

Сверхширокополосные антенны для лабораторных измерений параметров многоканальных систем связи

В.В. Демшевский, В.В. Лободин, И.А. Богачев, А.Д. Баженов, С.С. Сидоренко

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: В работе представлены результаты электродинамического моделирования сверхширокополосных антенн для лабораторных измерений многоканальных систем в диапазонах частот от UHF до С. Показаны два типа печатных антенн для работы в широкой полосе рабочих частот с КСВН не более 2,5, при этом проведено сравнение антенн, по основным параметрам, которые предъявляются к измерительным антенным системам.

Ключевые слова: Сверхширокополосные, антенны, логопериодическая антенна, антенна Вивальди, диаграмма направленности, диэлектрическая проницаемость, коэффициент усиления

1. Введение

Сверхширокополосные (СШП) антенны давно стали неотъемлемой частью современных радиочастотных (РЧ) измерений, обеспечивая возможность одновременного доступа к большому спектру частотных диапазонов без необходимости переключения между несколькими узкополосными элементами. В последние годы рост интереса к многоканальным системам связи, фазостабильным радиолокационным системам, широкополосным беспроводным сетям 5G/6G и системам радиочастотного спектрального мониторинга — поставил перед исследователями новые требования к точности, воспроизводимости и скорости лабораторных измерений. В этом контексте СШП-антенны выступают в роли универсального измерительного инструмента, позволяющего одновременно фиксировать параметры передачи, отражения и кросс-поляризации в диапазоне, охватывающем несколько гигагерц.

В литературе представлены различные подходы к реализации СШП-антенн: логопериодические, рупорные антенны, дискоконусные, дипольные антенны, спиральные и антенны Вивальди, а также гибридные решения, комбинирующие несколько топологий.

При разработке сверхширокополосной антенны для измерения многоканальных систем связи проведен анализ имеющихся доступных аналогов, представленных на рынке. На рисунке 1 представлены некоторые из таких сверхширокополосных антенн.

В статье представлены результаты разработки нескольких типов антенн и их электродинамический расчёт, а также сравнение их характеристик с имеющимся аналогами.



Рисунок 1. Сверхширокополосные антенны.

2. Разработка и моделирование.

В результате анализа доступных аналогов было выбрано два типа антенн, логопериодическая печатная антенна и печатная антенна Вивальди. Проведено их моделирование и расчёт характеристик с помощью строгих вычислительных методов. Центральная частота f_0 на которой проводился расчет равна 4 ГГц.

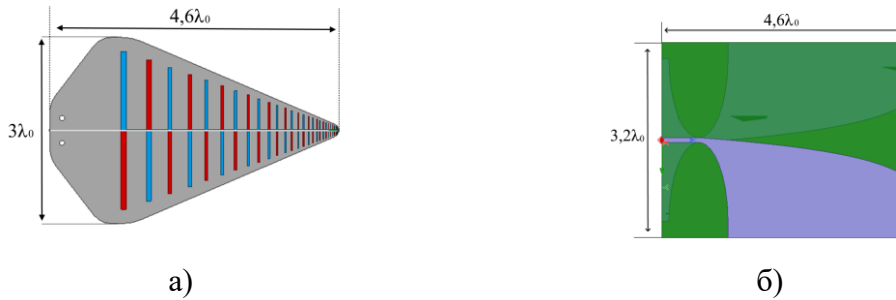


Рисунок 2. 3D модели антенн а) логопериодическая печатная антенна, б) печатная антенна Вивальди.

Материал диэлектрической подложки антенн FR-4 с коэффициентом диэлектрической проницаемости равным 4,4 и тангенсом угла диэлектрических потерь 0,02, толщина подложки логопериодической антенны 1 мм, толщина подложки антенны Вивальди 2 мм.

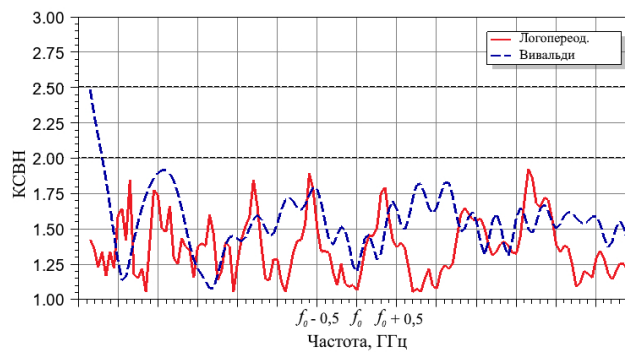


Рисунок 3. КСВН антенн от частоты.

