

МИКРОПОЛОСКОВЫЙ ИЗЛУЧАЮЩИЙ МОДУЛЬ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ X-ДИАПАЗОНА

¹Генов А.А., ¹Осипов В.В., ²Гурковский А.В., ²Величко Д.Н.

¹Московский авиационный институт, <https://mai.ru>

Москва 125993, Российская Федерация

²Корпорация космических систем специального назначения «Комета», <http://corpkometa.ru>

Москва 115280, Российская Федерация

Поступила 18.05.2018

Представлена действительным членом РАЕН Потаповым А.А.

В работе рассматривается вариант исполнения микрополоскового излучающего модуля (ИМ) X-диапазона для приемо-передающей активной фазированной антенной решетки космического базирования. Представлены результаты электродинамического моделирования, рассмотрены конструктивные особенности ИМ. Приведен сравнительный анализ расчетных и измеренных характеристик ИМ.

Ключевые слова: активная фазированная антенная решетка, излучающий модуль, антенны

УДК 621.396.67

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ (31)
2. РАЗРАБОТКА ИЗЛУЧАЮЩЕГО МОДУЛЯ (31)
3. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ (33)
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (34)

ЛИТЕРАТУРА (34)

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все больше растет востребованность использования активных фазированных антенных решеток (АФАР) в составе космических аппаратах военного и гражданского назначения. Одной из составных частей АФАР является приёмо-передающие модули (ППМ), из которых формируется антенное полотно [1].

Задача разработки излучающего элемента для ППМ является достаточно сложной в виду жестких требований к конструкции, которая должна обеспечивать стойкость к динамическим нагрузкам и к внешним воздействиям космического пространства. Также имеется ограничение по массогабаритным размерам ППМ. В виду работы ППМ на двух разнесенных частотных диапазонах излучающий модуль должен быть широкополосным, согласованным на два частотных диапазона, один на прием, другой на передачу.

Целью данной работы является реализация рассчитанной в среде CSTStudioSuite электродинамической модели излучающего

модуля [2], проверка его электродинамических характеристик экспериментальным путем и сравнение результатов измеренных характеристик с расчетными.

2. РАЗРАБОТКА ИЗЛУЧАЮЩЕГО МОДУЛЯ

При рассмотрении различных вариантов изготовления излучающих модулей был сделан выбор в пользу плоских микрополосковых излучателей. Благодаря возможности использования печатной технологии при изготовлении многослойной структуры появляется высокая повторяемость в производстве предполагаемой конструкции. Также тонкие слои металлизации (18 мк) на ламинате из композитного политетрафторэтилена (PTFE, тефлон) компании Rogers (США) позволяют существенно выиграть в весе конечной конструкции излучающего модуля.

В дальнейшем при использовании излучающего модуля в составе решетки плоское антенное полотно будет равномерно распределять нагрузку относительно сложных излучателей, состоящих из вынесенных трехмерных конструкций, выполненных в виде рупоров, конусов или вибраторов. К тому же в данном случае проще реализовать защиту от воздействия метеоритных и техногенных частиц, а также радиационную стойкость плоского антенного полотна с учетом ограничений по массе.

В большом многообразии плоских микрополосковых излучателей за основу был взят щелевой излучатель. Т.к. поддержание равномерности частотного согласования на двух диапазонах является достаточно сложной задачей, данный вид излучателя позволяет более гибко подходить к вопросу согласования [3, 4].

Питание излучающего модуля должно осуществляться от 50 Ом коаксиальной линии. С целью уменьшения массогабаритных размеров запитка излучающего модуля должна быть от одного порта. Разъем SMA припаивается на микрополосок своей центральной жилой, а корпус разъема на землю (экран). Ширина микрополоска рассчитывается для согласования на 50 Ом [5]. Экран выполнен в виде медной пластины толщиной 0.5 мм.

