

Двухрезонансная антенна L-диапазона круговой поляризации

А. С. Антонов, Е. Л. Капылов
АО «НПП «Радар ммс»

УДК 621.37

Аннотация. В докладе приведены результаты разработки двухрезонансной микрополосковой антенны L-диапазона. Антенна состоит из двух резонаторов на основе керамических материалов. Представлены результаты электродинамического моделирования разработанной антенны.

Ключевые слова: микрополосковые антенны, L-диапазон, круговая поляризация

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной является задача создания малогабаритной антенны L-диапазона для использования в составе малоэлементных антенных решеток. Диапазон L используется для наземной и спутниковой радиосвязи, спутниковых систем навигации [1–7], мобильной связи стандарта GSM, спутниковых телефонов и др. Основной задачей конструктивного синтеза антенн L-диапазона является уменьшение габаритов при сохранении ключевых электродинамических характеристик.

II. АНАЛИЗ

К антеннам L-диапазона навигационных приемников предъявляется ряд сложных и противоречивых требований: с одной стороны, (ДН) в секторе углов $0...360^\circ$ по азимуту и $0...90^\circ$ по элевации должна быть изотропна для приема сигналов со всех видимых спутников; с другой стороны, требуется пространственная фильтрация приходящих с углов элевации $85...90^\circ$ переотражений и помех. Компромиссом является требование изотропности ДН в секторе углов $0...360^\circ$ по азимуту и $0...85^\circ$ по элевации. Также к антеннам НАП предъявляются базовые требования:

- волновое сопротивление тракта питания, как правило, должно составлять 50 Ом;
- коэффициент стоячей волны не более 2;
- поляризация круговая, правого вращения;
- коэффициент эллиптичности не более 3 дБ.

Данным требованиям удовлетворяют два вида антенн: микрополосковые антенны типа «патч» и спиральные антенны, реализованные в планарном или объемном виде.

Спутники ГНСС осуществляют передачу в нескольких диапазонах. Многодиапазонность ГНСС повышает точность навигации за счет уменьшения

влияния ошибок, вызванных искажениями из-за переотражений сигнала и атмосферных помех и за счет компенсации влияния ионосферы [8]. Стоимость и размер многодиапазонных приемников ГНСС быстро уменьшаются [9].

В последнее десятилетие широкое применение находят мультисистемные приемники ГНСС – приемники, обеспечивающие работу по двум и более ГНСС. К преимуществам таких приемников можно отнести увеличенную по сравнению с односистемными точность позиционирования [10]. Однако у мультисистемных приемников существует ряд недостатков [11]. В этих условиях актуальной становится задача создания приемной аппаратуры, работающей только по сигналам ГЛОНАСС.

Процедура фазовой пеленгации источников сигналов с мощностью в точке приема ниже уровня белого шума может осуществляться корреляционным методом, используя взаимную корреляционную функцию сигнала с одного и того же источника на разные элементы антенной решетки, либо ортогональным методом после процедуры поиска автокорреляционной функции сигнала в приемнике [12]. В обоих случаях диапазон измерения разности фаз будет составлять $\pm\pi/2$. Сектор однозначного определения угла места в данной задаче должен составлять не менее $\pm 90^\circ$, что при реализуемом диапазоне измерения разности фаз накладывает верхнее ограничение на межэлементное расстояние в антенной решетке – одна четверть длины волны диапазона $L1$. Максимальный размер одиночного элемента антенной решетки не должен превышать $0,21\lambda(L1)$, с учетом того, что антенны на раскрыве не должны располагаться вплотную друг к другу.

Согласно результатам моделирования в CST Studio 2024, в первом приближении размер стороны подложки микрополосковой антенны можно определить по формуле:

$$l_{\text{п}} \approx \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon}}, \quad (1)$$

где $l_{\text{п}}$ – длина стороны подложки, λ – длина волны, ϵ – диэлектрическая проницаемость подложки. На рис. 1 выделены значения или области значений диэлектрических проницаемостей различных отечественных материалов, используемых при изготовлении печатных антенн или устройств СВЧ на основе микрополосковых линий передачи. Видно, что требование по габаритным размерам антенны выполняется при выборе керамики в качестве материала подложки.

