

УДК 621.396.6

В.М. ВЛАДИМИРОВ, А.С. КОНДРАТЬЕВ, Ю.В. КРЫЛОВ, В.В. МАРКОВ, П.М. ФЕДОТОВ, В.Н. ШЕЛОВ

НАВИГАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЕЛЕВОЙ ПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ ВЫТЕКАЮЩЕЙ ВОЛНЫ

Исследованы зависимости технических характеристик щелевой полосковой антенны вытекающей волны от угла возвышения и азимутального угла принимаемого навигационного сигнала. Показано, что применение дополнительных щелей с малой электрической длиной, расположенных между основными щелевыми излучателями и выполненных в виде концентрических дуг вокруг единого фазового центра антенны, приводит к улучшению эллиптичности и подавлению кросс-поляризации в требуемом диапазоне рабочих углов антенны. Антенна предназначена для приема навигационных сигналов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS в трех частотных диапазонах: $L1/L2/L3$.

Ключевые слова: щелевая полосковая антенна, ГЛОНАСС/GPS, частотные диапазоны $L1$, $L2$ и $L3$.

Введение

Для точных метрологических приложений глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS к приемной антенне предъявляются более жесткие требования по основным техническим характеристикам: углу принимаемого навигационного сигнала с правой круговой поляризацией, коэффициенту усиления, стабильности фазового центра, коэффициенту эллиптичности, уровню кросс-поляризации, подавлению заднего лепестка.

Широко известна приемная антенна ГНСС [1], которая наиболее полно удовлетворяет вышеперечисленным требованиям. Для подавления многолучевости антенна окружена экранирующими цилиндрическими кольцами. Однако такая антенна объемная, тяжелая и дорогостоящая.

Микрополосковые спиральные антенны [2] широкополосны, имеют широкую диаграмму направленности (ДН). Однако фазовая характеристика таких антенн в азимутальной плоскости неравномерна. Это вносит фазовые искажения в зависимости от направления приема навигационного сигнала.

Микрополосковые антенны на основе двухмодовых излучателей (квадратных, круглых, кольцевых и т.д.) [3] обладают стабильным фазовым центром, широкой ДН. Однако такие антенны – узкополосные.

Для приема навигационных сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS в частотных диапазонах $L1/L2/L3$ широкое распространение получили щелевые полосковые антенны вытекающей волны [4]. Несомненными достоинствами данных антенн являются широкополосность, широкая ДН, единый фазовый центр для частотных диапазонов $L1/L2/L3$, небольшие габаритные размеры и вес, а также печатная технология изготовления.

В работе [5] для улучшения технических характеристик щелевой полосковой антенны вытекающей волны предложено применить дополнительные щели, электрическая длина которых в несколько раз меньше половины длины волны на самой высокой рабочей частоте антенны. Рассмотрены частотные зависимости технических характеристик антенны. Показано, что применение дополнительных щелей, выполненных между основными щелевыми излучателями в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра антенны, приводит к выравниванию частотной зависимости коэффициента усиления, улучшению эллиптичности и увеличению подавления кросс-поляризации во всех рабочих диапазонах частот антенны.

В настоящей работе исследовано влияние дополнительных щелей на технические характеристики щелевой полосковой антенны вытекающей волны в зависимости от угла возвышения Θ и азимутального угла φ принимаемого навигационного сигнала.

Излучатель щелевой полосковой антенны

На рис. 1 показана топология разработанного излучателя щелевой полосковой антенны вытекающей волны. Излучатель выполнен из диэлектрической пластины толщиной 1,524 мм, диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3,3$ и двухсторонней металлизацией. Диаметр излучателя 145 мм. На нижней стороне излучателя выполнена подводящая микрополосковая линия (МПЛ) 1. Для установления режима бегущей волны МПЛ нагружена на активное сопротивление 2, равное волновому сопротивлению линии. В верхней металлизированной стороне излучателя созданы основные щелевые излучатели 3. Для приема сигнала с правой круговой поляризации основные щелевые излучатели выполнены в виде отрезков спиралей, закрученных вокруг геометрического центра антенны. Резонансные частоты основных щелевых излучателей настроены поочередно на частотные диапазоны $L1$ и $L2 + L3$. Для лучшего согласования с подводящей линией щелевые излучатели в области связи с МПЛ 4 выполнены прямолинейными. Между основными щелевыми излучателями выполнены дополнительные щели, электрическая длина которых в несколько раз меньше половины длины волны на самой высокой рабочей частоте антенны 5. Дополнительные щели выполнены в виде концентрических дуг вокруг единого фазового центра антенны, совпадающего с ее геометрическим центром.