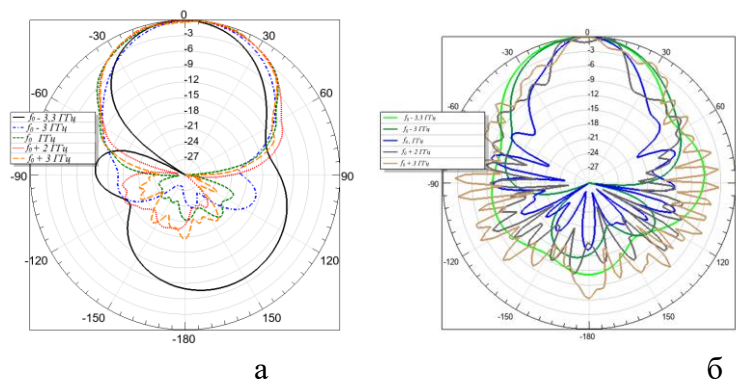


Рисунок 4. ДН антенн в азимутальной плоскости на разных частотах рабочего диапазона, а) ДН логопериодической печатной антенны, б) ДН печатной антенны Вивальди.

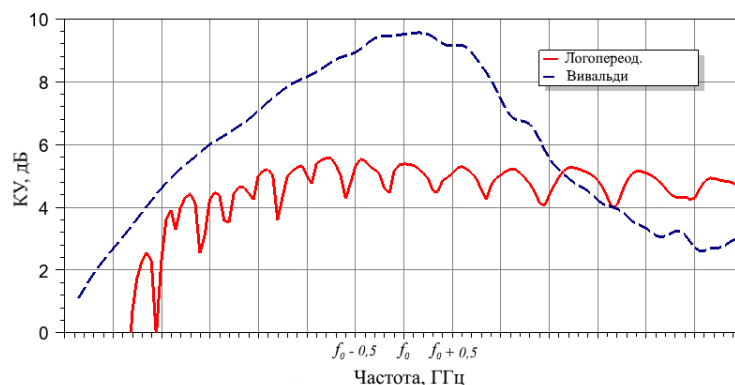


Рисунок 5. Коэффициент усиления антенн от частоты

Из результатов электродинамического моделирования на рисунке 3 видно, что КСВН логопериодической антенны не превышает 2 во всём исследуемом частотном диапазоне, в свою очередь антенна Вивальди на низких частотах уровень КСВН превышает значения 2, но не превышает 2,5. Формирование диаграммы направленности (рисунок 4) логопериодической антенны стабильно в полосе частот от L до С диапазона, при этом стабильное формирование диаграммы направленности антенны Вивальди начинается примерно с частоты примерно $f_0 - 3,3$ ГГц. Уровень коэффициента усиления, изображённый на рисунке 5, логопериодической антенны не превышает значения в 2 дБ примерно после середины L диапазона частот и колеблется в значениях примерно от 4 до 5 дБ во всём диапазоне после L диапазона. При этом КУ антенны Вивальди менее стабильный в исследуемом диапазоне, но после 700 МГц не опускается ниже уровня в 2 дБ.

Исходя из результатов электродинамического моделирования и расчетов было принято решение, что антенну Вивальди можно дополнить ещё одной подобной по типу, рассчитанной на более высокие частоты и имеющую меньшие габариты. Это обеспечило получение одинаковых по ширине ДН почти во всём требуемом диапазоне рабочих частот.

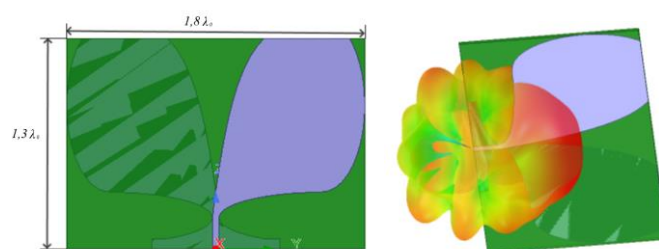


Рисунок 6. Модель и 3D ДН антенны Вивальди меньших габаритов

Материал диэлектрической подложки FR-4 с коэффициентом диэлектрической проницаемости равным 4,4 и тангенсом угла потерь 0,02, толщина подложки 2 мм.

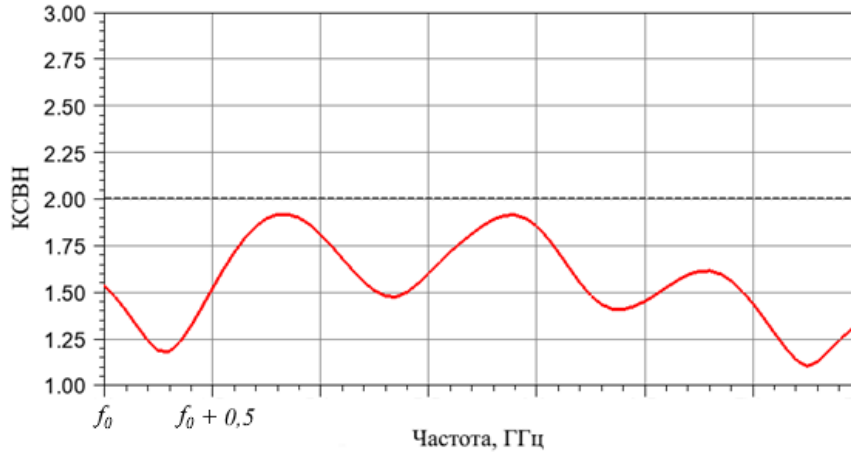


Рисунок 7. КСВН антенны Вивальди меньших габаритов от частоты.

