

На правах рукописи



Ивлев Дмитрий Николаевич

**ПРИЁМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ОТ МОБИЛЬНЫХ
СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫХ ПОМЕХ И
МНОЖЕСТВЕННЫХ ОТРАЖЕНИЙ**

Специальность 01.04.03 – радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Новгород, 2006

Работа выполнена в Нижегородском государственном университете
им. Н.И. Лобачевского

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
ОРЛОВ Игорь Яковлевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
МАЛЬЦЕВ Александр Александрович

доктор технических наук, профессор
РЫНДЫК Александр Георгиевич

Ведущая организация: ФГНУ Научно-исследовательский
радиофизический институт

Защита состоится “ 24 ” января 2007 г. в 15.00 на заседании
диссертационного совета Д 212.166.07 при Нижегородском государственном
университете им. Н.И. Лобачевского по адресу: г. Нижний Новгород,
пр. Гагарина, 23, корп. 1, ауд. 420.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского
государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

Автореферат разослан 5 декабря 2006 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
к.ф.-м.н, доцент



Черепенников В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Обнаружение радиосигналов и измерение их параметров информационно-измерительными системами существенно усложнилось в последнее время. Интенсивное развитие средств радиосвязи, радиолокации и радиоуправления привело к тому, что в условиях ограниченного пространства на одном и том же или на соседних участках частотного диапазона одновременно работает несколько радиосистем различного назначения. С учетом возрастающего энергетического потенциала радиопередающих средств и тенденции к увеличению чувствительности радиоприемных средств в целом, складывается ситуация, которая получила название проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС).

Проблема ЭМС РЭС является определенной конкретизацией известной проблемы помехозащищенности РЭС. Фундаментальные работы В.А. Котельникова, Д.В. Агеева, И.Н. Амиантова, Л.С. Гуткина, Ю.С. Лезина, В.И. Тихонова, А.П. Трифонова и многих других ученых, решающие общие задачи помехоустойчивости радиоприемных устройств, подготовили обширную теоретическую базу для решения многих конкретных задач ЭМС. Тем не менее, проблема обеспечения ЭМС РЭС ставит некоторые новые задачи, определяемые спецификой совместной работы радиоэлектронных средств.

В частности, такой задачей является задача приёма телеметрической информации с передатчиков, расположенных на высокоскоростных мобильных объектах (МВО), движущихся по сложным траекториям. РЭС, осуществляющие приём информации с таких объектов, часто работают в сложной помеховой обстановке, обусловленной воздействием переотражённых сигналов, мощных помех от различных РЛС, других РЭС связи, а также создаваемых средствами радиоэлектронной борьбы. Похожая ситуация всё чаще возникает в последнее время и в гражданских системах связи, в частности, в беспроводных сетях передачи информации, где разные системы вынуждены работать в одном и том же частотном диапазоне в непосредственной близости друг от друга. В связи с этим в настоящее время существует потребность в решении многих проблем, связанных с этой задачей. В частности, существует необходимость в исследовании параметров канала связи с МВО с учётом сложной динамики движения МВО, а также в разработке приёмной аппаратуры, способной работать в условиях воздействия мощных помех, проникающих на вход высокочастотных каскадов радиоприёмного устройства (РПУ).

Цель работы

Целью работы является разработка принципов построения приёмного тракта информационной системы, работающего в нелинейном режиме, обусловленном воздействием помехи, превышающей динамический диапазон входных активных цепей приёмника информации с мобильного высокоскоростного объекта.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

1. Разработаны алгоритмы имитационного моделирования, и проведено моделирование канала связи с МВО с целью рассмотрения наиболее общего случая сигнально-помеховой ситуации.
2. Проведён анализ спектрально-временных характеристик отклика нелинейной системы при воздействии на неё суммы полезного сигнала и мощной помехи.
3. Разработан метод расчёта продуктов нелинейного преобразования и отношений сигнал/шум и сигнал/помеха на выходе нелинейной частотно-избирательной системы.
4. Проведён анализ влияния помехи на отношение сигнал/шум на выходе резонансного усилительного каскада в случае импульсных сигнала и помехи.
5. Проведена оценка подавления гармонического сигнала гармонической и узкополосной гауссовской помехами при нелинейном преобразовании.
6. Выполнен анализ нелинейных искажений полезного сигнала при прохождении через перегруженный мощной помехой усилитель.
7. Разработаны принципы построения помехоустойчивых цифровых приемников сигналов с произвольной модуляцией, обладающих индивидуальной защитой от воздействия мощных узкополосных помех.

Методы исследования

Для решения поставленных задач использовались методы спектрального анализа, статистической радиофизики, теоретической радиотехники, аналитической геометрии, математическое и имитационное компьютерное моделирование с использованием программ, разработанных автором.