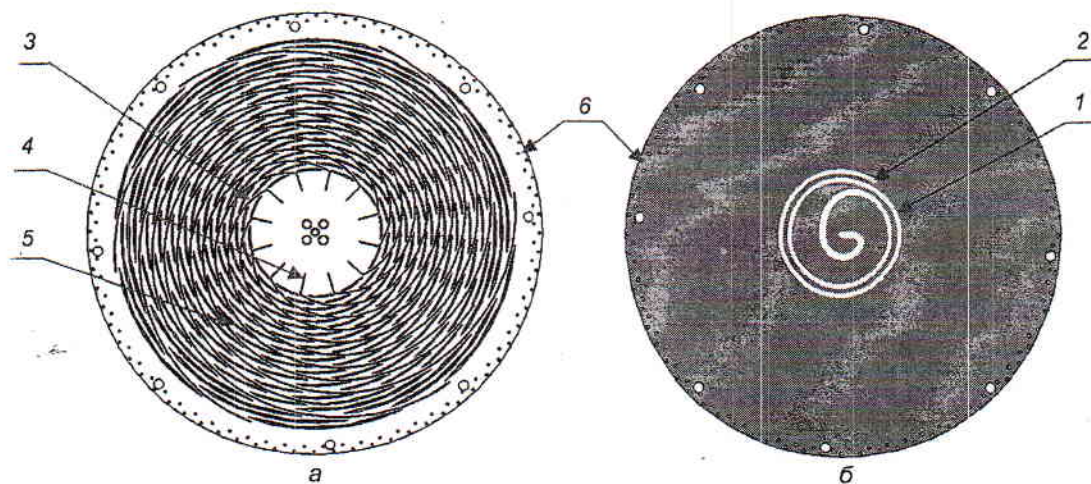


Рис. 1. Верхняя (а) и нижняя (б) стороны излучателя антенны

Для подавления поверхностных волн по краю антенны выполнены два ряда металлизированных отверстий 6. Расстояние между отверстиями меньше одной десятой длины волны на самой высокой частоте рабочего диапазона антенны.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведены измеренные значения КСВН антенны без дополнительных щелей (квадратики) и с дополнительными щелями меньшей электрической длины (кружки). Из рисунка видно, что характер частотных зависимостей КСВН обеих антенн в диапазоне частот $L1/L2/L3$ одинаковый. Измеренные значения КСВН не превышают 1,5. Следовательно, создание в излучателе антенны дополнительных щелей с меньшей электрической длиной практически не повлияло на согласование основных щелевых излучателей антенны с подводящей МПЛ в частотных диапазонах $L1/L2/L3$.

На рис. 3 приведены рассчитанные угловые зависимости G ДН антенны без дополнительных щелей (пунктирная линия) и антенны с дополнительными щелями (сплошная линия) в вертикальной плоскости на основной несущей частоте навигационного сигнала ГЛОНАСС в диапазоне $L2$ (1246 МГц). Видно, что ДН антенн практически совпадают и по характеру угловых зависимостей, и по абсолютным значениям коэффициента усиления.

На рис. 4 и 5 приведены рассчитанные угловые зависимости коэффициентов эллиптичности (A.R.) и уровней кросс-поляризации (X-pol) антенн на частоте 1246 МГц. Пунктирная линия – антенна без дополнительных щелей, сплошная – антенна с дополнительными щелями. Из рисунков

видно, что применение дополнительных щелей приводит к улучшению эллиптичности (рис. 4) и увеличению подавления кросс-поляризации (рис. 5). Кроме того, угловые зависимости коэффициента эллиптичности и кросс-поляризации становятся более равномерными вблизи зенита ДН антенны.

