

Базжин А.С.

*Научный руководитель: доцент, канд. техн. наук К.К. Храмов
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: bazjin.alb@yandex.ru*

Анализ и перспективы развития активных фазированных антенных решеток

Радиолокация и системы обнаружения как в военное, так и в мирное время играют очень важную роль в вопросе определения местонахождения объектов, расстояния и скорости передвижения целей. Интенсивное развитие технологий в области ракетостроения, авиации, космоса увеличило спектр задач поставленных перед комплексами обнаружения, что привело к необходимости их усовершенствования и внедрению в РЛС новых устройств – активных фазированных антенных решеток (АФАР).

Применение АФАР, по сравнению с пассивными ФАР, открывает ряд дополнительных возможностей по энергетическому потенциалу, гибкости управления характеристиками системы, повышению надежности, существенному расширению круга решаемых задач [1].

В основе построения АФАР используется многоканальная антенна (антенная решетка), у которой к каждому излучателю подключен передатчик или приемник. Излучатели обычно расположены в узлах прямоугольной или косоугольной сетки. В передающей АФАР к каждому излучателю подключен усилитель мощности. Иногда вместо усилителя мощности используется синхронизируемый автогенератор или преобразователь частоты [2].

Организация сигнала происходит за счет формирования диаграммы направленности распределением амплитуд и фаз в излучателях решетки. Система формирования содержит комплект усилителей мощности, комплект фазовращателей, а также комплект согласующих цепей [2].

Приемо-передающий модуль, в таких антенных решетках имеет возможность изменять амплитуду сигнала, регулировать фазу несущего колебания, а также преобразовывать радиосигнал из аналоговой формы в цифровую и наоборот.

За обеспечение передачи сигнала от одного канала к другому отвечает делитель мощности.

К основным недостаткам АФАР можно отнести высокую стоимость оборудования из-за дорогостоящих модулей, а также высокое рассеивание мощности.

В настоящее время АФАР имеют широкую область применения в системах обнаружения. Благодаря безынерционному способу сканирования и гибкому изменению характеристик, адаптирующихся под определенный режим работы, они являются незаменимыми устройствами в бортовых и наземных РЛС. АФАР встраиваются практически во все истребители четвертого и пятого поколения, используются в навигации морских судов, служат для предупреждения о ракетном нападении, применяются в космической области для сканирования поверхности планеты и выполнения других различных задач.

В докладе рассматриваются вопросы построения АФАР, основные параметры и характеристики, тенденции развития, а также преимущества и недостатки их использования.

Литература

1. Гостюхин В.Л., Трусов В.Н., Гостюхин А.В.: Активные фазированные решетки / Под ред. В.Л. Гостюхина. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2011.
2. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Д.И. Воскресенского. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2012. – 436 с.

Гаврилов А.В.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Д.Н. Романов
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: radon81@mail.ru*

Исследование цифрового приемного тракта микросхемы 1288ХК1Т

С развитием цифровых технологий все большее внимание уделяется построению радиоприемных трактов с применением цифровой обработки сигналов (ЦОС), называемых SDR – software defined radio. Эта технология основывается на оцифровке радиосигнала в реальном времени и последующей обработке программными или аппаратными цифровыми средствами - цифровыми сигнальными процессорами, ПЛИС и т.д. Ключевым элементом данной технологии является цифровой синтезатор частот.

Микросхема 1288ХК1Т представляет собой четырехканальный цифровой приемник, обладающий следующими возможностями:

- наличие 4-х независимых каналов для обработки 16-разрядных сигналов;
- скорость входного потока данных до 100 МГц в каждом канале;
- совместимость со многими типами АЦП;
- возможность гибкой настройки внутренней структуры микросхемы для обработки как действительных, так и комплексных сигналов.

СБИС содержит четыре идентичных канала (тракта) обработки сигнала. Каждый тракт включает в себя два каскада фильтров-дециматоров с постоянными коэффициентами (СИС – cascaded integrator comb FIR filter (каскады гребенчатых фильтров и интеграторов) и два каскада программируемых фильтров-дециматоров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры, DFIR).

Целью исследования является каскад из СИС-фильтров и КИХ-фильтров. При этом тракт цифрового приема должен обеспечивать перенос сигнала на видеочастоту и обеспечивать неравномерность АЧХ в полосе пропускания не более 3 дБ и подавление внеполосных сигналов не менее 50 дБ. Результатом исследований является оптимальный подбор коэффициентов децимации СИС- и КИХ-фильтров. В ходе исследования был рассмотрен ФКМ сигнал с частотой 80 МГц. Все параметры цифрового приёмного тракта были исследованы на основе этого сигнала.

Были рассмотрены 3 режима работы каскада КИХ-фильтров - с количеством коэффициентов децимации равным 16,32 и 64. Были рассмотрены все возможные комбинации коэффициентов фильтров.

Проведенные исследования показали, что заданным параметрам фильтрации: неравномерность АЧХ в полосе пропускания 3дБ, внеполосное подавление не менее 50 дБ, соответствует целый ряд вариантов. В качестве вариантов приведено соотношение коэффициентов децимации на фильтрах СИС1 – СИС2 – FIR1 – FIR2. Для КИХ фильтров с количеством коэффициентов 32 – это варианты: 1-4-1-4, 1-4-4-1, 2-2-х-х, 2-4-х-х, 4-1-х-х. Наилучшие параметры имеет вариант 2-2-х-х. Для КИХ фильтров с количеством коэффициентов 64 – это варианты: 1-4-1-4, 1-4-4-1, 2-2-х-х, 2-4-х-х, 4-1-х-х, 1-1-х-х, 1-2-х-х, 2-1-х-х, 4-2-х-х, 1-4-2-2. Наилучшие параметры имеет вариант 1-1-х-х.

Литература

1. <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/54065/>
2. <http://www.findpatent.ru/patent/228/2289202.html>
3. <http://multicore.ru/?id=50>
4. http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_698_288.pdf
5. <http://jurnal.org/articles/2013/radio4.html>

Горбунов С.В.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент С.Н.Жиганов
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: ya.r-7@yandex.ru*

Построение программно-аппаратного комплекса на базе контроллера

Работа посвящена построению программно-аппаратного комплекса на базе контроллера в САПР Proteus, для снятия показаний температуры и влажности, с последующей отправкой показаний по радиоканалу на пульт приема.

В работе выполнено построение схемы цифрового термометра на микроконтроллере attiny 13, с применением цифрового датчика DHT 22, и передатчика передающего сигналы с помощью разновидности амплитудной модуляции ООК (On Off Keying). Это альтернатива обычной амплитудной модуляции ASK несущей частоты. Альтернативой является бинарная форма модуляции. При обычной модуляции ASK происходит постоянное энергопотребление, а в процессе ООК энергии требуется меньше. Скорость передачи данных в режиме ООК ограничивается временем выхода генератора на рабочий режим.

В итоге выполнения работы была разработана схема цифрового термометра с использованием микроконтроллера attiny13. Симуляция работы устройства в САПР Proteus ошибок не выявила. Данное устройство после сборки и прошивки микроконтроллера позволит производить измерение температуры и влажности с последующей пересылкой данных на частоте 433,92 МГц на устройство сбора информации.