Научная новизна работы

1. Разработаны оригинальные универсальная модель и алгоритм имитационного моделирования канала связи с высокоскоростными мобильными объектами, движущимися по произвольной динамической траектории с вращением вокруг своей продольной оси.
2. Впервые установлено, что комплексирование информации в системе связи с МВО путём использования на одном измерительном пункте двух антенн с ортогональными линейными поляризациями позволяет обеспечить приём без срывов связи (за исключением приёма с плазменного участка) в некоторых практических ситуациях.
3. Впервые обоснована возможность использования для выделения информации из выходного сигнала перегруженного мощной помехой усилителя продуктов нелинейного преобразования суммы слабого полезного сигнала и мощной помехи в полосе частот полезного сигнала.

4. Впервые предложены способы выделения сигналов с угловой модуляцией в присутствии помех, диапазон амплитуд которых может превышать динамический диапазон входных каскадов РПУ.
5. Предложен новый спектрально-временной метод анализа соотношений сигнал/шум и сигнал/помеха на выходе нелинейного элемента при действии на его входе узкополосных сигнала и помехи в смеси с узкополосными гауссовскими шумами, не накладывающий ограничений на разность частот сигнала и помехи.
6. Установлено, что при одновременном действии импульсов слабого сигнала и мощной помехи, превышающей динамический диапазон усилителя, равно как и при гармонических сигнале и мощной помехе, выходное соотношение сигнал/шум в полосе сигнала может меняться по сравнению с входным только из-за интермодуляционных составляющих, попадающих в полосу полезного сигнала. Показано, что при мощных сигнале и помехе соотношение сигнал/шум может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от соотношения мощностей сигнала и помехи.
7. Предложены и обоснованы два оригинальных способа построения цифрового помехоустойчивого приёмника для приёма сигнала с произвольной модуляцией на фоне мощной узкополосной помехи, превышающей динамический диапазон приёмника.

Результаты, выносимые на защиту

1. Алгоритм моделирования канала связи с МВО, учитывающий сложную динамику движения МВО, поляризационные эффекты и многолучевой характер распространения сигнала.
2. Способы выделения сигналов с угловой модуляцией в присутствии помех, диапазон амплитуд которых может превышать динамический диапазон входных каскадов РПУ.
3. Метод анализа соотношений сигнал/шум и сигнал/помеха на выходе нелинейного элемента при действии на его входе узкополосных сигнала и помехи в смеси с узкополосными гауссовскими шумами, не накладывающий ограничений на разность частот сигнала и помехи.
4. Способы построения цифрового помехоустойчивого приёмника для приёма сигнала с произвольной модуляцией на фоне мощной узкополосной помехи, превышающей динамический диапазон приёмника.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании возможности использования продуктов нелинейного взаимодействия сигнала и помехи в полосе полезного сигнала для выделения полезного сообщения при перегруженном режиме работы приемного тракта, а также в проведённом анализе влияния мощной помехи на отношения сигнал/шум и сигнал/помеха, и на коэффициент передачи нелинейной системы в полосе полезного сигнала.

Практическая значимость работы состоит в разработанных способах и устройствах выделения полезного сигнала на фоне мощных помех, в

разработанной системе моделирования канала связи с МВО и в разработанном методе анализа соотношений сигнал/шум и сигнал/помеха на выходе нелинейного элемента.

Результаты работы могут быть применены при разработке радиоэлектронных средств различного назначения (радиолокационных, связных, навигационных и др.), функционирующих в условиях возможного воздействия непреднамеренных и организованных мощных помех, приводящих к существенно нелинейному режиму работы частотно-избирательных каскадов информационных систем.

Внедрение научных результатов

Полученные в диссертации результаты внедрены в научно-исследовательских работах и учебном процессе в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского. По теме диссертации получен 1 патент РФ.

Апробация результатов работы

Результаты диссертационной работы представлялись на XXI Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн» (Йошкар-Ола, 2005), IV Всероссийской научно-технической конференции «Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов» (Пенза, 2006), Международной научно-практической конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments» (Москва, 2005), 8-й и 9-й научных конференциях по радиофизике (Нижний Новгород, 2004, 2005), IX Нижегородской сессии молодых учёных («Голубая Ока», 2004).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах и одно учебное пособие. Получен 1 патент РФ на полезную модель.

Структура и объём диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, и списка литературы, включающего 121 наименование. Объём диссертации составляет 155 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении излагаются состояние и актуальность предмета исследования, краткий обзор известных результатов по теме диссертации, цели и структура работы.

