

РАЗРАБОТКА БОРТОВЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕНН

Д. Ф. Антонов, А. Ф. Шишканов, С. А. Шрамко, П. В. Хохлов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Испытания измерительных вариантов беспилотных летательных аппаратов (ЛА) проводятся с целью получения телеметрической информации (ТМИ), содержащей сведения об:

- аэродинамических параметрах ЛА;
- механических и тепловых нагрузках, воздействующих на ЛА;
- циклограмме срабатывания блоков внутренней автоматики.

ТМИ передается с борта ЛА и фиксируется приемными средствами радиотелеметрической системы (РТС).

Усложнение ЛА и алгоритмов их работы приводит к увеличению объема передаваемой ТМИ и требует повышения информативности канала передачи данных [1].

Бортовые передающие антенны, применяемые в РТС, работают в полосе рабочих частот порядка $\approx 15\text{--}20$ МГц. Для возможности работы по двум и более каналам, т. е. для увеличения информативности передачи, необходимо увеличивать полосу рабочих частот антенны [2]. Кроме того, широкополосная антенна позволит уменьшить количество применяемых антенн, т. е. перекроет сразу несколько диапазонов частот.

В данной работе описан опыт разработки и экспериментального исследования бортовой антенны, обеспечивающей стабильность характеристик (коэффициент усиления (КУ), диаграмма направленности (ДН)) в широкой полосе частот.

1. Конструкция бортовой антенны

Для решения поставленной задачи была разработана передающая антенна, относящаяся к типу

дисковых антенн. Конструкция и внешний вид бортовой антенны приведены на рис. 1.

Новизна конструкции, по сравнению с аналогом, состоит в том, что излучатель выполнен в виде двух проводников на подложке печатной платы, расположенных в одной плоскости и изогнутых под углом 90° .

Короткие и длинные отрезки проводников от точек изгиба расположены соосно и попарно равны, а длина и ширина отрезков каждого проводника выбраны таким образом, чтобы разность фаз токов между коротким и длинным отрезками составляла 90° .

Данная топология излучателя позволяет получить широкую полосу рабочих частот из-за взаимной компенсации реактивных входных сопротивлений проводников [3].

Антенна (рис. 1) состоит из открытого с одного конца цилиндрического резонатора (корпус) 1, заполненного диэлектриком 2, накладке 3, излучателя 4, втулки 5, коаксиального соединителя 6 с центральным проводником 7. Открытый с одного конца цилиндрический резонатор 1 является корпусом антенны, который оснащен элементами для закрепления на поверхности ЛА. Накладка 3 установлена сверху излучателя 4 и закреплена на корпусе 1 с помощью кольца 8.

Излучатель 4 жестко закреплен на диэлектрике 2 с помощью винтов 9. Коаксиальный соединитель 6 закреплен на нижней крышке 10 корпуса 1 таким образом, что его продольная ось перпендикулярна оси антенны.

На нижней крышке 10 корпуса 1 в диэлектрике 2 крепится втулка 5. Вдоль втулки 5 по направлению к нижней крышке 10 выполнен плавный срез для осуществления симметрирования токов, текущих по центральному проводнику 7 коаксиального соединителя 6 и втулке 5.

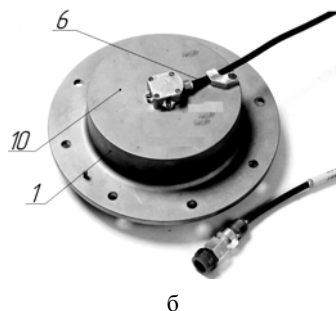
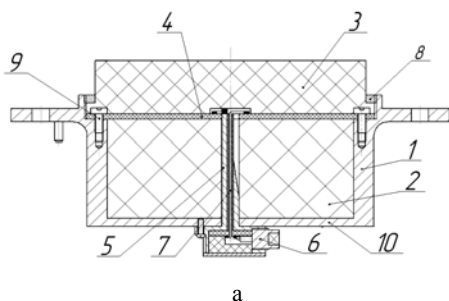


Рис. 1. Антенна: а – конструкция, б – внешний вид: 1 – резонатор (корпус), 2 – диэлектрик, 3 – накладка, 4 – излучатель, 5 – втулка, 6 – коаксиальный соединитель, 7 – проводник, 8 – кольцо, 9 – винт, 10 – нижняя крышка

Диэлектрик 2 и накладку 3 выполняют из радиотехнического материала. Проводники 11 и 12 (рис. 2) расположены в одной плоскости и изогнуты под углом 90°, причем короткие и длинные отрезки проводников от точек изгиба расположены соосно и парно равны соответственно.