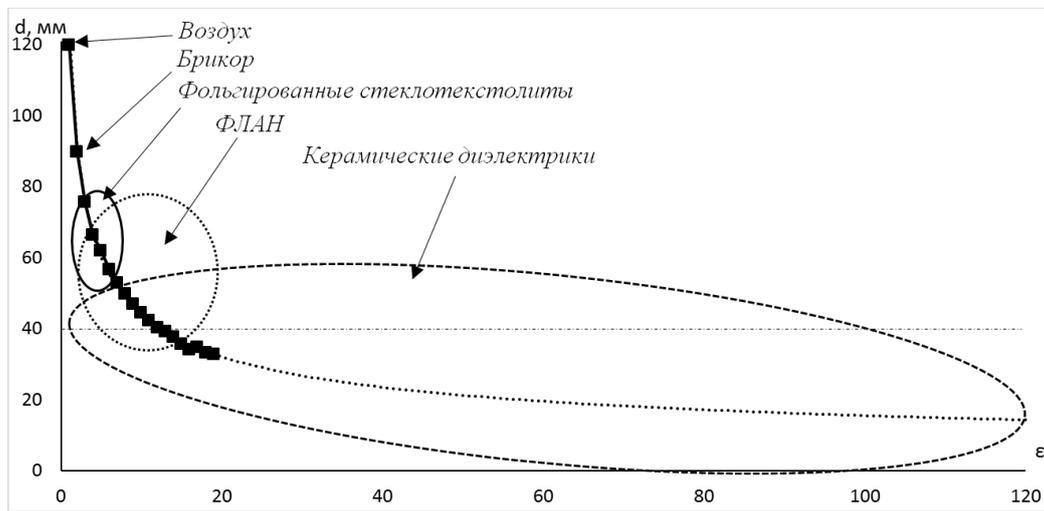


Рис. 1. Зависимость длины стороны подложки микрополосковой антенны диапазона L от диэлектрической проницаемости подложки

Внешний вид модели разработанной антенны представлен на рис. 2а. Антенна представляет собой два квадратных печатных элемента, размещенных на двух слоях керамической подложки. Подложка, толщиной $0,02\lambda(L1)$ для каждого слоя, выполнена из керамики со значением диэлектрической проницаемости, равным 25. Диаметры верхней и нижней подложки равны $0,16\lambda(L1)$ и $0,16\lambda(L2)$ соответственно. Круговая поляризация достигается за счет вырезов в углах печатных элементов. Питание нижнего печатного элемента емкостное, реализовано через переходное отверстие в элементе. Для дополнительной подстройки после изготовления на ребрах печатных элементов предусмотрены подстроечные топологические элементы. На рис. 2б представлена частотная зависимость коэффициента отражения от входа антенны на фоне частотной зависимости коэффициента отражения типовой спиральной антенны L-диапазона, полученная в ходе электродинамического моделирования. При условии

одинаковой сигнально-помеховой обстановки, для одного и того же приемника, мощность шумов на входе будет определяться как:

$$P = kT_a \Delta f, \quad (2)$$

где T_a – шумовая температура антенны, Δf – полоса пропускания антенны. Шумовая температура антенны есть величина, зависящая от коэффициента направленного действия антенны, формы ее ДН и внешней сигнально-помеховой обстановки. Поскольку патчи и спиральные антенны являются ненаправленными антеннами с диаграммой направленности (ДН), стремящейся к изотропной в верхней полусфере пространства, разница мощности шума на входе приемника определится только разницей полос пропускания антенн. Таким образом, использование резонансных микрополосковых антенн позволит уменьшить мощность шума на входе приемника на величину порядка 9 дБ.

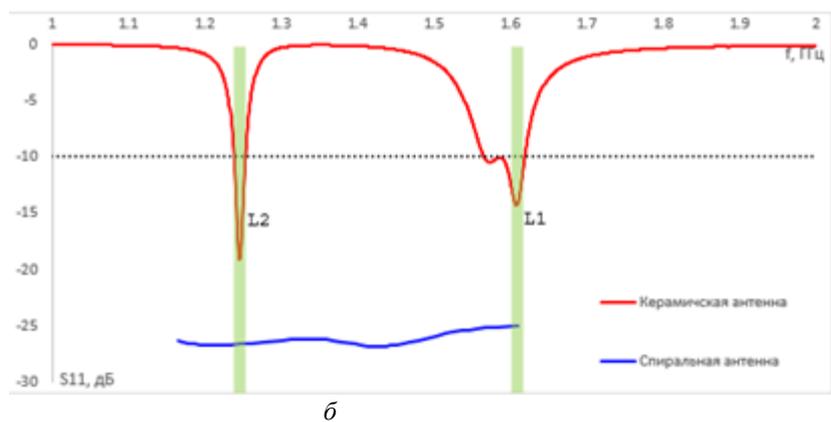
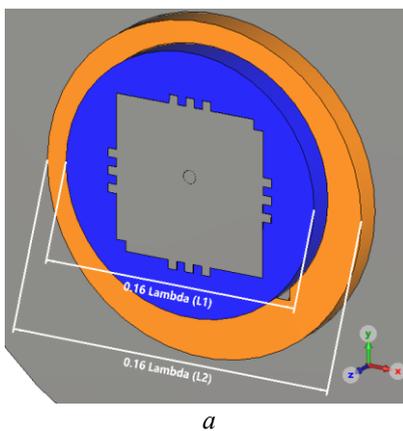