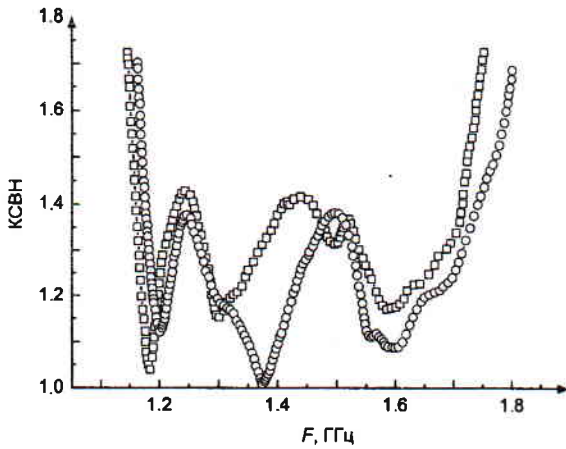


Рис. 2. КСВН антенн

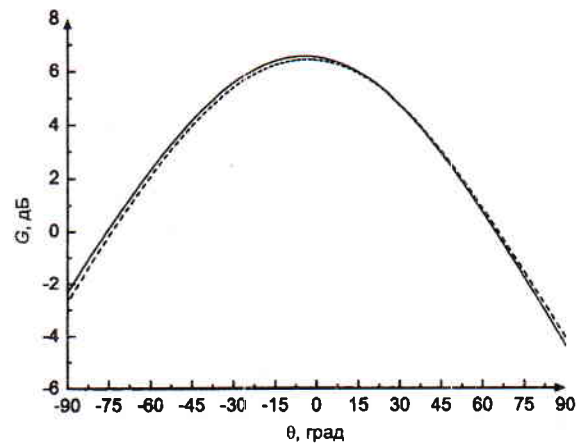


Рис. 3. ДН антенн в вертикальной плоскости

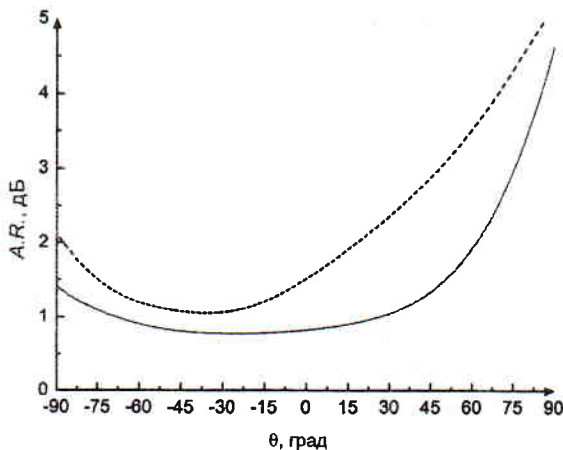


Рис. 4. Коэффициенты эллиптичности антенн

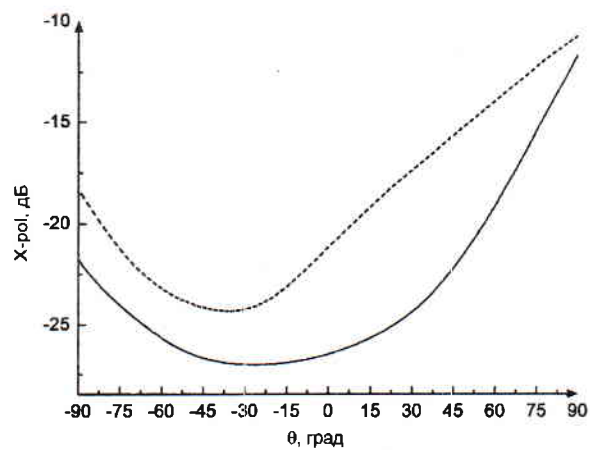


Рис. 5. Кросс-поляризация антенн

На рис. 6 приведены рассчитанные фазовые ДН антенн, где a – зависимость фазы сигнала (ψ) от угла возвышения Θ и азимутального угла φ на частоте 1246 МГц для антенны с дополнительными щелями; b , v , z – сравнение фазовых ДН антенны без дополнительных щелей (крестики) и с дополнительными щелями (точки) на центральных частотах диапазонов $L1$, $L2$ и $L3$ в диапазоне углов $\Theta = \pm 85^\circ$ и $\varphi = \pm 180^\circ$, где $\Theta = 0$ – зенит ДН антенны. Из рис. 6 видно, что неравномерность фазовой ДН антенны с дополнительными щелями сравнима с неравномерностью фазовой ДН антенны без дополнительных щелей в диапазоне $L1$ и меньше в диапазонах $L2$ и $L3$.

Для выявления причин улучшения технических характеристик щелевой полосковой антенны вытекающей волны рассмотрим влияние дополнительных щелей на распределение сверхвысокочастотного тока на основных щелевых излучателях.

На рис. 7 показан фрагмент антенны с распределением тока по ее поверхности: a – антенна без дополнительных щелей; b – антенна с дополнительными щелями. Из рисунка видно, что применение дополнительных щелей в виде концентрических дуг, расположенных вокруг единого фазового центра антенны, позволяет равномернее распределить линии тока вдоль основных щелевых излучателей, что приводит к улучшению технических характеристик антенны.