В первой главе приводится описание трёхкомпонентной модели беспроводного канала связи с мобильными высокоскоростными объектами. С использованием данной модели разработаны методика и алгоритмы

имитационного моделирования канала связи с гиперзвуковыми летательными аппаратами (ГЛА), предназначенного для передачи телеметрической информации с ГЛА на измерительные пункты (ИП). Объект, с которым осуществляется связь, перемещается с гиперзвуковой скоростью по произвольной динамической траектории с вращением вокруг своей продольной оси. Таким образом, решаются следующие задачи: создание модели пространственно-частотной и поляризационной избирательности антенной системы, движущейся по сложной траектории, и моделирование канала связи с такой системой с учётом многолучевого характера распространения сигнала.

Оценить состояние канала аналитическими методами с учётом динамики движения ГЛА и разнообразия вариантов позиционирования антенн ГЛА и ИП практически невозможно. В связи с этим для детального анализа структуры сигналов, поступающих на вход РПУ ИП, на основе анализа результатов исследований эффектов отражения и рассеяния радиоволн дециметрового диапазона была разработана трёхкомпонентная модель канала связи, пригодная для проведения имитационного моделирования и учитывающая основные механизмы прохождения сигнала по трассе ГЛА-ИП:

- прямое прохождение сигнала;
- квазизеркальное отражение от подстилающей поверхности;
- диффузное рассеяние неоднородностями поверхности.

Рассеянная составляющая образуется суммированием в точке приёма сигнальных импульсов, переотраженных от различных участков неровной подстилающей поверхности, которые создают на входе РПУ пассивную помеху, представляющую собой узкополосный шум с гауссовым распределением мгновенных значений.

Для моделирования распространения радиосигнала от ГЛА к ИП в соответствии с описанной трёхкомпонентной моделью используется система координат, связанная с Землёй, и несколько локальных систем координат, позволяющих удобным образом учесть все особенности динамики движения ГЛА, поляризационные эффекты и смоделировать пространственные диаграммы направленности (ДН) антенн, применив при моделировании методы аналитической геометрии. Пространственные ДН антенн ГЛА и ИП, смоделированные по разработанному и описанному в диссертационной работе алгоритму, показаны на рис. 1, 2.

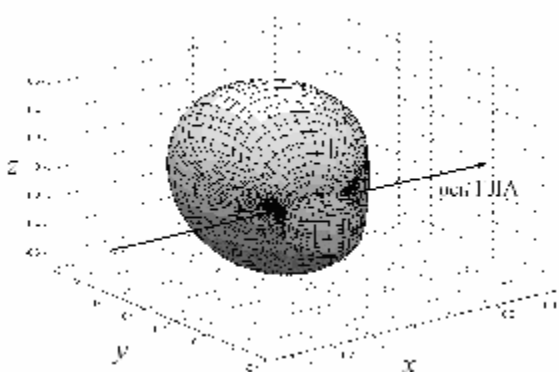


Рис. 1. ДН антенны ГЛА

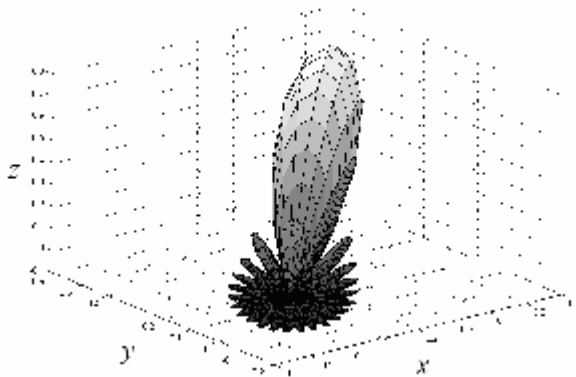


Рис. 2. ДН антенны ИП

С помощью разработанного программного обеспечения было проведено моделирование канала связи ГЛА-ИП при различных условиях (равнинная местность, морская подстилающая поверхность, наземный ИП, самолётный ИП). По результатам данного моделирования проведён анализ сигнально-помеховой обстановки и надёжности передачи информации для некоторых практически важных случаев. На рис. 3 приведена зависимость отношения сигнал/шум от времени полёта ГЛА в канале связи в условиях равнинной местности при наземном расположении ИП. На этом рисунке видны глубокие периодические провалы значения отношения сигнал/шум, обусловленные рассогласованием поляризаций приёмной антенны и проходящего излучения, возникающим из-за быстрых изменений положения антенной системы ГЛА в пространстве.