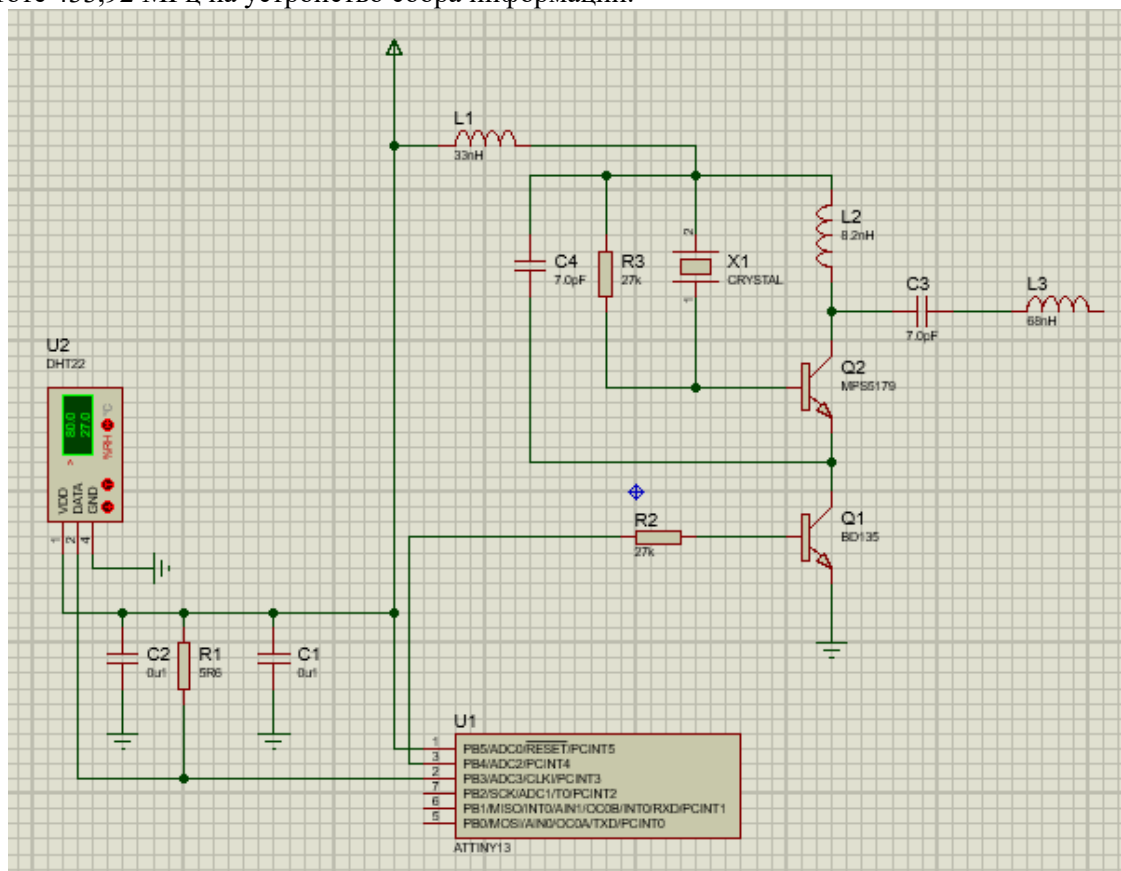


Рис. 1. Схема устройства в программе Proteus 8.0.

Доброхотов А.С.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Д.Н. Романов
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет име-
ни Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: radon81@mail.ru*

Разработка виртуальной лаборатории для диагностики и тестирования приемника вто- ричного радиолокатора

При разработке сложных радиотехнических изделий необходимо сокращать сроки разработки и внедрения изделий в серийное производство. Для этого разрабатываются и применяются современные контрольно-измерительные системы, позволяющие выявить неисправности и ошибки функционирования. Предлагается разработать контрольно-измерительную систему для измерения параметров и контроля работоспособности цифрового приемника вторичного радиолокатора на базе современного контрольно-измерительного оборудования [1].

Цифровой приемник вторичного радиолокатора создан на цифровой микросхеме 1288ХК1Т. Данная микросхема представляет собой четырехканальный цифровой приемник, который предназначен для построения приемных трактов систем радиосвязи и радиолокации. В 1288ХК1Т реализованы функции преобразования входного сигнала с промежуточной частоты на низкую частоту с последующей фильтрацией и децимацией сигнала. Применение цифровой обработки сигнала на промежуточной частоте позволяет снизить требования к аналоговому тракту и упростить реализацию и улучшить производительность системы в целом [2].

Контрольно-измерительная система состоит: плата цифрового приемника вторичного радиолокатора; специализированный контрольно-измерительный стенд-макет, на основе модуля Morph-IC-II; персональный компьютер, управляющий работой измерительного стенда с помощью виртуальной лаборатории, созданной в LabVIEW, управляемый цифровой генератор.

Виртуальный стенд проверки тракта цифрового приема вторичного радиолокатора состоит из следующих блоков: блока инициализации, блока формирования кодограммы и блока записи-чтения в ячейку цифрового приемника.

После инициализации контроллера FTDI и перевода его в режим синхронного FIFO, а также формирования нужной кодограммы, происходит запуск основного блока записи-чтения из ячейки цифрового приемника.

Для обмена данными с контрольно-измерительным стендом-макетом используется мезонинный модуль Morph-IC-II. Интерфейс организован посредством драйверов D2XX компании FTDI.

Перед запуском процесса измерения параметров цифрового приемника необходимо выбрать режим измерений. В стенде предусмотрено три режима измерений: режим измерения параметров АЦП цифрового приемника, режим измерения параметров тракта цифрового приемника, режим совместного измерения параметров АЦП и тракта цифрового приема.

После запуска цикла, на каждой его итерации происходит считывание подготовленной кодограммы и выдача данных в размере 2000 Байт, поступающих с ячейки цифрового приемника. Затем полученные данные выводятся на экран интерфейса [2].

Приходящий сигнал отображается на индикаторе. Кроме того, выводится информация о следующих параметрах сигналов цифрового приемника: уровнях входного и выходного сигналов (в дБ), значение переходного ослабления между каналами ЦПР (в дБ), отношение сигнал/шум, приведенное ко входу ЦПР каждого канала; динамический диапазон сигнала, приведенного ко входу ЦПР каждого канала; спектральный состав оцифрованного входного сигнала, уровень интермодуляционных составляющих, проверка ослабления входного сигнала каждого канала ЦПР, линейность аналого-цифрового преобразования

Литература

1. Романов Д.Н. Разработка виртуальной лаборатории для исследования тракта цифрового приема вторичного радиолокатора в программной среде LabView // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VIII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 5 февр. 2016 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2016. – 478 с.: ил. – [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)
2. Романов Д.Н. Контрольно-измерительная система для оценки работоспособности тракта цифрового приема вторичного радиолокатора // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VIII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 5 февр. 2016 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2016. – 478 с.: ил. – [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)

Илларионова Т.С.

*Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор В.В. Костров
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: illarionova_tatyana_2010@mail.ru*

Свойства сложных сигналов с двойной модуляцией для РСА космического базирования

Долгое время основными датчиками получения изображения местности были датчики оптического диапазона, не требующие дальнейшей обработки. Но возможности датчиков были ограничены из-за освещенности просматриваемой территории.

В настоящее время все чаще стали использовать радиолокационные станции с синтезированной апертурой (РСА) самолетного и космического базирования. РСА работают в импульсном режиме и осуществляют обзор поверхности боковым лучом за счет перемещения носителя радиолокационной станции.