Рис. 2. (а) Разработанная антенна; (б) Частотная зависимость коэффициента отражения от входа антенны

На рис. 3 приведены трехмерные ДН разработанной антенны. Для диапазонов L1 и L2 коэффициент усиления (КУ) антенны не менее 3 дБ, ширина ДН не

менее 100 градусов, коэффициент эллиптичности (КЭ) не более 3 дБ.

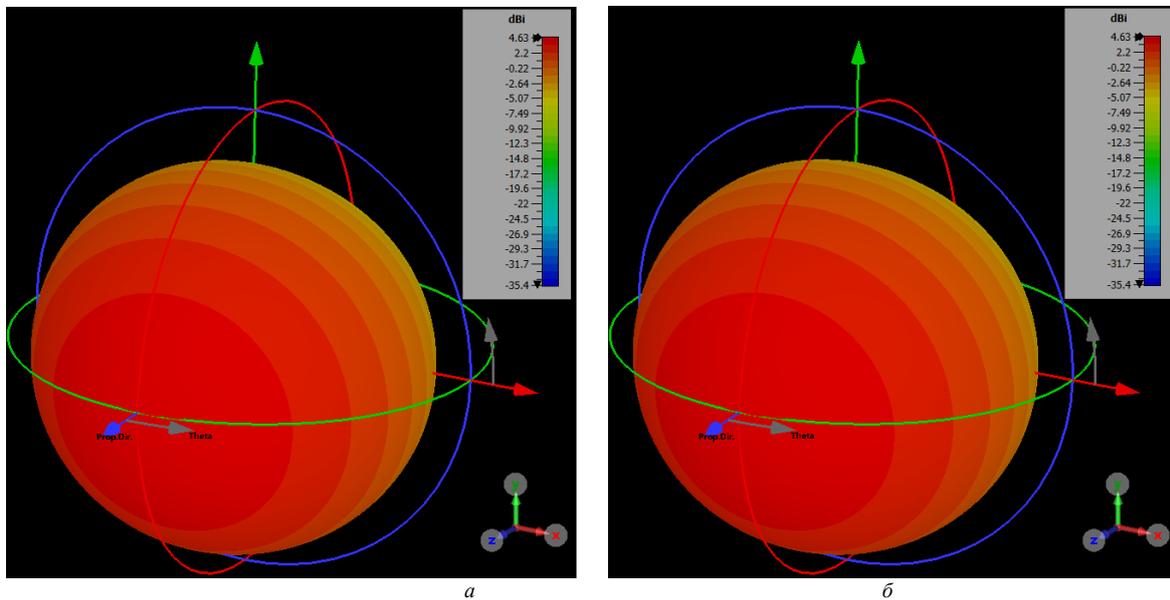


Рис. 3. Трехмерные ДН антенны на частоте (а) L1 и (б) L2

Под фазовым центром антенны обычно понимают точку, относительно которой фазовая ДН антенны изотропна. Однако на практике у большинства антенн такой точки не существует. Условным фазовым центром называют точку, относительно которой девиация фазовой диаграммы минимальна. Существует зависимость координат фазового центра от направления прихода плоской волны. В иностранной литературе такая характеристика называется *PCV* – *phase center variant*. *PCV* определяется как [13]:

$$PCV = Phase \cdot \lambda, \quad (3)$$

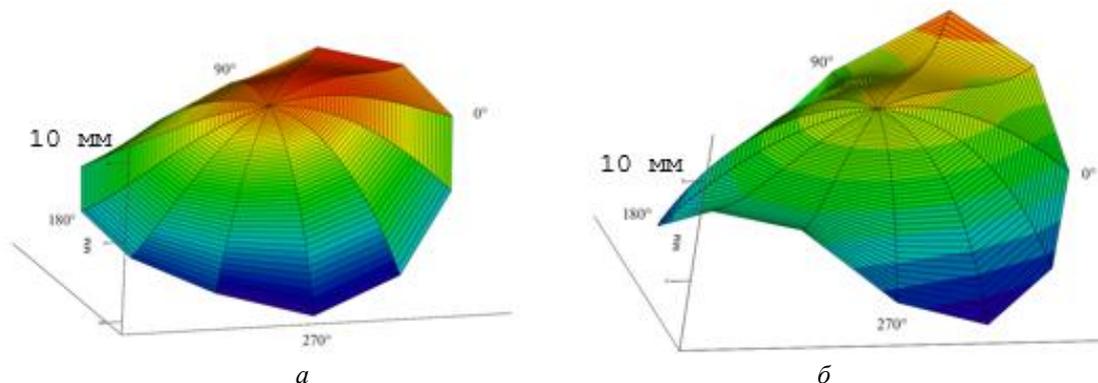


Рис. 4. PCV антенны на частоте L1 (а) и L2 (б)

Среди изготавливаемых промышленно антенн со схожими характеристиками можно привести, например, китайскую YI XUN L1&L5. Габаритные размеры нижней подложки $0,01\lambda(L2)$. В РФ серийно производимых аналогов данной антенны не существует.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ антенн, производимых отечественной и зарубежной промышленностью выявил, что компактные двухдиапазонные антенны L-диапазона отечественной промышленностью не производятся. В этой связи был предложен вариант конструкции двухдиапазонной антенны на основе керамического объемного резонатора и проведено его электродинамического моделирование. Разработанная антенна удовлетворяет требованиям,

где *Phase* – значение фазовой диаграммы в некотором угловом направлении. Для антенн ГНСС минимизация PCV является важной задачей, так как данная характеристика влияет на точность навигации. На рис. 4 представлены характеристики PCV для разработанной антенны, максимальное значение отклонения фазового центра не превышает 11 мм.

предъявляемым к типовому антенному элементу решетки L-диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / [Р.В. Бакитко и др.]; под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 3-е, перераб. Москва: Радиотехника, 2005. 687 с.
- [2] ИАЦ КВНО АО «ЦНИИМаш». URL: WWW.GLONASS-IAC.RU
- [3] Военно-техническая подготовка. Военно-технические основы построения средств и комплексов РЭП: учебник / А.С. Осипов; под науч. ред. Е.Н. Гарина. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 344 с.
- [4] Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под ред. Ю.М. Перунова. М.: «Радиотехника», 2003. 416 с.: ил.

- [5] Комплексная модель цифровой антенной решетки спутниковых радионавигационных систем на корпусе летательного аппарата / А.В. Ряполов, Д.А. Гредяев, О.В. Юрченко, Н.В. Фамбулов // Радиотехника, электроника и связь: Сб. докл. V Международной научно-технической конференции, Омск, 07–09 октября 2019 года. Омск: Омский научно-исследовательский институт приборостроения, 2019. С. 163-170.
- [6] Немов А.В. Цифровые антенные решетки: новое качество спутниковых радионавигационных систем. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 160 с.
- [7] Антонов А.С., Капылов Е.Л. Моделирование работы двухчастотной антенной решетки навигационной аппаратуры потребителя ГЛОНАСС в условиях воздействия имитационной помехи // Вопросы радиоэлектроники. 2021. № 3. С. 14-25.
- [8] Бетанов В.В. Метод высокоточного позиционирования потребителей информации спутниковых систем / В.В. Бетанов, В.Е. Вовасов, А.В. Воропаева // Правовая информатика. 2020. № 3. С. 53-64.
- [9] Хортон М. Станет ли двухдиапазонность суперсилой GPS? // Беспроводные технологии. 2020. №1. С. 28-30.
- [10] Проектирование модели мобильного мультисистемного ГНСС-приемника с возможностью точного позиционирования методами PPP и дифференциальной коррекции / А.О. Куприянов, А.С. Корчагин, Д.Ю. Алибин, Д.А. Морозов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 1. С. 93-98.
- [11] Вокин Г.Г. Концептуальные основы обеспечения защиты позиционирования стационарных и мобильных объектов по данным космических систем глобальной навигации в условиях навигационного противодействия // Информационно-технологический вестник. 2019. № 4(22). С. 9-16.
- [12] Чмых М.К. Цифровая фазометрия. М.: Радио и связь, 1993. 184 с.: ил.
- [13] Ran Liu, Daniel N. Alois Dual band GNSS antenna phase center characterization for automotive applications // International Journal of Antennas (JANT) Vol.7, No.2/3/4, October 2021