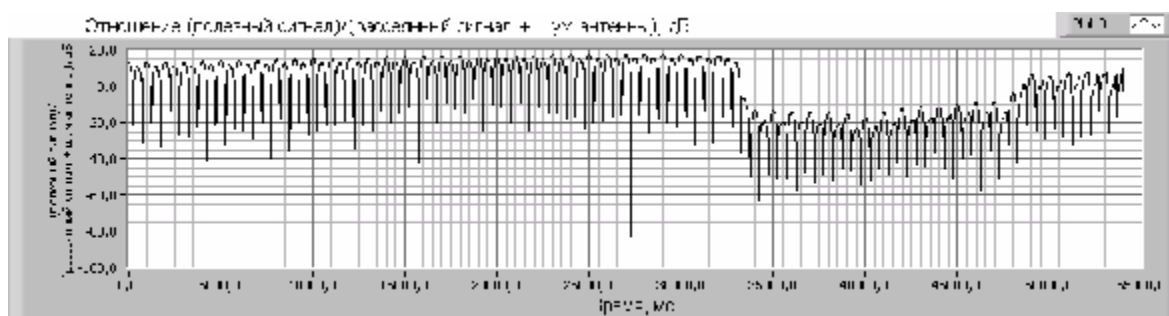


Рис. 3. Соотношение сигнал/шум в канале связи «ГЛА-наземный ИП» в условиях равнинной местности

Установлено, что рассогласование поляризаций является наиболее неблагоприятным фактором ухудшения качества связи. При этом выяснено, что качественный приём информации с ГЛА можно обеспечить с помощью комплексирования информации путём использования на одном ИП двух антенн с ортогональными линейными поляризациями.

Во второй главе проводится анализ характера искажений полезного сигнала на его основной частоте, обусловленных взаимодействием с мощной помехой в нелинейном безынерционном элементе. Показано, что фаза полезного сигнала при этом не искажается. Обосновывается возможность и предлагаются способы выделения полезного сигнала на фоне мощных помех, превышающих динамический диапазон входных каскадов РПУ.

Пусть на входе высокочастотного усилителя приёмника действует сумма слабого сигнала и мощной помехи:

$$u_{in}(t) = x(t) \cos[w_s t + j_s(t)] + y(t) \cos[w_i t + j_i(t)],$$

где индекс s означает полезный сигнал, а индекс i – помеху. Колебание в окрестности несущей частоты сигнала на выходе усилителя, работающего в нелинейном режиме, обусловленном действием мощной помехи, будет определяться суммой полезной составляющей и интермодуляционных компонентов. Полезная составляющая при разложении проходной характеристики усилителя в ряд до 5-й степени определяется следующим выражением:

$$\tilde{u}_s(t) \approx x(t) \left[a_1 + a_3 \left(\frac{3}{4} x^2(t) + \frac{3}{2} y^2(t) \right) + a_5 \left(\frac{5}{8} x^4(t) + \frac{15}{4} x^2(t) y^2(t) + \frac{15}{8} y^4(t) \right) \right] \times \cos[w_s t + j_s(t)].$$

где a_j – коэффициенты ряда. Из этого выражения видно, что огибающая полезной составляющей представляет собой сложную смесь огибающих полезного сигнала и помехи на входе нелинейного элемента. При этом фаза полезного сигнала сохраняется, но в силу того, что коэффициенты a_j при нечётных степенях полинома могут отличаться знаками, огибающая теперь может менять свой знак в зависимости от мгновенных значений огибающих сигнала и помехи на входе нелинейного элемента. Это может привести к тому, что в некоторые моменты времени огибающая полезной составляющей будет переходить через нуль, что эквивалентно скачку фазы j_s сигнала на π . Если такие скачки будут происходить достаточно часто, то в цифровой системе связи, использующей фазовую модуляцию, это приведёт к резкому повышению уровня ошибок, даже в системах с дифференциальным кодированием.

Проведённое моделирование показало, что фаза полезного сигнала на его несущей частоте не искажается при нелинейном взаимодействии с мощной помехой на ограничивающей монотонной нелинейности независимо от положения рабочей точки. Это даёт возможность выделить информацию на выходе перегруженного мощной помехой усилителя при использовании сигналов с угловой модуляцией.

Для выделения полезной информации из сигнала с угловой модуляцией на фоне мощной помехи необходимо обеспечить выделение колебания в полосе частот полезного сигнала на выходе перегруженного усилителя и в некоторых случаях (если важна форма огибающей полезного сигнала) изменить алгоритмы цифровой обработки выделенного колебания. Для выделения колебания в полосе полезного сигнала на выходе усилителя с целью снижения размеров и стоимости аппаратуры выгодно заменять пассивные фильтрующие цепи активными. При этом входной малошумящий усилитель ограничивает динамический диапазон сигнала, подаваемого на вход активных фильтрующих цепей, что решает проблему их динамического диапазона.

В третьей главе разрабатывается новый спектрально-временной метод анализа соотношений сигнал/шум и сигнал/помеха на выходе нелинейного элемента при действии на его входе узкополосных сигнала и помехи в смеси с узкополосными гауссовскими шумами. Проводится исследование влияния мощной помехи на выходное отношение сигнал/шум усилителя приёмника для случая гармонических и импульсных сигнала и помехи. Анализируется влияние мощных синусоидальной и гауссовской помех на коэффициенты усиления и подавления слабого синусоидального сигнала во входном усилителе приёмника.