Использование сложных сигналов в радиолокации обеспечивает высокую разрешающую способность по дальности и по скорости, а так же позволяет существенно повысить информативность радиосистем. В формировании сложных сигналов с двойной модуляцией участвуют ЛЧМ и ФКМ сигналы. Комбинация этих сигналов позволяет частично устранить недостатки каждого вида модуляции.

При использовании двойной модуляции элементы кода ФКМ сигнала представляют собой радиоимпульсы с ЛЧМ, причем направление роста частоты сигнала определяется знаком М-последовательности. Программа моделирования сигналов с двойной модуляцией заключается в объединении ЛЧМ и ФКМ сигналов путем умножения М-последовательности на опорный сигнал ЛЧМ, а затем формируется сам сигнал.

В двойной модуляции боковые лепестки носят линейчатый характер, число пиков определяется фазой сигнала. Так при базе ФКМ сигнала равной 31 получается меньше число пиков и наблюдается улучшение максимального уровня боковых лепестков.

Так как при формировании спектра для сигнала с двойной модуляцией задействованы сразу два сигнала, ЛЧМ сигнал и ФКМ сигнал, то в спектральном представлении наблюдается схожесть со спектром ФКМ сигнала. В центре спектра наблюдается характерный для ФКМ сигнала провал, вызванный малым уровнем несущего колебания, либо его отсутствием. Также благодаря составляющей ЛЧМ сигнала наблюдается увеличение частоты пульсации Френеля при увеличении базы сигнала.

В РСА одной из проблем является получение высококачественных снимков, причем, чем меньше уровень боковых лепестков, тем лучше качество синтезируемого изображения. Поэтому для сигналов, которые используются в РСА, важным параметром является усредненные характеристики УБЛ, которые накладываются на изображения других объектов.

Полученные данные показывают, что средний УБЛ при двойной модуляции дает значительно лучшие результаты, чем отдельно взятые ЛЧМ и ФКМ сигналы.

Из полученных результатов также следует, что применение сигналов с двойной модуляцией в РСА космического базирования, благоприятно отразится на качестве получения радиолокационных снимков высокого разрешения.

Литература

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. — М.: Радиотехника. 2004. – 320 с.
2. Смит Стивен. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников: пер. с англ. А.Ю. Линовича, С.В. Витязева, И.С. Гусинекого. – М.: Додэка-XXI, 2012. - 720 с.

Комиссарова Н.Д.,
Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор В.В. Костров
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: merry55@mail.ru

Изучение алгоритма формирования спектров азимутального сигнала

Современные радиолокационные системы (РЛС) обеспечивают непрерывное детальное наблюдение земной поверхности и объектов независимо от времени суток и метеорологических условий. Поэтому они играют важную и все возрастающую роль в информационном обеспечении. В РЛС благодаря реализации принципа синтезированной апертуры антенны и высоким технологиям по цифровой обработке сигналов удается получить разрешающую способность на радиолокационном изображении (РЛИ), сравнимую с разрешающей способностью оптико-электронных средств. Для решения проблемы достижения высокого разрешения РЛИ при обработке радиоголограмм требуется разработка новых алгоритмов работы и учет всех возможных ситуаций и факторов, вызывающих искажение сигналов. Поэтому для получения высококачественных снимков необходимы точная настройка и отладка алгоритмов, направленные на улучшение качества синтезируемых РЛИ [1-3].

Целью работы является изучение алгоритма формирования спектров азимутального сигнала, а также сравнение экспериментальных результатов и теоретических расчетов.

Для проведения теоретических расчетов использованы следующие параметры съемки: данные получены с самолетной РСА, высота полета – 400 м, режим съемки – нормальный боковой, маршрутный. В маршрутном режиме полоса захвата на земной поверхности последовательно облучается серией импульсов при сохранении антенной постоянного положения луча в азимутальной и угломестной плоскостях. Важное преимущество маршрутного режима состоит в том, что длина снимаемого маршрута может быть произвольной [2]. Вся полоса анализируемой сцены составила 4,2 км при ширине кадра 555 м.

Был проведен частотный анализ траекторного сигнала, который показал, что реальный и ожидаемый спектры могут существенно отличаться. В одном случае основные спектральные составляющие расположены вне границ теоретического спектра, что свидетельствует о наличии в траекторном сигнале мощной компоненты сигнала от цели в зоне видимости боковых лепестков, в другом - такая мощная компонента находится на границе кадра, что говорит о наличии сильной миграции сигналов по каналам дальности. Как показали расчеты, число мигрирующих каналов траекторного сигнала может составлять от 6 до 50.

На отдельных участках изображения анализ спектров может дать дополнительную информацию о траекторном сигнале. Состав спектра существенно зависит от параметров радиолокационного датчика и условий съемки. На одних участках спектра доминирующим оказывается влияние миграции сигнала, на других – прием сигналов по боковым лепесткам. В любом случае, анализ спектра может быть использован для текущей настройки алгоритмов обработки радиоголограммы при формировании радиолокационного изображения.

Литература

1. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / Под ред. Л.А. Школьного. – М.: изд. ВВИА им. Проф. Н.Е. Жуковского, 2008. – 531с.
2. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
3. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

Краснов Д.И.

*Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Е.В. Федосеева
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: stiker1503@gmail.com*

Расчет и моделирование микрополосковой антенной решетки

Работа посвящена исследованию линейной неэквилидистантной антенной решетки (АР) излучателей, эквивалентной чебышевской эквидистантной антенной решетке с заданным уровнем боковых лепестков.

В работе выполнен расчет геометрических параметров неэквилидистантной линейной фазированной антенной решетки на основе принципа эквивалентности между чебышевской эквидистантной и неэквилидистантной антенными решетками. Моделирование произведено в программе CST STUDIO SUITE. В результате расчетов в программе были получены параметры линейки излучателей, такие как: длина линейки, количество элементов и их координаты, построена результирующая диаграмма направленности линейки излучателей с учетом пространственных координат излучателей. Для получения ДН, удовлетворяющей исходным данным к работе, произведены расчеты и построения ДН антенных решеток при разных количествах дискретных элементов в излучающей апертуре и различном амплитудном распределении.

В результате исследования направленных свойств антенной решетки были сделаны следующие выводы: неэквилидистантное расположение элементов дает преимущество в качественных показателях ДН по сравнению с эквидистантным расположением, а именно, ниже уровень боковых лепестков в ДН; расстояния между отдельными элементами антенной решетки не должны превышать длину волны излучаемого сигнала (на центральной частоте), иначе возникают дифракционные максимумы в области рассеяния ДН; чем меньше количество излучающих элементов в антенной решетке, тем ближе к основному лепестку ДН расположены дифракционные максимумы.

