УДК 621.396.676

А. Н. Жуков, Р. В. Жуков, С. С. Рожков

Перспективы совмещенных антенных систем в бортовых станциях радиоэлектронной защиты летательных аппаратов

Рассмотрены два варианта блоков антенных систем на предмет уменьшения коэффициента связи между приемной и передающими антеннами. Первый вариант представляет собой исходный приемопередающий антенный блок авиационной станции активных помех, в котором размещены две передающие антенны в непосредственной близости в общем отсеке и приемная антенна в отдельном отсеке, отделенном объемной перегородкой со скошенными углами. Второй вариант – модернизированный приемопередающий антенный блок малогабаритной станции активных помех, в котором каждая из антенн расположена в индивидуальном отсеке, отделенном крестообразной перегородкой; при этом приняты дополнительные меры по улучшению модуля коэффициента связи между антеннами. В обоих вариантах антенных блоков используются аналогичные широкополосные антенны типа Вивальди.

Ключевые слова: сверхширокополосные антенны, электродинамическое 3D-моделирование, электромагнитная совместимость, приемопередающие антенны, загораживающие структуры, экранирование, поглощающие материалы.

Введение

Основной характеристикой радиотехнических комплексов с совмещенными приемопередающими антенными системами является развязка – пространственный коэффициент связи W между приемной и передающей антеннами. Обеспечение W между приемными и передающими антеннами на необходимом уровне позволяет избежать проблемы различения сигналов в приемном устройстве станции на фоне излучения с передатчика. Для реальной чувствительности приемника станции необходим корректный уровень развязки между антеннами, поэтому необходимо добиваться максимально возможного W , стараясь сохранить оптимальные характеристики направленности и согласования антенн. Однако при этом важно находить компромисс между требуемыми характеристиками передающих антенн и их развязками с приемной антенной.

Развязка между антеннами также характеризует связь по ближнему и/или дальнему полю между ними. Большой вклад в пространственный коэффициент связи вносит именно связь по ближнему полю. Связь между антеннами по дальнему полю вносит небольшой вклад, но является трудноустранимой. Для ее уменьшения требуется оптимизировать направленность антенн по основному и боковому направлению излучения или приема.

Одним из основных требований, предъявляемых к бортовым станциям активных помех, является малогабаритность. В связи с этим возникает инженерная задача расположения приемных и передающих антенн станции для обеспечения необходимого уровня развязки в ограниченном пространстве. Как правило, «разнести» на существенное расстояние в условиях эксплуатации бортовой аппаратуры приемную и передающую антенны невозможно, поэтому применяются различные поглощающие структуры [1], материалы [2], геометрические особенности конструкции [3] и пр.

Тенденция к уменьшению массогабаритных параметров станций помех связана с улучшением элементной базы, поэтому все более строгими становятся требования к габаритам для размещения антенн в блоке. Работая на перспективу, нельзя учитывать только один из вариантов улучшения развязки в приемопередающем тракте, следует также обратить внимание на возможные комбинированные способы [4].

Проверить эффективность методов развязки можно в ходе проведения трехмерного электродинамического моделирования в программе CST с последующим изготовлением макета и экспериментальным изучением полученных характеристик. Использование метода доверительных областей при электродинамическом моделировании позволяет с высокой точностью рассчитать влияние передающих антенн

© Жуков А. Н., Жуков Р. В., Рожков С. С., 2017

на работу приемной антенны во всем рабочем диапазоне частот станции. Комбинируя разные варианты экранирования и расположений антенн в трехмерной среде, возможно улучшить пространственный коэффициент связи W .

В достаточно большом количестве статей, посвященных известным способам увеличения развязки, отсутствует проработанное решение задачи уменьшения пространственного коэффициента связи W между приемными и передающими антеннами совмещенных систем.

Данная статья посвящена научно-техническому решению задачи оптимизации размещения и геометрии антенн с учетом взаимодействий в ближнем и дальнем полях, сказывающихся на величине краевых токов. Новизна представленного материала заключается в решении задачи уменьшения пространственного коэффициента связи между приемными и передающими антеннами совмещенных систем. Кроме того, представлено описание применения комбинированных способов увеличения развязки в малогабаритной станции активных помех летательных аппаратов.

Потенциальная возможность увеличения W проявляется при применении комплексного подхода, включающего реализацию конкретных способов увеличения развязки и расчет параметров методом математического трехмерного моделирования. Полученные результаты проверены и подтверждены на макетном образце.