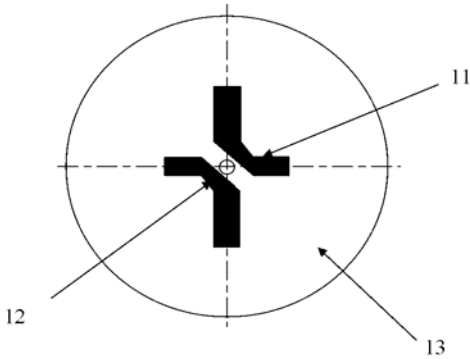


Рис. 2. Печатный излучатель

Длина и ширина отрезков каждого проводника выбраны таким образом, чтобы разность фаз токов между коротким и длинным отрезком составляла 90°.

Высокочастотный (ВЧ) сигнал от передатчика через коаксиальный соединитель 6 поступает к излучателю 4. Токи, протекающие в малых и больших отрезках проводников 11 и 12 отличаются по фазе на 90° (сдвиг по фазе определяется размерами отрезков проводников). Данные токи возбуждают электромагнитное поле с эллиптической поляризацией в раскрыве антенны.

Конструкция антенны защищена патентом № 2589462 «Антенна летательного аппарата» опуб. 10.07.2016 г. [4].

2. Электродинамические характеристики бортовой антенны

2.1. Полоса рабочих частот

На рис. 3 приведена характеристика согласования антенны.

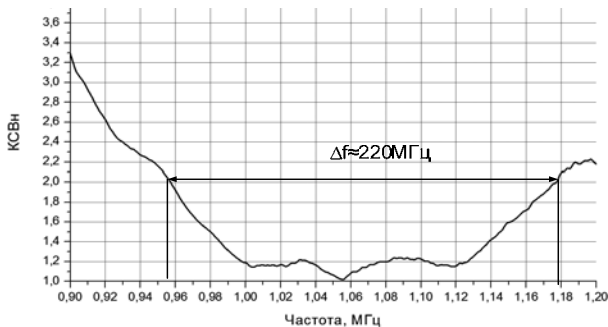


Рис. 3. Характеристика согласования антенны

Антенна имеет полосу рабочих частот $\Delta f \approx 220$ МГц по уровню КСВн = 2,0, что позволяет ее использовать в высокоскоростных каналах передачи информации.

2.2. Коэффициент усиления

Значение коэффициента усиления (КУ) бортовой антенны в максимуме ДН, полученные по результатам натуральных измерений на имитаторе корпуса ЛА, составляет 4,0 дБ.

2.3. Диаграмма направленности

На рис. 4 и 5 приведены нормированные диаграммы направленности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях в центре полосы рабочих частот.

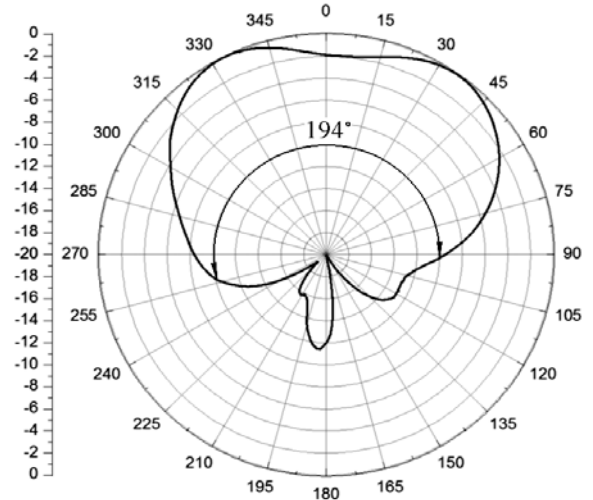


Рис. 4. Диаграмма направленности в плоскости, проходящей через центр антенны и короткие отрезки

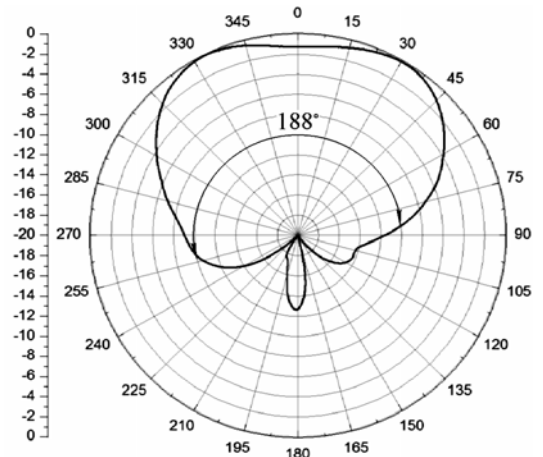


Рис. 5. Диаграмма направленности в плоскости, проходящей через центр антенны и длинные отрезки

Ширина диаграмм направленности по уровню минус 10 дБ составляет не менее 185°.