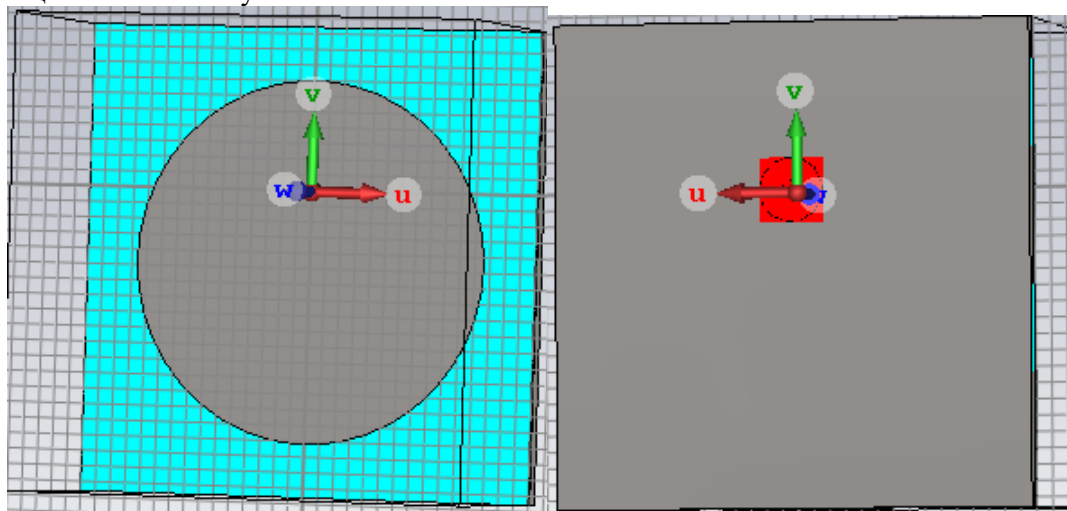


Рис. 1. Модель излучателя антенной решетки в программе CST STUDIO SUITE

Круглов А.С.

*Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Е.В. Федосеева
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: kruglov.a2010@yandex.ru*

Результаты моделирования зеркальной антенны с облучателем, работающем в двухмодовом режиме приема

Оптимальный способ, позволяющий осуществить схемную компенсацию аддитивной помеховой компоненты информационного сигнала, заключается в применении радиометрической системы, реализованной на базе модуляционного радиометра с пилот - сигналом, содержащим два коммутируемых антенных канала. Основной антенный канал формирует информационный сигнал, а дополнительный канал - сигнал компенсации, адекватный уровню шумов принимаемых по области рассеяния ДН антенны. Для реализации двухканального режима приема облучатель антенны работает в двухмодовом режиме с разделением сигналов мод в модовом разделителе.

Антенна предназначена для работы в радиометрической системе дистанционного зондирования атмосферы с компенсацией помехонесущих сигналов фонового излучения содержит зеркало и рупорный облучатель с модовым разделителем двух выходов антенны. Моделирование направленных свойств проводилось в программе CST Microwave Studio.

При построении модели сначала анализировались свойства двухмодового облучателя. Коэффициенты передачи и отражения для первого канала составили 0,95 и 0,17 соответственно, для второго $3,4 \times 10^{-7}$ и 0,002.

Далее в модель антенны было введено зеркало, расположенное на фокусном расстоянии от антенны. По результатам моделирования коэффициенты передачи и отражения для первого канала составили $8,89 \times 10^{-5}$ и 0,299 соответственно, для второго $4,48 \times 10^{-5}$ и 0,3. Получены ДН основного и дополнительного антенных каналов, форма которых соответствует требованиям к направленным свойствам в задаче компенсации фоновых шумов СВЧ радиометрической системы .

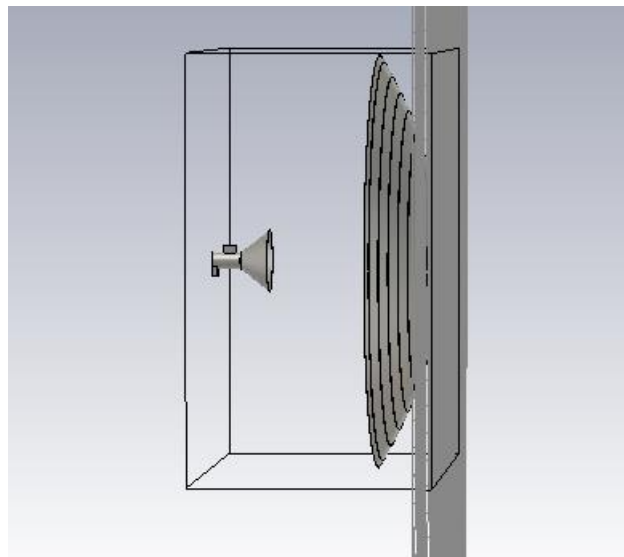


Рис. 1. Модель двухканальной зеркальной антенны

Овчинников Р.В.

*Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор В.В. Костров
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: ovch.rv.9n@yandex.ru*

Исследование методов формирования и обработки сложных сигналов с частотной модуляцией

Необходимость использования сложных сигналов для повышения информативности была доказана еще в конце 40-х годов. Сложные сигналы представляют собой сигналы, у которых произведение длительности на ширину спектра значительно превышает единицу, тем самым они обеспечивают высокую разрешающую способность по дальности и по скорости [1, с. 224]. В системах связи и радиолокации сложные сигналы с частотной внутриимпульсной модуляцией позволяют работать при высоком уровне шумов и помех, так же они способствуют снижению пиковой мощности передатчика.

Наибольшее распространение в радиолокационных станциях (РЛС) получили сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), так как по сравнению с другими сложными сигналами имеют ряд преимуществ: достижение большей девиации частоты [2, с. 266], простота оценки, улучшенные условия наблюдения эхо-сигнала на фоне помехи за счет увеличенной длительности наблюдения и последующего сжатия импульса [3].

Для формирования ЛЧМ воспользуемся законом ЛЧМ сигнала, который определяется поведением следующих функций

$$\Omega(t) = \mu t, \quad \omega(t) = \omega_0 + \mu t, \quad (1)$$

где $\Omega(t)$ – закон частотной модуляции, μ – скорость нарастания частоты в импульсе, $\omega(t)$ – мгновенная частота радиосигнала, ω_0 – несущая частота сигнала.

Обозначив максимальное изменение (девиацию) частоты через W , получаем

$$\mu = 2\pi \frac{W}{T}, \quad (2)$$

где T – длительность ЛЧМ импульса.

Для полной фазы колебаний имеем

$$\Phi_t = \int \omega(t) dt = \omega_0 t + \frac{1}{2} \mu t^2 + \varphi, \quad (3)$$

где φ – начальная фаза колебаний.

На основании выше изложенных формул, с помощью среды разработки Borland C++ Builder 6, разработана программа формирования ЛЧМ сигнала. Результаты работы программы приведены на рис.1. Моделирование проводилось при частоте дискретизации сигнала, равной 10 кГц; размер выборки при этом составил 4098. Девиация частоты W и несущая частота сигнала F задаются в окне программы. На первом графике в окне программы изображен спектр ЛЧМ сигнала. Далее применялся алгоритм сжатия ЛЧМ сигнала с применением алгоритмов поточного БПФ и ОБПФ, на втором графике изображен результат свертки сигнала. В правой части окна с помощью скроллинга предусматривается возможность контроля числовых данных, получившихся в процессе вычисления.

Одним из основных требований к сигналам используемых в РЛС является малый уровень боковых лепестков (УБЛ) обработанного сигнала. По этой причине при выполнении работы, также проведено исследование зависимости УБЛ от частоты Доплера сжатого сигнала с ЛЧМ. Результаты моделирования представлены на рис.2. Нормировка доплеровского смещения частоты F_d производилась относительно ширины спектра радиоимпульса без частотной модуляции.