Исходный антенный блок

В исходном антенном блоке с размерами 200×220×230 мм для уменьшения коэффициента связи W был использован только метод применения экранирующих стенок между приемной и передающими антеннами, который является одним из наиболее действенных. Однако при такой форме экранирующей поверхности, размещении антенн и использовании только указанного метода уменьшения W (рис. 1) достигаемая развязка между приемной и передающими антеннами в заданном (ограниченном) объеме пространства обеспечивает корректную работу станции активных помех только при использовании временной селекции режимов приема и передачи сигналов.

На рис. 2 представлены зависимости коэффициента связи W между антеннами в ис-

Рис. 1. Модель антенного блока:
а – вид сверху; б – вид сбоку; в – общий вид в обтекатель

ходном блоке на примере передающей антенны A1 и приемной антенны A3 [5].

На рис. 2 показана оценка зависимости коэффициента связи между передающей антенной A1 и приемной антенной A3 компьютерной модели и исходного варианта. В данном

Рис. 2. Зависимость коэффициента связи W между антеннами А1 и А3 от частоты f :

— данные, полученные в результате измерений модели; — данные, полученные в результате измерений образца

примере не рассмотрена сравнительная оценка эффективности развязки вариантов А1–А3 и А2–А3, так как передающие антенны А1 и А2 изначально конструктивно совмещены. Расхождения результатов исследований возможны ввиду того, что при моделировании используются идеализированные свойства материалов и не учитываются вероятные дифракции в безэховой среде модели в противоположность реальному эксперименту, проведенному в лабораторных условиях. График экспериментальных значений (см. красную линию на рис. 2) получен на отечественном приборе Р2М-18 с включенной функцией межкадрового усреднения. Стоит отметить, что результаты измерения без указанной функции были динамически неустойчивыми при эксперименте в имеющихся лабораторных условиях.

Модернизированный блок

Модернизированный блок был существенно доработан с использованием комбинированных мер по уменьшению коэффициента связи W .

Доработка включала в себя (рис. 3):

- электродинамическое моделирование на всех этапах модернизации с целью выявления наилучших мер для получения наиболее оптимальных характеристик;
- максимально возможное в заданном объеме и при заданной конструкции внешнего корпуса и обтекателя пространственное разнесение приемной и передающих антенн;
- размещение каждой антенны в отдельных отсеках, изолированных друг от друга экранирующими стенками клиновидной формы;

Рис. 3. Общий вид модернизированного блока с крышкой (а) и открытым СВЧ трактом (б)

Рис. 4. Распространение ЭПВ внутри исходного (а) и модернизированного (б) антенного блока

- нанесение на экранирующие стенки поглощающего материала марки «ХВ» [6] толщиной 4 мм;

- изменение поляризации приемной и передающих антенн на ортогональную путем поворота антенн А1 и А2 на 90°.

Рассмотрим подробнее распространение поверхностных волн на конструкциях блока, показанных на рис. 4. Представлено псевдоцветовое распределение распространяющихся электрических поверхностных волн (ЭПВ) по внутренним стенкам антенного блока между приемной и передающей антеннами, включая расположение максимума. Красным цветом обозначены места «застоя» ЭПВ. Энергия в этих местах не излучается в пространство, из-за чего возникают «стоячие волны», повышающие уровень отражений на входах антенн. Синим цветом выделены области минимума

ЭПВ по амплитуде, т. е. где ЭПВ отсутствует в данный момент времени. Видно, что на обеих частотах узор псевдоцветового представления распределения поля в обоих отсеках с передающей и приемной антеннами идентичен. Это подтверждает высокую связь по ближнему полю ввиду несовершенства конструкции исходного варианта.

Каждый отсек, где расположены приемная антенна А3 и передающие антенны А1 и А2, экранирован друг от друга (см. рис. 4, б), на стенках отсеков закреплен поглощающий материал ХВ. По этой причине не наблюдается идентичных яркостных точек и идентичных узоров распространения ЭПВ поля, как на рис. 4, а.

Таким образом, связь между приемной и передающей антеннами по ближнему полю уменьшена, что показано на графике рис. 5.

Рис. 5. Сравнение теоретической и экспериментальной зависимостей коэффициента связи W между антеннами А1 и А3 от частоты f итогового варианта модели:

— данные, полученные в результате измерений модели №1; — данные, полученные в результате измерений макета № 1

Рис. 6. Изготовленный макет

Развязка характеризуется по большей части связью по дальнему полю, т. е. пространственной и поляризационной разнесенностью антенн и их высотой, а также толщиной экранирующих стенок между ними. Заметно улучшение развязки по сравнению со значениями на рис. 2. Изготовленный макет показан на рис. 6.