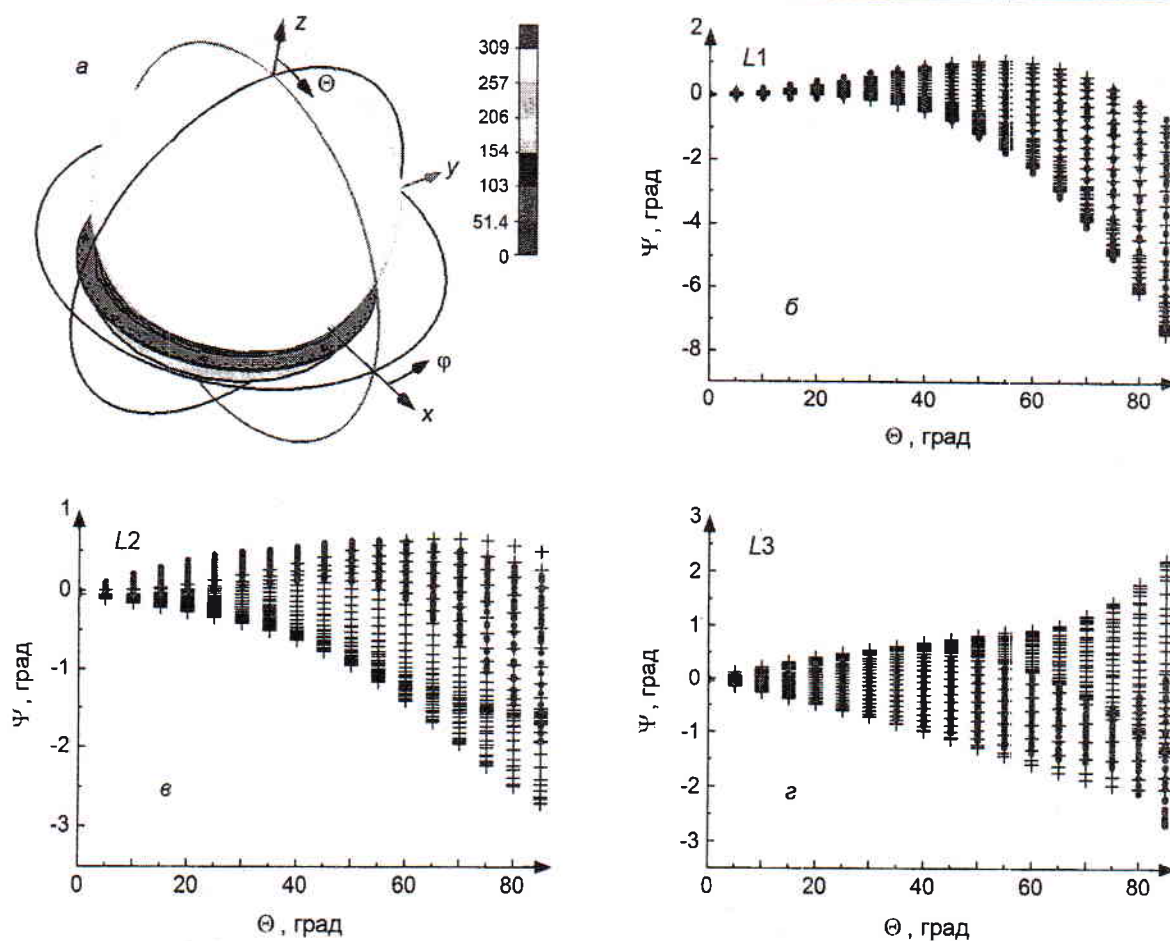


Рис. 6. Фазовые ДН антенн

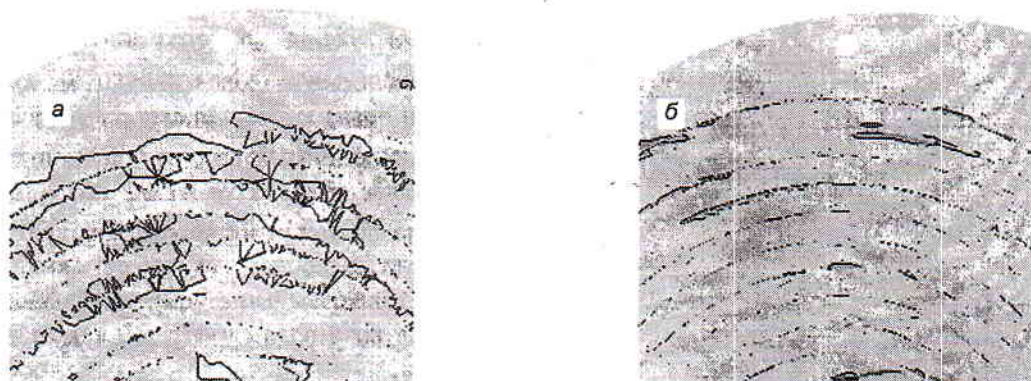


Рис. 7. Фрагмент антенны с распределением сверхвысокочастотного тока на основных щелевых излучателях

Заключение

Таким образом, в настоящей работе исследованы зависимости технических характеристик щелевой полосковой антенны вытекающей волны с правой круговой поляризацией от угла возвышения и азимутального угла принимаемого навигационного сигнала. Показано, что введение дополнительных щелей с малой электрической длиной, выполненных между основными щелевыми излучателями в виде концентрических дуг вокруг фазового центра антенны, приводит к улучшению эллиптичности и подавлению кросс-поляризации в диапазоне рабочих углов антенны. Улучшение угловых зависимостей технических характеристик антенны обусловлено тем, что благодаря

дополнительным щелям пучности тока в основных щелевых излучателях антенны распределены равномернее по их длине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sciré-Scarpuzzo F. and Makarov S.N. // IEEE Trans. Antennas Propag. – 2009 – V. 57. – No. 1. – P. 33.
2. Strutzman W.L. and Thiele G. A. Antenna Theory and Design, 2nd ed. – New York: John Wiley & Sons Inc., 1998. – 648 p.
3. Garg R., Bhartia P., Bahl I., and Ittipiboon A. Microstrip Antenna Design Handbook. – Boston, London: Artech House, 2001. – 845 p.
4. Kunysz W. Aperture coupled slot array antenna // Patent 0067315A1 U.S. Appl. No. 09/375319; Filed: 16 Aug. 1999; Pub. Date: 6 Jun. 2002.
5. Владимиров В.М. и др. // Антенны. – 2012 (в печати).

Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
E-mail: shepov@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 15.06.12.

Владимиров Валерий Михайлович, к.ф.-м.н., зав. отделом;
Кондратьев Александр Сергеевич, инженер;
Крылов Юрий Валерьевич, магистрант;
Марков Владимир Витальевич, к.ф.-м.н., науч. сотр.;
Федотов Павел Михайлович, ведущ. инженер;
Шепов Владимир Николаевич, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.