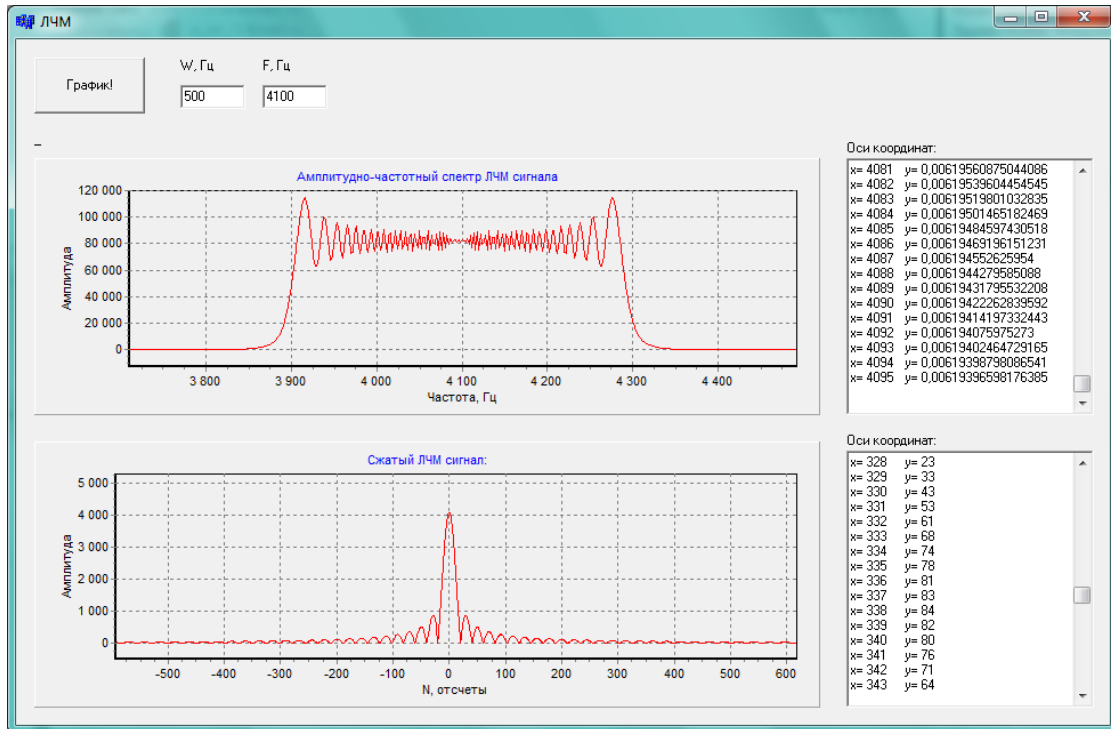


Рис.1. Результаты работы программы

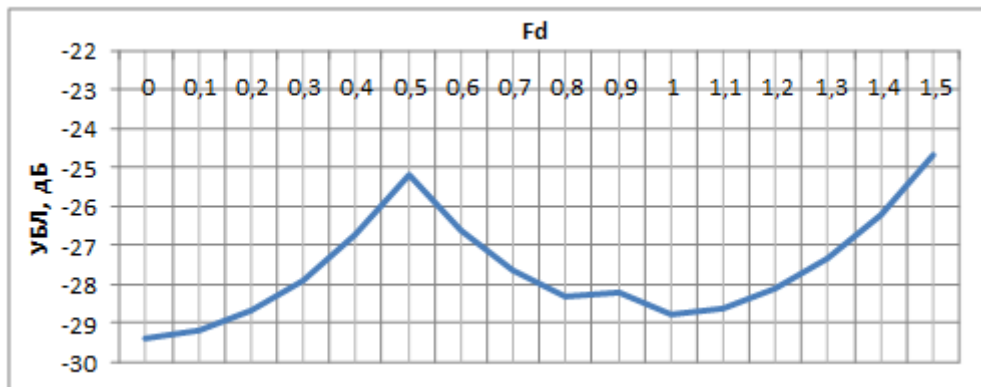


Рис. 2. Зависимость УБЛ от частоты Доплера сигнала с ЛЧМ

Таким образом, результаты моделирования хорошо согласуются с известными экспериментальными данными, что позволяет использовать программную модель для изучения ЛЧМ сигнала.

Литература

1. Теоретические основы радиолокации / В.Е. Дулевич, А.А. Коростелев, Ю.А. Мельник / Под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.
2. Радиолокационные системы: учеб. / В.П. Бердышев, Е.Н. Гарин, А.Н. Фомин [и др.] / Под общ. ред. В.П. Бердышева. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2011. – 400 с.
3. Сосулин Ю.Г., Костров В.В., Паршин Ю.Н. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех. – М.: Радиотехника, 2014. – 632 с.

Писарев С.А., Березинец Я.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент С.Н. Данилин

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: dsn-55@mail.ru*

Оптимизация точности технических средств на базе нано-мемристоров

Применение нано-мемристоров при создании современных технических средств (ТС) (сверхвысокопроизводительных вычислительных систем, микросхем памяти, датчиков и т.д.) позволяет улучшить их технические характеристики (точность, быстродействие, энергопотребления и т.д.), за счет возврата к аналоговой обработке сигналов. При этом существенным является определение адекватного места применения аналоговых информационных технологий в структуре ТС и обеспечение требуемой точности обработки информации при ограничениях, указанных в технических требованиях к ТС (надежность, отказоустойчивость, дестабилизирующие факторы и ряд других [1]). Техническая реализация нейросетевых методов и алгоритмов обработки информации на практике всегда является решением ряда задач оптимизации, так как основные в каждом конкретном случае функции ТС, требуется выполнять в условиях ресурсных или параметрических ограничений.

Для обеспечения достоверности выходной информации ТС при воздействии дестабилизирующих работу факторов наиболее часто ставится задача обеспечения максимальной отказоустойчивости [2].

Авторами синтезирована ИНСМ обнаружения инфокоммуникационного сигнала в заданном диапазоне уровня аддитивных шумов и импульсных помех в ЧИМ сигналах.

Численные значения отказоустойчивости определялись по критерию, разработанному авторами [3].

$$U_i = 1 - (X_i - X_{доп}) / (X_{доп} - X_{доп}),$$

где $X_{доп}$ – допустимый уровень изменения показателя качества работы ИНСМ; $X_{доп}$ – уровень показателя качества, достигнутый в результате обучения ИНСМ; X_i – значения показателя качества при дестабилизирующих воздействиях.

Методом имитационного моделирования найдены максимальные значения отказоустойчивости ИНСМ при заданном качестве функционирования при вариациях параметров аддитивных шумов и импульсных помех в диапазоне возможных на практике значений.

Полученные результаты представлены в виде таблиц и диаграмм.

Результаты проведенных исследований могут быть полезны для разработки инженерных методов и алгоритмов проектирования универсальных и специализированных ТСМ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-07-08330.

Литература

1. Галушкин А.И. Новые технологии микроэлектроники и разработки перспективных нейрокомпьютеров // Информационные технологии. 2016. №7. Т.22. С. 550-555.
2. Галушкин А.И., Данилин С.Н., Щаников С.А. Нейросетевой контроль точности функционирования технических средств на основе мемристоров // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2016. №2. С. 44-51.
3. Galushkin A.I., Danilin S.N., Pantelev S.V. Quantitative determination of fault tolerance for neuronetwork devices of infocommunication systems // Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology". 2014. pp. 328-329. ISBN: 978-966-335-412-5. IEEE 318 Catalog Number: CFP14788.