Заключение

Представлены результаты технического решения задачи увеличения развязки в совмещенном антенном блоке малогабаритной станции активных помех летательного аппарата.

При создании нового антенного блока был использован комбинированный метод улучшения параметров. В результате значения развязки увеличились с 28...45 дБ до 54...76 дБ. Сравнив результаты исследования представленных антенных блоков, можно сделать вывод, что использование комбинированных вариантов является наиболее перспективным методом улучшения развязки.

При использовании рассмотренного комбинированного варианта можно применять

следующие методы улучшения модуля коэффициента связи между антеннами:

- электродинамическое моделирование;
- пространственное разнесение антенн в стороны друг от друга;
- специальные формы экранирующих стенок;
- использование поглощающих материалов.

Полученные результаты могут быть применены при разработках бортовых систем летательных аппаратов с близко расположенными антеннами.

Список литературы

1. Фельд Я. Н., Бененсон Л. С. Основы теории антенн: 2-е изд., перераб. М.: Дрофа, 2007. 491 с.
2. Мицмахер М. Ю., Торгованов В. А. Безэховые камеры СВЧ. М.: Радио и связь, 1982. 128 с.
3. Справочник по антенной технике: в 5 т. Т. 1 / под общ. ред. Л. Д. Бахраха, Е. Г. Зелкина; под ред. Я. Н. Фельда. М.: ИПРЖР, 1997. 256 с.
4. Веденькин Д. А., Латышев В. Е., Седельников Ю. Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 12. С. 1–16.
5. Gibson P. J. The Vivaldi aerial // Proceedings of the 9th European Microwave Conference. Brighton, 1979. Pp. 103–105.
6. Пластины эластичные марок «ХВ». Технические условия. ТУ 6-00-5761783-322-89. Введ. 01–01–90. 17 с.

Поступила 06.12.17

Жуков Александр Николаевич – начальник сектора АО «ЦНИРТИ им. академика А. И. Берга», аспирант четвертого года обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва.

Область научных интересов: сверхширокополосные антенны, устройства сверхвысоких частот, технологии сверхвысоких частот, радиофотонные антенны.

Жуков Ростислав Витальевич – инженер первой категории АО «ЦНИРТИ им. академика А. И. Берга», аспирант первого года обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва.

Область научных интересов: сверхширокополосные антенны, устройства сверхвысоких частот, технологии сверхвысоких частот, электродинамическое моделирование устройств сверхвысоких частот и радиофотонных устройств, математическое и имитационное моделирование.

Рожков Сергей Сергеевич – инженер АО «ЦНИРТИ им. академика А. И. Берга», студент шестого курса федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва.

Область научных интересов: сверхширокополосные антенны, устройства сверхвысоких частот и их технологии, радиоэлектронные системы и комплексы.

Prospects of combined antenna systems in onboard electronic protection systems of aircraft

The study compares two designs of antenna units in terms of reducing the coupling ratio between the transmitting and receiving antennas. The first design is the original transceiver antenna unit of an electronic countermeasure aircraft, which contains two transmitter antennas close to each other in a shared compartment and a receiver antenna in a separate compartment behind a solid screen with bevelled edges. The second design is an upgraded antenna unit of a compact electronic countermeasure station, in which each antenna is located in its own compartment formed by a cross-shaped divider; additional measures have also been taken to improve the modulus of the coupling ratio between antennas. Both antenna unit designs use the same broadband Vivaldi antennas.

Keywords: ultra-wideband antennas, 3D electrodynamic simulation, electromagnetic compatibility, transceiver antennas, blocking structures, shielding, absorbent materials.

Zhukov Aleksandr Nikolaevich – Head of Sector, Joint Stock Company Central Research Radiotechnical Institute named after academician A. I. Berg, fourth year post-graduate student, MIREA — Russian Technological University, Moscow. Science research interests: ultra-wideband antennas, microwave devices, microwave technologies, antennas for microwave photonics.

Zhukov Rostislav Vitalevich – Engineer of the first rank, Joint Stock Company Central Research Radiotechnical Institute named after academician A. I. Berg, first year post-graduate student, MIREA — Russian Technological University, Moscow. Science research interests: ultra-wideband antennas, microwave devices, microwave technologies, electrodynamic simulation of microwave and microwave photonic devices, mathematical and full-scale simulation.

Rozhkov Sergey Sergeevich – Engineer, Joint Stock Company Central Research Radiotechnical Institute named after academician A. I. Berg, sixth year student, MIREA — Russian Technological University, Moscow. Science research interests: ultra-wideband antennas, microwave devices and technologies, radioelectronic systems and installations.