Разработанный метод анализа соотношений сигнал/шум и сигнал/помеха на выходе нелинейного элемента является обобщением описанного В.И.Тихоновым метода на случай, когда входной сигнал представляет собой сумму полезного сигнала, шума и отстроенной по частоте помехи, не

накладывая при этом ограничения на разность частот сигнала и помехи. Метод основан на разложении колебания на выходе нелинейного элемента в двойной ряд Фурье и последующем разделении компонентов данного разложения на сигнальные и шумовые составляющие с помощью усреднения по статистике шумов. С помощью данного метода по известной проходной характеристике элемента или по его колебательным характеристикам можно вычислять: а) мощности и фазы сигнальной и шумовой составляющих сигнала, помехи, их гармоник и комбинационных компонентов на выходе нелинейного элемента; б) отношения сигнал/шум и сигнал/помеха в полосе любого из частотных компонентов на выходе нелинейного элемента; в) оптимальный вид колебательных характеристик, максимизирующих отношение сигнал/шум для различных частотных компонентов на выходе нелинейного элемента.

Данный метод позволил установить, что при одновременном действии импульсов слабого сигнала и мощной помехи, превышающей динамический диапазон усилителя (или гармонических сигнала и помехи), выходное соотношение сигнал/шум в полосе сигнала может меняться по сравнению с входным только из-за интермодуляционных составляющих, попадающих в полосу полезного сигнала. При мощном сигнале и помехе соотношение сигнал/шум может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от соотношения мощностей сигнала и помехи.

Показано, что в случае слабого синусоидального сигнала и мощной синусоидальной помехи соотношение сигнал/помеха на выходе усилителя, перегруженного мощной помехой, уменьшается относительно входного соотношения сигнал/помеха максимум на 6 дБ. Данная максимальная величина подавления соответствует режиму предельного ограничения. При плавной ограничивающей нелинейности подавление слабого сигнала мощной помехой увеличивается с ростом мощности помехи, стремясь к значению 6 дБ. Снижение коэффициента усиления слабого синусоидального сигнала входным маломощным усилителем приёмника из-за действия мощной синусоидальной помехи на практике может достигать 10-15 дБ.

В случае слабого синусоидального сигнала и мощной гауссовской узкополосной помехи соотношение сигнал/помеха на выходе усилителя, перегруженного мощной помехой, выше соотношения сигнал/помеха на входе. Это объясняется переносом части энергии колебаний огибающей гауссовской помехи на огибающую сигнала, происходящим благодаря эффекту перекрёстной модуляции. Максимальное увеличение отношения сигнал/помеха наблюдается в случае предельного ограничения, а минимальное – в случае плавной нелинейности (рис. 4). Если при данных условиях в качестве выходного полезного сигнала рассматривать сигнал с усреднённой огибающей, то выходное соотношение сигнал/помеха будет уменьшаться по сравнению с входным. Данное уменьшение достигает максимум 1.05 дБ в режиме предельного ограничения и снижается в случае плавной нелинейности (рис. 5). Снижение коэффициента усиления полезного сигнала при гауссовской помехе происходит на меньшую величину, чем при синусоидальной.

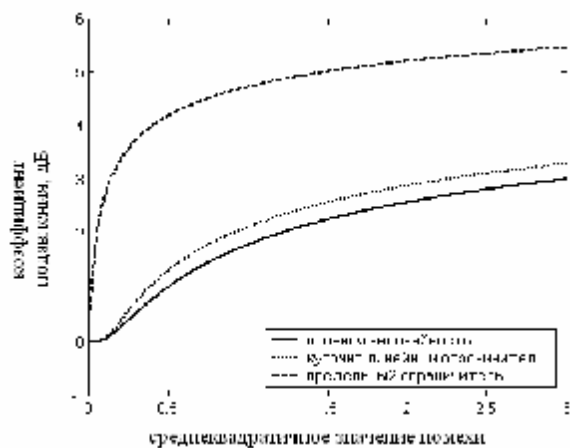


Рис. 4. Зависимость коэффициента подавления слабого гармонического сигнала мощной гауссовской помехой без усреднения огибающей выходного сигнала

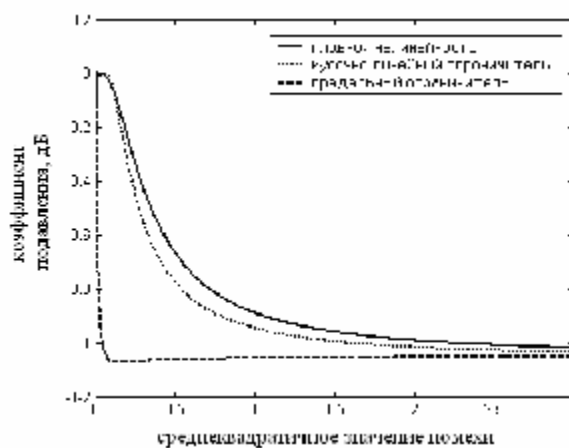


Рис. 5. Зависимость коэффициента подавления слабого гармонического сигнала мощной гауссовской помехой при усреднении огибающей выходного сигнала

В четвёртой главе рассматриваются возможные нелинейные искажения в перегруженном мощной помехой входном усилителе приёмника, и проводится анализ их влияния на полезный сигнал. Предлагаются два варианта архитектуры помехоустойчивого приёмника, позволяющие вести приём сигнала на фоне мощной внеполосной и внутрисполосной помех, превышающих динамический диапазон приёмника.