Микрополосковая линия возбуждает щель, расположенную над ней. Щель вытравлена в верхнем металлизированном медном слое (18 мк) Rogers 4350В (рис. 1а), а микрополосок в нижнем металлизированном медном слое (рис. 1б). Щель выполнена в форме узких перпендикулярных прямоугольных отверстий. Изменяя геометрические размеры щели можно добиться резонанса в необходимом диапазоне частот [6, 7]. Для идеальной антенны диэлектриком между микрополоском и щелью является воздух с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 1$, но ввиду того, что изготовить тонкие микрополосковые линии можно только с использованием подложки, нами был выбран вариант ламината из композитного PTFE материала Rogers4350В для этой задачи. Исходя из того, что у Rogers 4350В $\epsilon = 3.48$, высота слоя Rogers 4350В была выбрана 0.338 мм.

Для усиления резонанса на двух частотных диапазонах используются два квадратных патча, вытравленных в металлизированных медных слоях

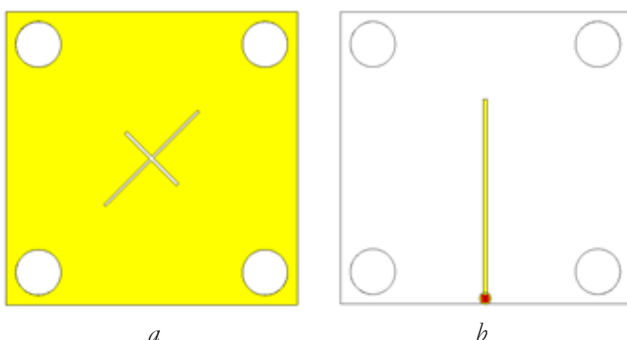


Рис. 1. Слой Rogers 4350В с микрополоском и щелью: а) вид сверху, б) вид снизу.

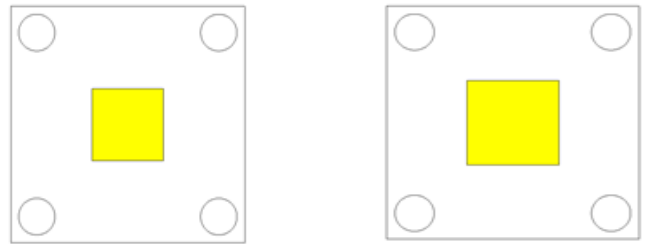


Рис. 2. Слой Rogers 4350В с первым патчем (слева), со вторым патчем (справа).

Rogers 4350В. Первый патч «паразитный» необходим для расширения согласования в частотной области второго патча. Размер первого патча составляет 11.4 мм (рис. 2, слева), он вытравлен на верхнем металлизированном слое Rogers, а второй патч на нижнем слое. Размер второго патча составляет 13.6 мм (рис. 2, справа) [8].

Во всех четырех слоях по краям проделаны отверстия, служащие для выдерживания расстояния и плоскости слоев с помощью пластиковых штырей и шайб разного размера. На рис. 3 представлен вид сбоку всех слоев излучающего модуля. Расстояние между слоем земли (1) и слоем Rogers с микрополоском и щелью (2) равно 1.5 мм. Расстояние между слоем 2 и слоем 3 (Rogers с первым патчем) равно 0.5 мм. Расстояние между слоем 3 и слоем 4 (Rogers со вторым патчем) равно 1.5 мм. Размер всех слоев излучающего модуля равен 37.4×37.4 мм.



Рис. 3. Слой излучающего модуля, вид сбоку.

В программной среде CSTStudioSuite была построена и рассчитана электродинамическая модель излучающего модуля, на основании которой были получены следующие электрорадиотехнические характеристики: коэффициент стоячей волны (КСВ), коэффициент усиления и диаграмма направленности.

На рис. 4 представлен график зависимости КСВ от частоты в диапазоне от 5 до 9 ГГц.

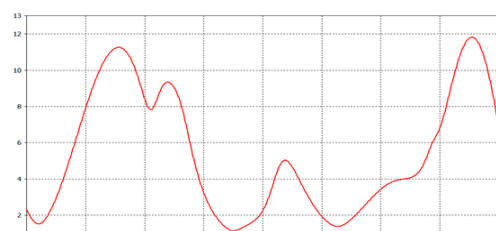


Рис. 4. График зависимости КСВ от частоты в диапазоне от 5 до 9 ГГц.