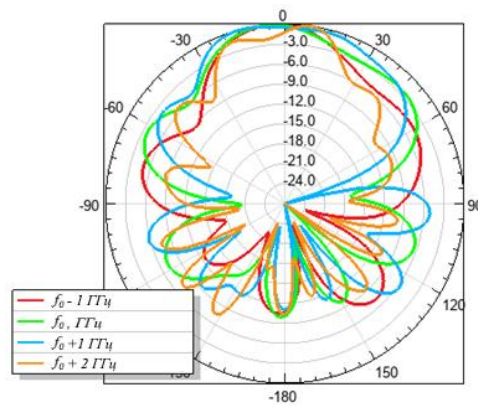


Рисунок 8. ДН антенны Вивальди меньших габаритов в азимутальной плоскости на разных частотах рабочего диапазона.

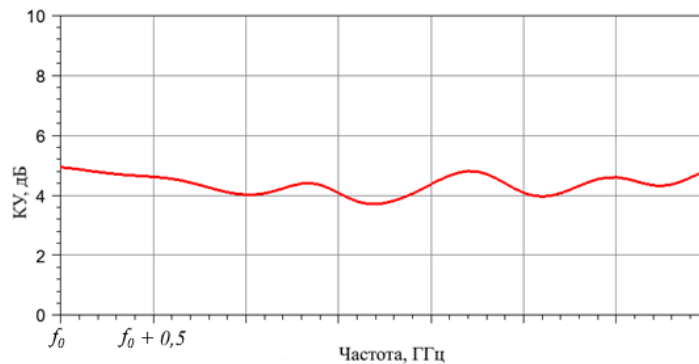


Рисунок 9. Коэффициент усиления антенны Вивальди меньших габаритов от частоты.

Как можно увидеть из результатов электродинамического моделирования маленькой антенны Вивальди, её КСВН не превышает 2 во всём диапазоне от 4 до 7,5 ГГц, коэффициент усиления антенны колеблется в районе 4 дБ и диаграммы направленности формируются стабильно с углом ДН в азимутальной плоскости по уровню минус 3 дБ не менее 40 градусов. При этом в большой антенне Вивальди начиная с 4 ГГц угол ДН составляет менее 36 градусов по уровню минус 3 дБ.

3. Заключение

По результатам исследования было разработано два типа измерительных сверхширокополосных антенн в диапазонах частот от Р до С диапазонов. Проведено их электродинамическое моделирование и расчёт.

Анализ результатов электродинамического расчёта и их сравнение показали, что тип логопериодической антенны имеет стабильный уровень КСВН и КУ в диапазоне от 2 ГГц. При этом требуемый вид ДН антенны начинает формироваться только в L диапазоне частот и имеет стабильную ширину во всём исследуемом диапазоне. Но на более низких частотах ниже L диапазона эффективность этой антенны заметно снижается.

В свою очередь антенна Вивальди также показала стабильный уровень КСВН, но уровень КУ на более высоких частотах снижается, а ДН обужаются, что потребовало разработать дополнительную антенну аналогичного типа для более высоких частот.

Список литературы

1. Кузнецов А. В., Петров С. И. Сверхширокополосные антенные системы: теория и практика. – 2-е изд. – Москва: Радио и связь, 2021. – 312 с.
2. Иванов Д. С., Сидоров М. В. Проектирование широкополосных микрополосковых антенн для лабораторных испытаний. // Сборник материалов международной конференции «Актуальные проблемы радиотехники и связи». – Санкт-Петербург: СПбГТУ, 2019. – С. 112-119.
3. Карась И. В. Практикум по измерениям параметров широкополосных антенн в лабораторных условиях. – 1-е изд. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2024. – 184 с.
4. Boos J. H., Jones J. J. Design of Log-Periodic Dipole Arrays for Ultra-Wideband Applications // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2007. Vol. 55, No. 9. P. 2395-2402. DOI 10.1109/TAP.2007.902331.
5. Кутс В. А., Фролов В. В. Логопериодические печатные антенны: расчёт и экспериментальное исследование // Вестник Московского авиационного института. 2021. № 1. С. 78-85.
6. Кузнецов В. А., Иванов А. П. Вивальди-антенна на гибкой печатной плате: моделирование и измерения // Электронная техника. 2022. № 4. С. 112-119.
7. Нефёдов Е. И. Техническая электродинамика: учебное пособие // М.: ИЦ «Академия». – 2008.
8. Малышев В. А., Червяков Г. Г., Лабынцев В. А. Основы электродинамики и микроволновой техники // учебное пособие / ВА Малышев, ГГ Червяков, ВА Лабынцев. – Таганрог: ТТИ ЮФУ. – 2008.
9. Григорьев А. Д. Электродинамика и техника СВЧ. – 1990.