Установлено, что если усилитель в отсутствие помех на его входе остаётся в линейном режиме, а при действии единственной мощной блокирующей помехи является безынерционным по отношению к её огибающей, то наибольший вклад в искажение полезного сигнала будут вносить эффекты амплитудной перекрёстной модуляции и амплитудно-фазовой конверсии. Приведённые оценки степени проявления данных эффектов указывают на то, что в стандартных приёмниках эти эффекты могут привести к искажению передаваемой информации и даже к срыву всех видов синхронизации.

Для восстановления искажённого вследствие эффектов перекрёстной модуляции и амплитудно-фазовой конверсии полезного сигнала предложено использовать приёмник, упрощённая блок-схема которого показана на рис. 6.

Данный приёмник выделяет слабый полезный сигнал и устраняет его искажения, связанные с эффектами амплитудной перекрёстной модуляции и амплитудно-фазовой конверсии, что позволяет использовать его при любых видах модуляции сигнала. Он отличается от стандартного в первую очередь наличием канала выделения огибающей помехи, в котором происходит выделение огибающей (измерение мгновенной мощности) суммарного сигнала на входе малошумящего усилителя (МШУ), находящегося в канале аналоговой обработки информационного сигнала. В условиях, когда мощность сигнала много меньше мощности помехи на входе МШУ, огибающая суммарного сигнала будет совпадать с огибающей помехи.



Рис. 6. Обобщённая блок-схема помехоустойчивого приёмника

Ситуация, когда на входе МШУ оказывается мощная блокирующая помеха, возникает в случае, если преселекторный фильтр на входе приёмника отсутствует, либо ослабляет помеху в недостаточной степени или она является внутриполосной, а также, если помеха проникает на вход МШУ после преселекторного фильтра. Канал обработки информационного сигнала осуществляет выделение колебания в полосе полезного сигнала на выходе МШУ и производит стандартный набор операций аналоговой обработки: усиление, демодуляцию, фильтрацию, приведение сигнала к определённому уровню и аналого-цифровое преобразование. В блоке цифровой обработки оцифрованный сигнал вначале подвергается амплитудной и фазовой коррекции в соответствии с информацией об огибающей суммарного сигнала на входе МШУ, поступающей из канала выделения огибающей помехи, и в соответствии с хранящимися в памяти РПУ моделями амплитудных и фазовых искажений полезного сигнала, вносимых нелинейностью блокируемого помехой усилителя. Далее восстановленная комплексная огибающая сигнала подвергается обычной цифровой обработке в соответствии с реализованным в системе связи стандартом физического уровня.

В зависимости от конкретного приложения и априорной информации о помехе внутренняя структура каждого из блоков на рис. 6 может меняться. Так, например, в диссертации предложены два варианта реализации помехоустойчивого приёмника, основанные на схеме, показанной на рис. 6. Они отличаются структурой канала аналоговой обработки информационного сигнала с целью повышения помехоустойчивости в зависимости от того, является ли помеха внеполосной или попадает в полосу частотно-избирательных каскадов РПУ.

В отсутствие мощной помехи или в условиях, когда сумма полезного сигнала и помехи находится в пределах динамического диапазона входного усилителя, помехоустойчивый приёмник будет работать так же, как стандартный. В этом случае коррекция огибающей и фазы полезного сигнала в блоке цифровой обработки отключается. Это происходит при достижении сигналом на выходе канала выделения огибающей помехи определённого нижнего порога, при котором входной МШУ переходит в линейный режим работы.

