

---

---

# Антенны для космических аппаратов

---

---

УДК 621.396.6

## Щелевая полосковая антенна вытекающей волны с дополнительными щелями с малой электрической длиной

© Авторы, 2012

**В. М. Владимиров** – к. ф.-м. н., зав. отделом радиотехники и электроники при Президиуме Красноярского научного центра СО РАН

E-mail: vlad@ksc.krasn.ru

**А. С. Кондратьев** – инженер, отдел радиотехники и электроники при Президиуме Красноярского научного центра СО РАН

E-mail: 209alexandr@mail.ru

**Ю. В. Крылов** – магистрант, Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

E-mail: krylov\_yuriy@inbox.ru

**В. В. Марков** – к. ф.-м. н., науч. сотрудник, отдел радиотехники и электроники при Президиуме Красноярского научного центра СО РАН

E-mail: bob@iph.krasn.ru

**П. М. Федотов** – вед. инженер, отдел радиотехники и электроники при Президиуме Красноярского научного центра СО РАН

E-mail: fpm1@mail.ru

**В. Н. Шепов** – к. ф.-м. н., ст. науч. сотрудник, отдел радиотехники и электроники при Президиуме Красноярского научного центра СО РАН

E-mail: shepov @ksc.krasn.ru

---

Предложен метод улучшения технических характеристик щелевой полосковой антенны вытекающей волны с правой круговой поляризацией. Метод заключается в создании между основными щелевыми излучателями антенны дополнительных щелей, электрическая длина которых в несколько раз меньше половины длины волны на самой высокой рабочей частоте антенны. Дополнительные щели выполняются в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра антенны. Показано, что введение дополнительных щелей приводит к выравниванию частотной зависимости коэффициента усиления антенны, улучшению эллиптичности, подавлению кросс-поляризации и стабилизации фазовых центров антенны. Антенна предназначена для приема навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS в трех частотных диапазонах:  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$ .

**Ключевые слова:** щелевая полосковая антенна, щелевые излучатели, антенна ГЛОНАСС/GPS, антенна вытекающей волны, частотные диапазоны:  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$ .

A method for improving technical specifications of a patch slot leaky-wave antenna with the right-hand circular polarization is proposed. The method is to create additional slots between the main slot radiators, with their electrical length being several times shorter than half wavelength at the highest operating frequency of the antenna. The additional slots are implemented as concentric arcs around the geometric center of the antenna. It is shown that introducing additional slots results in equalizing the frequency dependence of the antenna gain, improved axial ratio, suppression of the cross-polarization and stabilization of the antenna phase center. The antenna is designed for receiving GLONASS/GPS navigation signals in three frequency bands:  $L1$ ,  $L2$  and  $L3$ .

**Keywords:** patch slot antenna, slot radiators, GLONASS/GPS antenna, leaky-wave antenna, frequency ranges:  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$ .

**Введение.** Технические требования к приемным антеннам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS различаются в зависимости от назначения приемников. Для точных метрологических приложений ГЛОНАСС/GPS, использующих фазовые измерения, к приемной антенне предъявляются более жесткие требования по минимальному углу принимаемого навигационного сигнала с правой круговой поляризацией, коэффициенту усиления, стабильности фазового центра, коэффициенту эллиптичности, уровню кросс-поляризации, подавлению заднего лепестка. При этом антенна должна иметь небольшие размеры и массу.

Среди приемных антенн ГНСС ГЛОНАСС / GPS данного класса точности в частотных диапазонах  $L1/L2$  хорошо зарекомендовали себя щелевые полосковые антенны вытекающей волны [1,2]. Несомненными достоинствами данных антенн являются широкая диаграмма направленности (ДН), сравнительно широкая рабочая полоса частот, единый фазовый центр для частотных диапазонов  $L1/L2$ , небольшие габаритные размеры и масса, а также печатная технология изготовления.

Излучающими элементами такой антенны являются щели, выполненные в верхней металлизированной стороне излучателя. Резонансные частоты щелевых излучателей поочередно настраива-

ются на частотные диапазоны  $L1$  и  $L2$ . Возбуждение щелевых излучателей осуществляется с помощью подводящей микрополосковой линии (МПЛ) [3], настраивающейся в режим бегущей волны. При подавлении заднего лепестка ДН в щелевых полосковых антеннах вытекающей волны нужно учитывать необходимость подавления излучения подводимой линии. Поэтому в таких антеннах, как правило, экран выполняется либо в виде полости [4], либо между плоским экраном и антенной применяется СВЧ-поглотитель.