Пшеничкин М.В.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А.В. Астафьев
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: pshenichkin@sawtech.ru*

Основные параметры антенн, применяемых при RFID-идентификации

Проблематика. Работа связана с рассмотрением основных параметров и характеристик антенн, используемых в RFID-системах.

Цель работы. Целью работы является выявление параметров и характеристик RFID-антенн, на которые следует обратить внимание при разработке системы радиочастотной идентификации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить обзор предметной области.
2. Рассмотреть основные параметры и характеристики антенн.

Анализ предметной области. RFID — это технология идентификации, предоставляющая существенно больше возможностей по сравнению с традиционными системами маркировки. Любая RFID-система включает в себя следующие компоненты: RFID-считыватель, RFID-метки, RFID-антенну, устройства программирования RFID-меток, программное обеспечение. В данной статье будет рассмотрен один из компонентов системы, а именно RFID-антенны.

Антенна ридера также называется элементом связи, потому что она создает электромагнитное поле для связи с меткой. Антенна транслирует радиосигнал передатчика в окружающую среду и принимает ответные сигналы метки как компонент ридера. Следовательно, правильное расположение этих антенн, а не самого считывателя является более существенным для высокой точности чтения. Любая антенна является обратимой и может быть использована как для передачи, так и для приема, при этом электрические характеристики антенны остаются неизменными [7].

Центральным для работы метки параметром является геометрия антенны. Возможны бесчисленные конструкции антенн, особенно для УВЧ-диапазона, и их проектирование является настолько же искусством, как и наукой. Длина антенны прямо пропорциональна рабочей длине волны метки.

Основные характеристики антенн:

Входное сопротивление антенны $Z_{вх}$. Антенна является источником сигнала, который характеризуется электродвижущей силой (ЭДС) и внутренним сопротивлением, которое называется входным сопротивлением антенны [5]. Величину входного сопротивления антенны необходимо знать для того, чтобы правильно согласовать антенну с кабелем и считывателем. Обычно для RFID-антенн входное сопротивление составляет 50 Ом.

Рабочая частота. Антенна является резонансным устройством, и все ее характеристики зависят от частоты принимаемого/излучаемого сигнала. Как правило устройства RFID работают в следующих диапазонах: 125 -134 кГц, 13,56 МГц, 860-928 МГц, 2,45 ГГц.

Коэффициент усиления (Gain) - характеризует способность антенны концентрировать сигнал в каком-либо определенном направлении. Вычисляется по формуле (1):

$$G = D \cdot \eta, \quad (1)$$

где D - коэффициентом направленного действия, η - КПД антенны.

Gain показывает во сколько раз следует увеличить мощность на входе антенны, если заменить рассматриваемую антенну идеальной ненаправленной антенной и при этом плотность потока мощности электромагнитной волны, которую излучает антенна измениться в точке, где проводится наблюдение, не должно. Считают, что КПД ненаправленной антенны равен одному.

Front-to-Back Ratio - параметр, используемый при описании диаграммы направленности для антенн. Если антенна имеет уникальное максимальное направление, то отношение передней плоскости к задней представляет собой отношение усиления в максимальном

направлении к противоположному направлению (180 градусов от указанного максимального направления).

Коэффициент стоячей волны (VSWR) - отношение наибольшего значения амплитуды напряженности электрического или магнитного поля стоячей волны в линии передачи к наименьшему [8]. Теоретический идеал, это когда KCB равен 1 и потерь нет. Однако такого не является возможным. Поэтому в практике связи принято не обращать внимания на потери тех самых 4% энергии передатчика, которые получаются при KCB 1.5. А вот при KCB=2 потери составляют уже 10%. Отличным показателем для VSWR является значение ≤ 1.5 .

Коэффициент направленного действия (КНД) антенны — отношение квадрата напряженности поля, создаваемого антенной в данном направлении, к среднему значению квадрата напряженности поля по всем направлениям. КНД это безразмерной величина и поэтому выражается в децибелах (дБ, дБи, дБд).

Эффективная площадь антенны характеризует ту часть площади фронта волны, с которой антенна «извлекает» радиочастотную энергию. Количественно она определяется как отношение мощности $P_{\text{сog}}$, поступающий из антенны на вход приемника, согласованного с антенной, к плотности потока мощности S радиоволны в точке приема [4].

Далее рассмотрим такую характеристику, как поляризация антенны. Поляризация — это направленность вектора электрической составляющей электромагнитной волны в пространстве. RFID-антенны преимущественно имеют линейную или круговую поляризацию. Для эффективного приема сигнала приемная антенна должна располагаться так, чтобы ее плоскость поляризации совпадала с плоскостью поляризации передающей антенны. Иначе сигнал будет очень слабым или его не будет вовсе.

Выводы. В ходе работы были рассмотрены основные параметры RFID-антенн и их влияние на производительность системы радиочастотной идентификации.

Литература

1. Богомолов С.И. **Введение в системы радиосвязи и радиодоступа.** - Томск: ТУСУР 2012 г.— 152 с. — Электронное издание. — ISBN 978-5-4332-0064-7
2. Бердышев В. П., Гарин Е. Н., Фомин А. Н. [и др.]. **Радиолокационные системы.** - Красноярск: Сибирский Федеральный Университет 2011 г.— 400 с. — Электронное издание. — ISBN 978-5-7638-2479-7
3. Катунин Г. П., Мамчев Г. В., Попантонопуло В. Н., Шувалов В. П. **Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 2. – Радиосвязь, радиовещание, телевидение.** - Москва: Горячая Линия–Телеком 2014 г.- 672 с. - Электронное издание. — ISBN 978-5-9912-0338-8
4. Пудовкин, А.П. Основы теории антенн: учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, А.А. Иванков. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 92 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0981-4.
5. В.И. Рыженко, В. И. Назаров Телевизионные антенны: Справочник. – М.: Издательство Оникс, 2006. – 32 с. ISBN 5-488-00631-1.
6. М. В. Пшеничкин, А. В. Астафьев Формирование требований, предъявляемых к процессу радиочастотной идентификации продукции на основе системного анализа межгосударственных и международных стандартов // Всероссийская молодежная научная конференция "Научный потенциал молодежи - будущее России (сборник тезисов докладов)": VIII Всероссийские научные Зворькинские чтения. (2016 г.)
7. Центр систем идентификации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ids.by/index.php/RFID-материалы>, свободный. (Дата обращения: 09.04.17 г.).
8. Коэффициент направленного действия // Википедия. [2016—2016]. Дата обновления: 23.12.2016. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=82653341> (дата обращения: 09.104.2017).

Трофимов К.А.

*Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор В.В. Костров
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: vvk@mit.ru*

Обнаружение движущихся воздушных объектов с помощью РЛС малой дальности

Устройство относится к радиолокации и может быть использовано в РЛС для управления воздушным движением и для контроля воздушного пространства. Способ и устройство позволяют осуществить поиск, обнаружение объекта в заперенгованном пространстве, измерить его координаты с помощью РЛС и осуществить его сопровождение. Достижимым техническим результатом является обеспечение возможности обнаружения и сопровождения с помощью РЛС малозаметных объектов на максимальных дальностях.