В заключении приводятся основные выводы и результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны универсальная модель и алгоритм имитационного моделирования канала связи с высокоскоростными мобильными объектами, движущимися с гиперзвуковой скоростью по произвольной динамической траектории с вращением вокруг своей продольной оси, что соответствует наиболее общему случаю сигнально-помеховой ситуации. При этом были решены задачи моделирования пространственной и поляризационной избирательности антенной системы, движущейся по сложной траектории, и моделирования канала связи с такой системой с учётом многолучевого характера распространения сигнала и свойств отражающей поверхности. По результатам моделирования канала связи с МВО установлено, что в условиях сложной электромагнитной обстановки при действии помех большой мощности динамический диапазон приёмного устройства системы связи с МВО должен быть достаточно большим для успешного приёма слабого полезного сигнала на фоне мощных помех с помощью классических методов приёма.
2. При взаимодействии в нелинейном безынерционном элементе полезного сигнала и помехи фаза полезного сигнала на его основной частоте не искажается. В силу этого продукты нелинейного преобразования суммы слабого полезного сигнала и мощной помехи в полосе частот полезного сигнала могут быть использованы для выделения информации из выходного сигнала перегруженного мощной помехой усилителя. Для этого необходимо обеспечить выделение колебания в полосе частот полезного сигнала на выходе перегруженного усилителя и в некоторых случаях (если важна форма огибающей полезного сигнала и при необходимости компенсации эффекта АФК) изменить алгоритмы цифровой обработки выделенного колебания.
3. Разработан спектрально-временной метод анализа соотношений сигнал/шум и сигнал/помеха на выходе нелинейного элемента при действии на его входе узкополосных сигнала и помехи в смеси с узкополосными гауссовскими шумами. Данный метод не накладывает ограничений на разность частот сигнала и помехи и позволяет по проходной характеристике элемента или по его колебательным характеристикам вычислять: а) мощности и фазы сигнальной и шумовой составляющих сигнала, помехи, их гармоник и комбинационных компонентов на выходе нелинейного элемента; б) отношения сигнал/шум и сигнал/помеха в полосе любого из частотных компонентов на выходе нелинейного элемента; в) оптимальный вид колебательных характеристик, максимизирующих отношение сигнал/шум для различных частотных компонентов на выходе нелинейного элемента. С помощью данного метода установлено, что при одновременном действии импульсов слабого сигнала и мощной помехи, превышающей динамический диапазон усилителя, выходное соотношение сигнал/шум в полосе сигнала может меняться по сравнению с входным только из-за интермодуляционных составляющих, попадающих в полосу полезного сигнала. При мощных

сигнале и помехе соотношение сигнал/шум может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от соотношения мощностей сигнала и помехи.

4. Если усилитель в отсутствие помех на его входе остаётся в линейном режиме, а при действии единственной мощной блокирующей помехи является безынерционным по отношению к её огибающей, то наибольший вклад в искажение полезного сигнала будут вносить эффекты амплитудной перекрёстной модуляции и амплитудно-фазовой конверсии. Приведённые оценки степени проявления данных эффектов указывают на то, что в стандартных приёмниках эти эффекты могут привести к сильному искажению передаваемой информации и даже к срыву всех видов синхронизации.
5. Для приёма сигнала с произвольным видом модуляции на фоне мощной узкополосной помехи, превышающей динамический диапазон приёмника, необходимо выделить слабый полезный сигнал на его несущей частоте на выходе перегруженного входного усилителя приёмника и устранить его искажения, связанные с эффектами амплитудной перекрёстной модуляции и амплитудно-фазовой конверсии. Помехоустойчивое РПУ, осуществляющее данные преобразования, имеет канал выделения огибающей помехи, в котором происходит измерение огибающей суммарного сигнала на входе блокируемого помехой малошумящего усилителя. В блоке цифровой обработки данного РПУ оцифрованный сигнал вначале подвергается амплитудной и фазовой коррекции в соответствии с информацией об огибающей суммарного сигнала на входе МШУ, поступающей из канала выделения огибающей помехи, и в соответствии с хранящимися в памяти РПУ моделями амплитудных и фазовых искажений полезного сигнала, вносимых нелинейностью блокируемого помехой усилителя. Далее восстановленная комплексная огибающая сигнала подвергается обычной цифровой обработке в соответствии с реализованным в системе связи стандартом физического уровня. Структура канала аналоговой обработки сигнала в помехоустойчивом РПУ, осуществляющего выделение полезного сигнала на выходе перегруженного входного усилителя, его усиление, преобразование частоты и оцифровку, может отличаться с целью повышения помехоустойчивости в зависимости от того, является ли помеха внеполосной или попадает в полосу частотно-избирательных каскадов РПУ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Д.Н. Ивлев. Некоторые особенности приёма фазомодулированного сигнала на фоне мощной узкополосной аддитивной помехи, превышающей динамический диапазон приёмника. //Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Радиофизика». Вып. 1(2), 2004, с.111-118.
2. Д.Н. Ивлев. О возможности выделения фазы узкополосного информационного сигнала при действии мощной узкополосной аддитивной помехи, превышающей динамический диапазон приёмника. //Сборник докладов IX Нижегородской сессии молодых учёных. 25-30 апреля 2004 г., с.88-90.