В настоящей работе для улучшения технических характеристик щелевой полосковой антенны вытекающей волны предлагается применить дополнительные щели, которые создаются между основными щелевыми излучателями антенны и выполняются в виде концентрических дуг вокруг ее геометрического центра. Электрическая длина дополнительных щелей в несколько раз меньше половины длины волны на самой высокой рабочей частоте антенны. Сравниваются технические характеристики антенн без дополнительных щелей и с дополнительными щелями. При этом остальные конструктивные параметры антенн идентичны. Рассматривается расширение рабочего диапазона частот обеих антенн до  $L1/L2/L3$ .

**Конструкция щелевой полосковой антенны вытекающей волны.** На рис. 1 показана фотография верхней (а) и нижней (б) сторон излучателя щелевой полосковой антенны вытекающей волны с дополнительными щелями с малой электрической длиной. Излучатель выполнен из диэлектрической пластины с двусторонней металлизацией. Диэлектрическая проницаемость пластины  $\varepsilon = 3,32$ , толщина 1,524 мм, диаметр 145 мм. На нижней стороне излучателя выполнена подводящая МПЛ (1) в форме спирали. Для лучшего согласования МПЛ с возбуждаемыми основными щелевыми излучателями волновое сопротивление МПЛ увеличено до 100 Ом, а параметры спирали рассчитаны таким образом, чтобы МПЛ проходила под каждым основным щелевым излучателем дважды. Для установления режима бегущей волны МПЛ нагружена на активное сопротивление (2), равное волновому сопротивлению линии. Фидер подключен к МПЛ через коаксиально-полосковый переход с волновым сопротивлением 50 Ом (3). Плавный трансформатор волнового сопротивления (4) и общая длина МПЛ оптимизированы для лучшего коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) по входу МПЛ в диапазоне частот 1190 – 1615 МГц.

В верхней металлизированной стороне диэлектрической пластины созданы двенадцать основных щелевых излучателей (5). Для приема сигнала с правой круговой поляризацией они выполнены в виде отрезков спиралей, закрученных вокруг геометрического центра антенны. Для увеличения коэффициента усиления антенна выполнена на резонансных частотах волновой моды колебаний основных щелевых излучателей. Электрические длины щелевых излучателей настроены поочередно на центральные частоты диапазонов  $L1$  и  $L2 + L3$ . При этом их геометрические длины составили 190 и 246 мм соответственно. Ширина щелевых излучателей равна 300 мкм.

Согласно принципу двойственности в щелевых излучателях, работающих на длине волны, устанавливается три пучности СВЧ-тока – одна в центре и две на краях щелей. Связь подводящей МПЛ с основными щелевыми излучателями осуществляется по одному их краю, расположенному в центре антенны. Для равномерного согласования с подводящей МПЛ все двенадцать излучателей в области согласования выполнены прямолинейными 6.

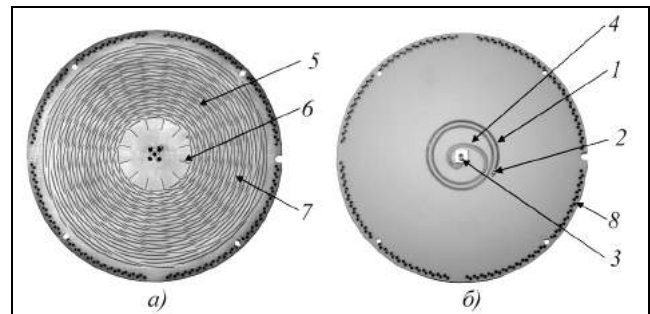


Рис. 1. Фотография верхней (а) и нижней (б) сторон излучателя антенны

Между основными щелевыми излучателями выполнены дополнительные щели (7). Они выполнены в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра антенны. Длина дополнительных щелей увеличивается по мере их приближения к краю антенны. Тем не менее, длина самых длинных дополнительных щелей в 2 раза меньше половины длины коротких основных щелевых излучателей. Поэтому собственные резонансные частоты дополнительных щелей находятся в более высокочастотном диапазоне и не влияют на согласование основных щелевых излучателей с подводящей МПЛ.