Устройство относится к области радиолокации и может быть использовано в перспективных РЛС для управления воздушным движением и для контроля воздушного пространства. Для обеспечения управления и контроля нужно прежде всего иметь возможность обнаруживать объект с высокой вероятностью на границе контролируемой зоны и разрешать объекты, разнесенные относительно РЛС на $1 - 2^\circ$.

Как правило, для выполнения этих функций используют РЛС с игольчатой формой диаграммы направленности антенны в S – диапазоне. РЛС RAT-31S обнаруживает воздушные объекты с эффективной площадью рассеяния (ЭПР) $\sigma = 3 \text{ м}^2$ на дальности 100 км. Недостаток таких РЛС состоит в трудности обеспечения требуемой дальности обнаружения современных объектов. Эта проблема возникает при решении задачи обнаружения малозаметных объектов, под которыми имеются в виду как летательные аппараты с малыми линейными размерами, т. е. с малой ЭПР, так и объекты, созданные по технологии Stealth, что эквивалентно также малой ЭПР. Так, если ЭПР малозаметного объекта составляет, например, $0,1 \text{ м}^2$, то для его обнаружения на дальности 100 км необходимо увеличить затраты энергии RAT-31S в 30 раз. Увеличить эти затраты можно было бы за счет концентрации энергии РЛС в отдельных направлениях за счет уменьшения в других, но для РЛС кругового обзора это не представляется возможным, поскольку при отсутствии дополнительной информации все направления равнозначны. Известны способы получения и использования такой информации.

Известен способ радиолокационного обнаружения и сопровождения объектов, основанный на обнаружении объектов, измерении углового размера пакета отраженных от них сигналов и координат его центра с помощью длинноволновой РЛС (РЛС_д), на разрешении по этим данным объектов с помощью коротковолновой РЛС (РЛС_к), на привязке их координат к координатам центра пакета, на сопровождении их с помощью РЛС_д по центру пакета и повторении операций РЛС_к после изменения размера пакета.

Эффективность способа основана на том, что современные летательные аппараты (ЛА) имеют в длинноволновом ЭПР значительно выше, чем в коротковолновом. Так, в УВЧ-диапазоне ($\lambda = 30 \text{ см} - 1 \text{ м}$) ЭПР в 7 раз выше, чем в S-диапазоне, а для перспективных ЛА эта разница составляет 100 раз.

Это означает, что затраты энергии на обнаружение перспективных ЛА в УВЧ-диапазоне при прочих равных условиях потребуются в 100 раз меньше, чем в S-диапазоне.

Экономия затрат энергии на обнаружении и сопротивление объектов РЛС_к в этом способе происходит за счет того, что вместо обзора всего пространства, в процессе которого необходимо было бы излучать энергию в объеме всего контролируемого пространства, излучают ее только в направлениях, в которых РЛС_д обнаружила объекты, а при сопровождении РЛС_к используют эпизодически. При этом надежность обнаружения объектов на заданных рубежах можно обеспечить на уровне, достигаемом РЛС_д (за счет концентрации энергии РЛС_к в отдельных направлениях), а разрешающую способность по угловым координатам - на уровне РЛС_к.

Недостаток способа состоит в необходимости иметь еще и РЛС_д.

Наиболее близким техническим решением является способ, основанный на пеленгации излучений бортовых радиоэлектронных средств (РЭС) объекта из разнесенных в пространстве точек, на вычислении координат источника излучений триангуляционным методом. Этот способ функционирует и по отраженной энергии внешних источников (по переизлучениям), облучающих объект, в т.ч. источников природного характера.

Недостаток этого способа состоит в том, что для его реализации необходимо иметь несколько разнесенных позиций пеленгации с обеспечением системы связи между ними. Такой способ трудно реализовать в мобильных РЛС. Кроме того, при таком способе обнаруженные объекты будут потеряны при прекращении излучений.

Заявленное изобретение направлено на решение следующей задачи: обеспечение возможности обнаружения и сопровождения с помощью РЛС малозаметных объектов на максимальных дальностях.

Эта задача решается на основе увеличения концентрации энергии РЛС в тех направлениях, в которых обнаружены излучения в диапазоне работы бортовых РЭС или внешних источников излучения.

Указанный результат достигается тем, что в известном способе радиолокационного обнаружения и сопровождения объектов, основанном на пеленгации излучений (переизлучений) объектов, согласно изобретению осуществляют поиск и обнаружение объекта в запеленгованном направлении, измеряют его координаты с помощью РЛС и ведут его сопровождение, причем при ведении сопровождения по излучениям с использованием измеренного значения скорости операции РЛС повторяют, если погрешность сопровождения может оказаться больше допустимой: если направление пеленга отклонилось от экстраполированного больше допустимого значения или в случае изменения параметров излучений, а при исчезновении излучений (переизлучений) или при достижении объектом заранее установленного рубежа переходят на сопровождение в активном режиме.

Указанный способ реализуется тем, что в РЛС, содержащую антенну, устройство приема-передачи (ППУ), устройство первичной информации и анализа внешних условий (ПО), устройство вторичной обработки информации (ВО), устройство передачи информации потребителю (ПП), устройство управления (УУ);

С помощью РЛС осуществляют круговой обзор пространства в обычном режиме. Одновременно осуществляют направленный прием пеленгатором сигналов в диапазоне частот, в котором могут работать бортовые РЭС или другие внешние источники подсвета объекта. При обнаружении излучений, измеряют угловые координаты β_n и ϵ_n его источника (пеленгуют) и с помощью РЛС осуществляют поиск объекта в этом направлении при необходимости за счет замедления скорости обзора, концентрируя в заданном угловом секторе энергию излучения. Определяют дальность и скорость объекта и начинают вести его сопровождение. Для сокращения затрат энергии РЛС, как вариант, могут осуществлять сопровождение объекта, продолжающего излучать (или переизлучать) в пассивном режиме, определяя угловые координаты в j -м периоде обзора β_{ij} и ϵ_{ij} путем пеленгации излучений, а дальность за счет ее экстраполяции с использованием измеренного значения скорости и текущего времени. При этом в случае маневра объекта операции РЛС повторяют. Признаками маневра могут служить отклонения в j -периоде обзора экстраполированных значений β_{ej} и ϵ_{ej} от измеренных β_{ij} и ϵ_{ij} , изменение параметров излучений (например, несущей частоты за счет изменения доплеровской скорости; уровня излучений за счет изменения коэффициента усиления антенны РЭС в направлении РЛС и т.д.). Если объект прекращает излучать (переизлучать) или достигает заранее установленного рубежа (например, рубежа, на котором должна быть выдана уточненная информация потребителю, или рубежа, когда уровень отраженного сигнала стал достаточным для его обнаружения РЛС без концентрации энергии, или рубежа вхождения в зону особой ответственности, например в зону, прилегающую к аэродрому и т.д.), то переходят на сопровождение с помощью РЛС в активном режиме.

Литература

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. - М.: Радиотехника, 2004.- 320 с.

2. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. - М.: Радио и связь, 1986. - 288 с.
3. Неронский Л.Б., Михайлов В.Ф., Брагин И.В. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны /Учеб. Пособие. - СПб.: СПбГУАП, 1999. Ч.2. 220с.
4. Сосулин Ю.Г., Костров В.В., Паршин Ю.Н. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех. - М.: Радиотехника, 2014. — 648 с.
5. Хансен Р. Фазированные антенные решетки. Пер. с англ. 2-е изд. - М.: Техносфера, 2012. - 560 с.
6. Гостюхин В.Л., Трусов В.Н., Гостюхин А.В. Активные фазированные антенные решетки. — М.: Радиотехника, 2011. - 304 с.
7. Инденбом М.В. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория, расчет, конструкции. — М.: Радиотехника, 2015. – 416 с.