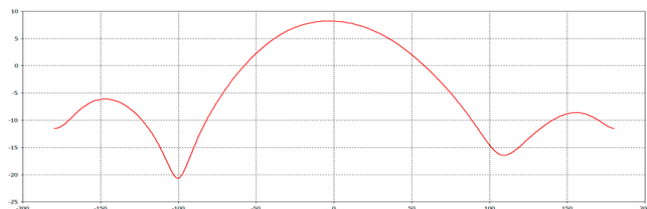


Рис. 5. Диаграмма направленности на частоте F1.

На рис. 5 представлена диаграмма направленности модели излучающего модуля, коэффициент усиления которой составил 8.2 дБ. Ширина диаграммы направленности (по уровню -3 дБ) составляет 71.3°.

По полученным расчетам изготовлен прототип излучающего модуля и исследованы его характеристики. На рис. 6 показан график зависимости КСВ прототипа от частоты излучающего модуля в диапазоне от 5 до 9 ГГц, полученный с помощью векторного анализатора цепей.

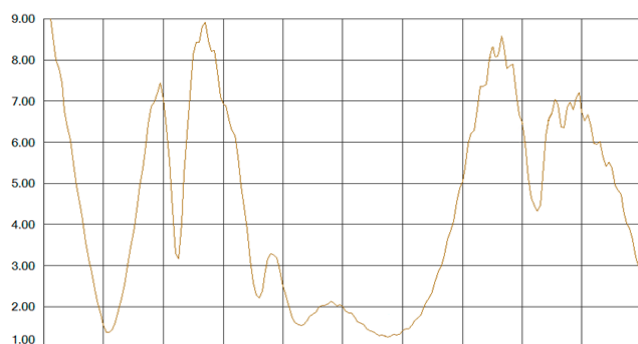


Рис. 6. График зависимости КСВ прототипа от частоты в диапазоне от 5 до 9 ГГц.

На рис. 7 представлена диаграмма направленности прототипа, построенная с помощью опорно-поворотного устройства, измеренная эталонным рупором путем поворота



Рис. 7. Диаграмма направленности прототипа.

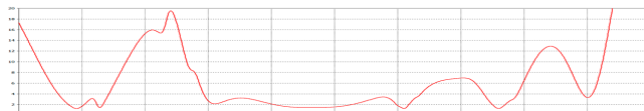


Рис. 8. График зависимости КСВ от частоты в диапазоне от 5 до 9 ГГц после коррекции модели.

излучающего модуля по азимуту в диапазоне от -60° до 60° с шагом 5°. Из рис. 7 можно найти ширину диаграммы направленности (по уровню -3 дБ), равную 79°. С помощью метода замещения был измерен коэффициент усиления на частоте F1, составляющий 7.1 дБ.

3. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

При рассмотрении результатов, полученных путем измерения излучающего модуля, выявлены существенные расхождения. Проведя анализ изготовленного прототипа излучающего модуля в сравнении с начальной моделью излучающего модуля, были внесены корректировки в модель с целью приближения её к изготовленному прототипу. В частности, диэлектрические шайбы и штыри, с помощью которых крепятся слои излучающего модуля, имеют диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 3.2$, которая вносит рассогласование. Пересчитав электродинамическую модель с учетом пластиковых шайб и штырей, был получен график зависимости КСВ от частоты (рис. 8).

Таким образом, на рабочем участке расчётные и измеренные электродинамические характеристики имеют достаточно схожие значения, которые представлены в таблице 1.

Согласование второго частотного диапазона было нарушено высокой диэлектрической проницаемостью пластиковых штырей и шайб.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы был смоделирован излучающий модуль. Изготовив и измерив

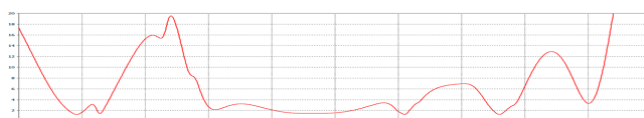


Рис. 8. График зависимости КСВ от частоты в диапазоне от 5 до 9 ГГц

Таблица 1.

Сравнительные характеристики на частоте F1.