3. Д.Н. Ивлев, С.В. Панфилов. Виртуальная система для исследования основных видов кодирования источника и полосовой модуляции/демодуляции в цифровых системах связи. //В кн.: Тр. 8-й научн. конф. по радиофизике. 7 мая 2004 г. /Н.Новгород, 2004, с.273-274.
4. Васильев В.С., Ивлев Д.Н., Односеццев В.А., Орлов И.Я. Трёхкомпонентная модель канала мобильной системы связи. В кн.: Сб. докладов XXI Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн», 25-27 мая 2005 г., Йошкар-Ола, 2005, том 2, с.296-300.
5. Васильев В.С., Ивлев Д.Н., Односеццев В.А., Орлов И.Я. Оценка информационной ёмкости реального высокоскоростного канала передачи данных. //В кн.: Тр. 9-й научн. конф. по радиофизике. 7 мая 2005 г. /Н.Новгород, 2005, с.89-90.
6. Волкова И.В., Ивлев Д.Н., Орлов И.Я. Влияние мощной внеполосной помехи на выходное отношение сигнал/шум радиоприёмного устройства в случае импульсных сигнала и помехи. //В кн.: Тр. 9-й научн. конф. по радиофизике. 7 мая 2005 г. /Н.Новгород, 2005, с.340-342.
7. И.В. Волкова, Д.Н. Ивлев, И.Я. Орлов. Влияние мощной помехи на выходное отношение сигнал/шум радиоприёмного устройства в режиме блокирования. //Известия вузов. Радиофизика. №12, 2005, с.1056-1066.
8. Ивлев Д.Н., Панфилов С.В. Виртуальная установка для лабораторного практикума по курсу «Цифровые системы связи». В кн.: Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Материалы Международной научно-практической конференции, –М.: Изд-во РУДН, 2005, с.106-108.
9. Васильев В.С., Ивлев Д.Н. Моделирование пространственных диаграмм направленности антенных систем. //Антенны, №5, 2006, с.39-44.
10. Д.Н. Ивлев, И.Я. Орлов. Устройство обработки фазомодулированного сигнала в приемном канале //Патент РФ на полезную модель № 53086 от 27.04.06.
11. Д.Н. Ивлев, И.Я. Орлов. Полигауссовская аппроксимация и адаптивная обработка в задаче выделения электрокардиографического сигнала на фоне помех. //Известия вузов. Радиофизика. № 7, 2004, с.601-609.
12. В.С. Васильев, Д.Н. Ивлев. Оценка качества канала связи с мобильными высокоскоростными объектами на больших высотах: Труды IV Всероссийской научно-технической конференции «Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов». 23–24 мая 2006 г., Пенза, 2006, с.53-55.
13. В.С. Васильев, Д.Н. Ивлев, В.А. Односеццев, И.Я. Орлов. Моделирование канала связи с мобильными высокоскоростными объектами на больших высотах. //Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Радиофизика». Вып. 1(3), 2005, с.85-93.
14. Ивлев Д.Н., Панфилов С.В. Исследование процессов кодирования источника и полосовой модуляции/демодуляции в среде LabVIEW: Методические указания к лабораторной работе. – Нижний Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета, 2005. – 36 с.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Список сокращений

Введение

1. Моделирование канала связи с мобильными высокоскоростными объектами

- 1.1. Условия моделирования канала связи
- 1.2. Моделирование диаграмм направленности антенн
- 1.3. Учёт поляризации излучения
- 1.4. Моделирование составляющих сигнала трёхкомпонентной модели
- 1.5. Описание программного обеспечения для имитационного моделирования радиоканала и результаты моделирования
- 1.6. Выводы

2. Исследование возможности выделения информации из отклика нелинейной системы в полосе частот полезного сигнала при действии на входе мощной помехи

- 2.1. Анализ спектрально-временных характеристик отклика нелинейной системы при воздействии суммы полезного сигнала и помехи
- 2.2. Обоснование возможности выделения фазы полезного сигнала основной частоты на выходе нелинейной системы при действии мощной помехи
- 2.3. Выводы

3. Анализ влияния мощной блокирующей помехи на выходные отношения сигнал/шум и сигнал/помеха приёмного устройства

- 3.1. Метод расчёта продуктов нелинейного преобразования и отношений сигнал/шум и сигнал/помеха на выходе нелинейной частотно-избирательной системы
- 3.2. Влияние помехи на отношение сигнал/шум на выходе резонансного усилительного каскада в случае импульсных сигнала и помехи
- 3.3. Оценка подавления гармонического сигнала гармонической и узкополосной гауссовской помехами при нелинейном преобразовании
- 3.4. Выводы

4. Выделение полезного сигнала из отклика перегруженного мощной помехой входного усилительного каскада

- 4.1. Анализ нелинейных искажений полезного сигнала при прохождении через перегруженный мощной помехой усилитель
- 4.2. Структурная схема приёмника, устойчивого к мощной помехе, превышающей его динамический диапазон
- 4.3. Выводы

Заключение

Литература