Для подавления поверхностных волн по краю антенны выполнены металлизированные отверстия (8). Расстояние между отверстиями меньше одной десятой длины волны на самой высокой частоте ра-

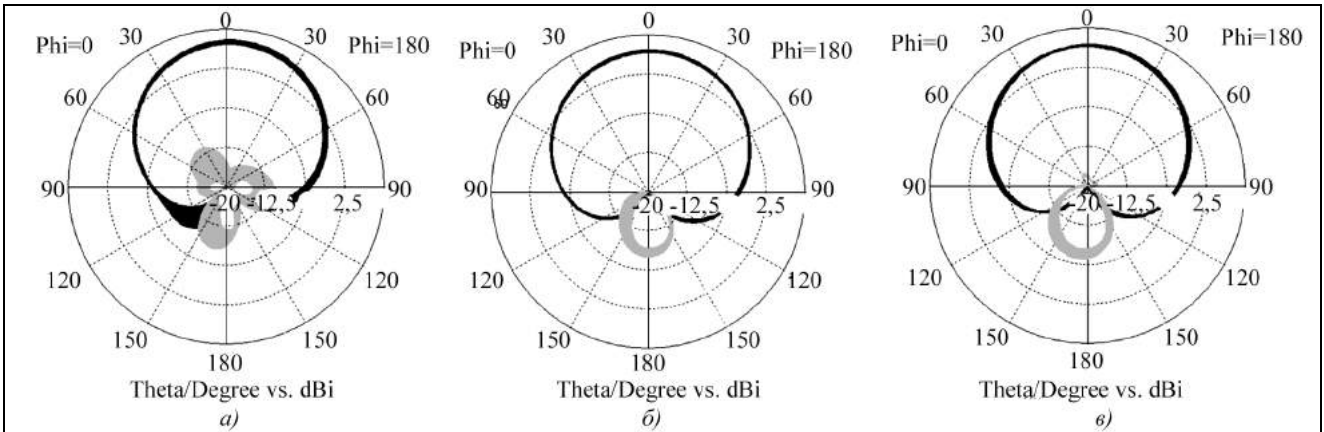


Рис. 2. Рассчитанные ДН антенны в вертикальной плоскости

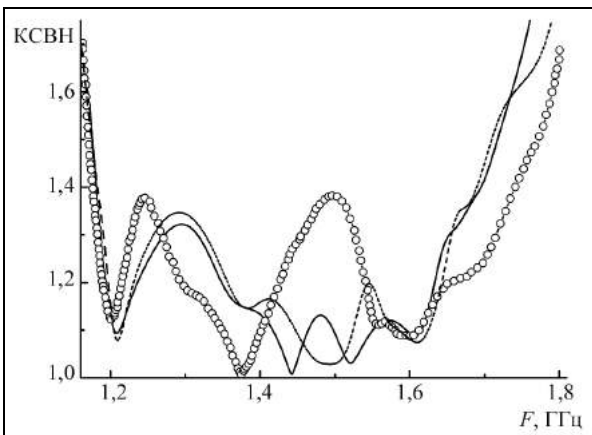


Рис. 3. КСВН антенн

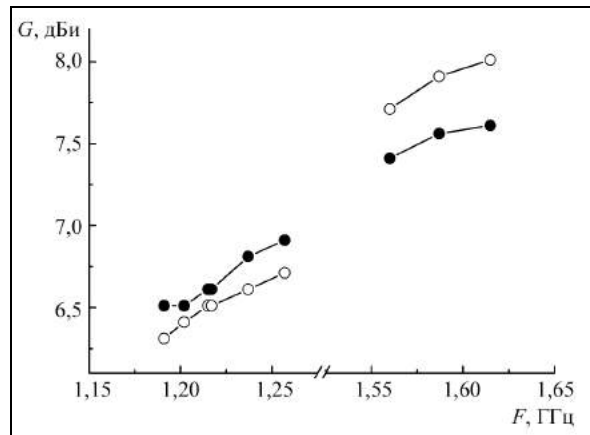


Рис. 4. Графики частотной зависимости коэффициентов усиления антенн

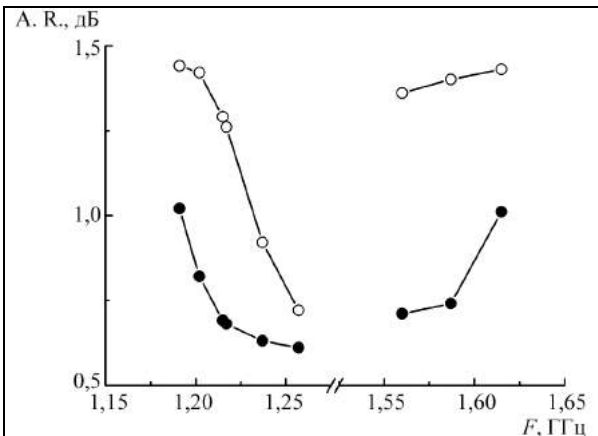


Рис. 5. Графики частотной зависимости коэффициентов эллиптичности антенн

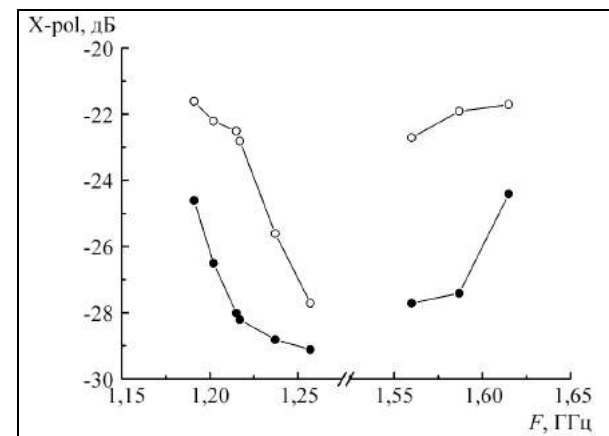


Рис. 6. Графики частотных зависимостей уровней кроссполяризации антенн

бочего диапазона антенны. Для подавления заднего лепестка ДН применен экран. Расстояние от излучателя антенны до экрана оптимизировалось для уверенного приема навигационных сигналов с углов местности свыше  $5^\circ$  и составило 12,7 мм. С противоположной стороны экрана расположена плата малошумящего усилителя с микрополоско-

выми фильтрами частотных диапазонов  $L1$  и  $L2+L3$  [5]. Для подавления излучения подводящей МПЛ применен поглотитель СВЧ-излучения, расположенный между излучателем и экраном.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 2, а-в приведены рассчитанные ДН антенны с дополнительными

