упомянутые в замечаниях вопросы выходят, возможно, за рамки одного диссертационного исследования и могут служить рекомендациями в дальнейших работах диссертанта.


Заключение.

Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне, в которой на основании разработанных теоретических положений решается задача, имеющая существенное значение для развития

измерительных радиотехнических устройств. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы расчётами, которые подтверждены экспериментально. Диссертационная работа отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Шайдуров Кирилл Дмитриевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
доцент, заведующий кафедрой радиотехники
Самарского национального исследовательского университета
имени академика С.П. Королёва (Самарского университета)

443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34
раб. тел. 8 846 267 4549
e-mail: aidan@ssau.ru

 Данилин Александр Иванович

_____ . _____ . 2021 г.