2.4. Поляризация

Поляризация антенны эллиптическая. Коэффициент эллиптичности антенны (m) рассчитывался как:

$$m = \frac{U_{90}}{U_0}$$

где U_0 – уровень сигнала на выходе исследуемой (приемной) антенны при наилучшей ориентации приемной и передающей антенн; передающая антенна обладает линейной поляризацией; U_{90} – уровень сигнала на выходе исследуемой антенны при повороте передающей антенны на угол равный 90° в плоскости, перпендикулярной линии радиосвязи и неизменной ориентации приемной антенны.

Коэффициент эллиптичности антенны в осевом направлении равен 0,71.

3. Исследование эксплуатационных характеристик бортовой антенны

3.1. Исследование стойкости к линейному ускорению, воздействию радиации, вибрационными ударными нагрузками, испытаниям, имитирующим хранение

В соответствии с утвержденными программами и методиками бортовая антенна прошла испытания на воздействие вибрационных и механических ударов, широкополосной случайной вибрации, линейного ускорения, перепадов температур и влажности, имитирующих условия хранения. Результаты испытаний положительные, конструкция антенны выдержала все заданные требования по стойкости к механическим и климатическим воздействиям.

3.2. Исследование стойкости к СВЧ пробую

Участок передачи ТМИ при полете ЛА характеризуется пониженным атмосферным давлением, которое при работе бортовых негерметичных передающих антенн способствует возникновению в них СВЧ пробоя. СВЧ пробой приводит к ухудшению электродинамических характеристик антенны и как следствие, к уменьшению излучаемой мощности и искажению формы излучаемого радиосигнала. Наличие СВЧ пробоя может стать причиной перерыва в радиосвязи.

Для подтверждения стойкости бортовой антенны к СВЧ пробую были проведены экспериментальные исследования, в которых антенна помещалась в радиопрозрачную вакуумную камеру, из которой откачивался воздух до достижения в ее объеме давления, соответствующего давлению в верхних слоях атмосферы. Далее давление в объеме камеры постепенно повышалось до нормальных условий, при этом через антенну осуществлялась передача сигнала в виде последовательности прямоугольных радиоимпульсов. Тем самым имитировались возможные условия работы антенны. По форме принимаемых от антенны радиоимпульсов делался вывод о наличии или отсутствии в ней

СВЧ пробоя. Схема установки для проверки стойкости антенны к СВЧ пробую приведена на рис. 6.

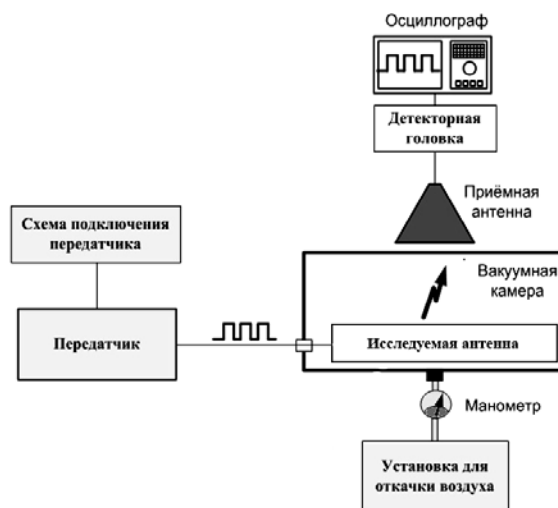


Рис. 6. Схема установки для проверки стойкости антенны к СВЧ пробую

В ходе экспериментальных исследований с предложенной конструкцией антенны наличие СВЧ пробоя зафиксировано не было, т.е. экспериментально доказана электрическая прочность антенны в предполагаемых условиях применения.

Заключение

Разработанная бортовая широкополосная передающая антенна соответствует всем конструктивным, электродинамическим и эксплуатационным требованиям. Успешно прошла все предварительные испытания на механические и климатические воздействия. Антенна является стойкой к СВЧ пробую.

Результаты измерений показывают, что использование разработанной антенны позволяет расширить полосу рабочих частот до 220 МГц по уровню КСВн = 2,0, что позволяет ее использовать в высокоскоростных каналах передачи информации.

Литература

1. Резников Г. Б. Антенны летательных аппаратов. – М: Советское радио, 1967. 402 с.
2. Марков Г. Т., Сазонов Д. М. Антенны. – М: Энергия, 1975. 415 с.
3. Бененсон Л. С. Сверхширокополосные антенны. – М: Мир, 1967. 413 с.
4. Патент на изобретение № 2589462 «Антенна летательного аппарата» опуб. 10.07.2016 г.