Чегуров И.С.

*Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор В.В. Костров
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23*

Фазированные антенные решетки как пример систем с цифровым диаграммообразованием

Антенна с электронным сканированием или с немеханическим движением луча осуществляет обзор пространства в заданном пространственном углу.

Антенны с электронным сканированием представлены в виде решетки, в узлах которой расположены простейшие излучатели электромагнитной волны. Цепи питания этих излучателей организованы так, что излучение, испускаемое каждым излучателем, когерентно с излучением всех излучателей, в то время как фаза излучаемых волн изменяется по заданному закону. Изменение распределения фаз на излучателях позволяет формировать луч антенны в заданном направлении. Такая решетка излучателей с управляемым распределением фаз волн, излучаемых элементарными излучателями получила название фазированной антенной решетки (ФАР).

Фазированная антенная решётка представляет собой тип антенн, в которых относительные фазы сигналов изменяются комплексно, так, что эффективное излучение антенны усиливается в каком-то одном, желаемом направлении и подавляется во всех остальных направлениях.

Таким образом управление фазами позволяет антенной системе с применяемой ФАР:

- формировать необходимую диаграмму направленности (ДН) антенны (например, остронаправленную ДН типа луч);
- изменять направление луча неподвижной антенны, таким образом осуществляя быстрое сканирование — качание луча;
- управлять в определённых пределах формой ДН — изменять ширину луча, интенсивность (уровни) боковых лепестков.

Эти свойства ФАР, а также возможность применять для управления ФАР современные средства автоматики и вычислительной электроники обусловили их перспективность и обширное использование в радиосвязи, радионавигации, радиолокации и радиоастрономии. ФАР, содержащие большое число управляемых элементов, входят в состав различных наземных, корабельных, авиационных и космических радиоустройств.

Большинство современных связанных геостационарных спутников разрабатывается на основе технологии цифровых антенных решеток (ЦАР).

Реализуемые в них методы цифрового диаграммообразования (ЦДО) – это новое направление не только в технике космического аппаратостроения, но и в наземной инфраструктуре спутниковой связи.

Преимущества цифрового формирования лучей:

- высокая гибкость в применении различных методов обработки сигналов без потерь в отношении сигнал-шум;
- большая степень свободы в выборе формы и направлений фокусировки лучей;
- возможность нацеливания парциальных лучей на индивидуальных пользователей или их пространственно-сосредоточенные группы, что обеспечивает максимальную производительность всех каналов связи;
- адаптивное формирование лучей, позволяющее повысить помехозащищенность радиолиний путем синтеза глубоких провалов ("нулей") в диаграмме направленности антенной решетки в секторе действия активных помех, а также обеспечить устойчивость функционирования наземного сегмента системы в условиях многолучевого распространения радиоволн;
- ЦДО предусматривает выполнение цифровой калибровки характеристик антенной системы в реальном времени, что позволяет контролировать и компенсировать любые

паразитные изменения амплитуды и фазы сигналов по трассе распространения между приемопередатчиками, а также применять крупноапертурные антенные решетки при высоких градиентах изменения температуры по их раскрытию;

- возможность дистанционного программного реконфигурирования архитектуры, модернизации методов обработки сигналов и режимов функционирования системы без внесения аппаратных изменений в бортовое оборудование после запуска спутника.

Различают антенны с одномерным и двумерным сканированием, другими словами антенны с движением луча в одной плоскости и в двух плоскостях. Примером антенны с одномерным сканированием может послужить антенны радиолокатора, обеспечивающего управление движением в акватории морского порта, где все объекты, с которыми устанавливается связь находятся на водной поверхности.

При обеспечении связи с искусственным спутником земли или при управлении движением в районе большого аэропорта, направления на объекты, с которыми устанавливается связь, могут находиться под разными углами, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. В таких случаях луч антенны должен перемещаться в двух плоскостях.

На рис. 1 показана схема антенны с одномерным сканированием. Антенна представляет собой линейку излучателей, которые на рисунке схематически представлены в виде рупорных излучателей.

Вход антенны представлен одним волноводом или коаксиальным кабелем, который соединяется с приемником, передатчиком или другой радиотехнической системой. Между входом и излучателями расположен делитель мощности, и в цепи питания каждого излучателя включен фазовращатель.

Фазовращатели управляются от единого устройства управления (компьютера) и формируют требуемое распределение фаз на излучателях. На рисунке 1 показан плоский фазовый фронт, расположенный под углом по отношению к плоскости расположения излучателей. Главный луч антенны формируется вдоль нормали по отношению к фазовому фронту волны, заданной излучателями, и таким образом, главный луч антенны отклонен от оси симметрии антенны так же на угол θ_k

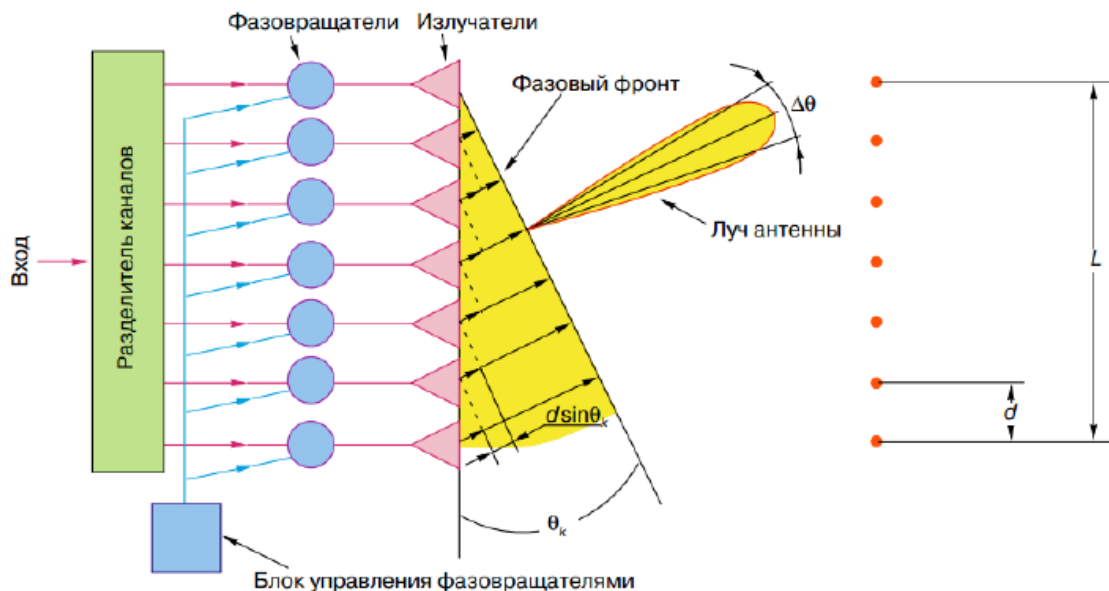


Рис.1. Схема фазированной антенной решетки

Литература

1. Слюсар В.И. Цифровые антенные решетки в мобильной спутниковой связи // Первая мила, 2008, № 4, С. 10-15.