Характеристика	Измеренный результат	Рсчетный результат
КУ	7.1 дБ	8.2 дБ
КСВ	1.72	1.71

полученный прототип нами была пересмотрена изначальная модель излучающего модуля, были внесены соответствующие правки. В результате сравнения уточненных расчетных характеристик и результатов экспериментальных измерений электродинамических характеристик в некоторых аспектах была выявлена схожесть полученных данных. Данный способ электродинамического моделирования доказал свою работоспособность. Однако внесенные изменения повлияли на частотное согласование второго частотного диапазона. Полученный результат в ходе дальнейших работ в этом направлении позволяет избежать данных нюансов согласования в будущем.

Работа выполнена по гранту РФФИ 16-07-00511.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генев АА, Мацыкин СВ, Осипов ВВ, Савилякин СВ. Концепция построения передающего тракта многолучевой цифровой приемо-передающей активной фазированной антенной решетки X-диапазона. *Научные труды (Вестник МАТИ)*, 2015, 26(98):67-73.
2. Воскресенский ДИ. (ред.). *Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток*. М., Радиотехника, 2012, 744 с.
3. Панченко БА., Нефедов ЕИ *Микрополосковые антенны*. М., Радио и связь, 1986, 144 с.
4. Обуховец ВА, Касьянов АО. *Микрополосковые отражательные антенные решетки. Методы проектирования и численное моделирование*. М., Радиотехника, 2006, 239 с.
5. Хансен РС. *Фазированные антенные решетки*. Москва, Техносфера, 2012, 560 с.
6. Balanis CA (Ed.) *Modern antenna handbook*. New York, John Wiley & Sons, 2008, 1680 p.
7. Girish Kumar, Ray KP. *Broadband Microstrip Antennas*. Norwood, Artech House Publ., 2002, 407 p.
8. Битаев ЕС, Обысов АВ, Каранкевич АА. Исследование и разработка сверхширокополосной линейной печатной антенной решетки с равномерным амплитудно-фазовым распределением. *Антенны*, 2017, 4(236):25-32.
9. Фрадин АЗ, Рыжков ЕВ. *Измерение параметров антенно-фидерных устройств*. М., Связьиздат, 1962, 314 с.

Генов Анатолий Анатольевич

д.т.н, профессор

Московский авиационный институт

4, Волоколамское ш., Москва 125993, Россия
kt-mati@mail.ru

Осипов Владислав Вадимович

к.т.н, доцент, старший научный сотрудник

Московский авиационный институт

4, Волоколамское ш., Москва 125993, Россия
ovv_42@mail.ru

Гурковский Андрей Владимирович

начальник сектора

Корпорация «Комета»

5, ул. Велозаводская, Москва 115280, Россия
decto4134@mail.ru

Величко Денис Николаевич

инженер

Корпорация «Комета»

5, ул. Велозаводская, Москва 115280, Россия
godfather.denis90@gmail.com

MICROSTRIP EMITTING MODULE FOR RECEIVING-TRANSMITTING ACTIVE ELECTRONICALLY SCANNED ARRAY OF THE X-RANGE

Anatoly A. Genov, Vladislav V. Osipov

Moscow Aviation Institute (National Research University), <https://mai.ru>

Moscow 125993, Russian Federation

Andrey V. Gurkovsky, Denis N. Velichko

Corporation of Space Systems of Special Purpose "Comet", <http://corpkometa.ru>

Moscow 115280, Russian Federation

kt-mati@mail.ru, ovv_42@mail.ru, decto4134@mail.ru, godfather.denis90@gmail.com

Abstract. This article discusses the development of a microstrip radiating module X-band, the use of which is expected in the transmit-receive active electronically scanned array (AESA) space-based. The result of electrodynamic modeling of the radiating module in CST Studio Suite environment is presented. Design features of multilayer patch radiator are considered. A comparative analysis of the calculated and measured characteristics of the emitting module is given.

Keywords: active electronically scanned array, microstrip radiating module

UDC 621.396.67

Bibliography - 9 references

RENSIT, 2018, 10(1):31-34

Received 18.05.2018

DOI: 10.17725/rensit.2018.10.031