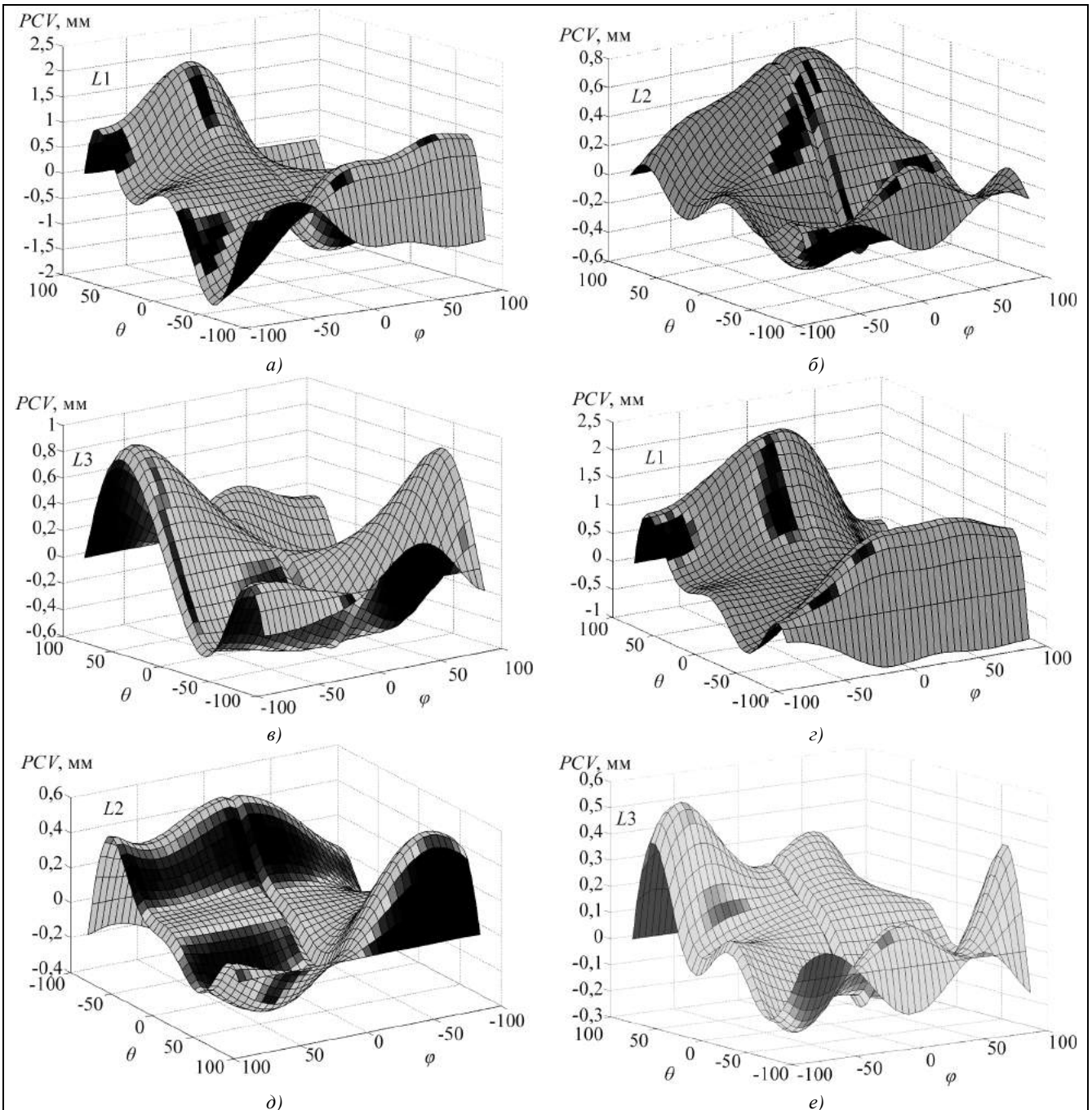


Рис. 7. Графическое представление стабильности фазовых центров антенн

щелями в вертикальной плоскости в частотных диапазонах  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$  соответственно. Темные линии – правая круговая поляризация, светлые – левая. Видно, что ДН антенны во всех частотных диапазонах широкие, с крутыми фронтальными спадами.

На рис. 3 приведены рассчитанные значения КСВН антенны без дополнительных щелей (пунктирная линия), рассчитанные (сплошная линия) и измеренные (пустые кружки) значения КСВН антенны с дополнительными щелями. Из рисунка видно, что

рассчитанные значения КСВН обеих антенн практически совпадают и по характеру частотной зависимости, и по абсолютному значению. Это говорит о том, что введение дополнительных щелей между основными щелевыми излучателями антенны не ухудшило электромагнитную связь каждого основного щелевого излучателя с подводящей микрополосковой линией. При этом измеренные значения КСВН антенны с дополнительными щелями в диапазоне частот 1190–1615 МГц составили не более 1,5.

На рис. 4 – 6 приведены рассчитанные частотные зависимости коэффициентов усиления ( $G$ ), коэффициентов эллиптичности ( $AR$ ) и уровней кроссполяризации ( $X-pol$ ) в зените ДН антенн. Пустые кружки – исходная антенна, заполненные – антенна с дополнительными щелями. Из рисунков видно, что применение дополнительных щелей с малой электрической длиной, расположенных между основными щелевыми излучателями и выполненных в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра антенны, приводит к выравниванию частотной зависимости коэффициента усиления (рис. 4), улучшению эллиптичности (рис. 5) и подавлению кроссполяризации (рис. 6) во всех рабочих диапазонах частот антенны.

Еще одним из важнейших требований для приемных антенн, применяемых в высокоточных метрологических приложениях ГЛОНАСС/GPS, использующих фазовые измерения, является наличие фазового центра антенны. Фазовая ДН исследуемой в данной работе антенны удовлетворяет условиям существования фазового центра [6].

На рис. 7 приведены рассчитанные изменения фазовых центров антенны ( $PCV$ ), определенных отдельно для каждого частотного диапазона:  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$  в зависимости от углов  $\Theta$  и  $\varphi$ , где  $a, b, c$  – антенна без дополнительных щелей;  $d, e$  – антенна с дополнительными щелями. Из рис. 7 видно, что применение дополнительных щелей приводит к стабилизации фазовых центров антенны во всех трех рабочих диапазонах частот в зависимости от углов  $\theta$  и  $\varphi$ .

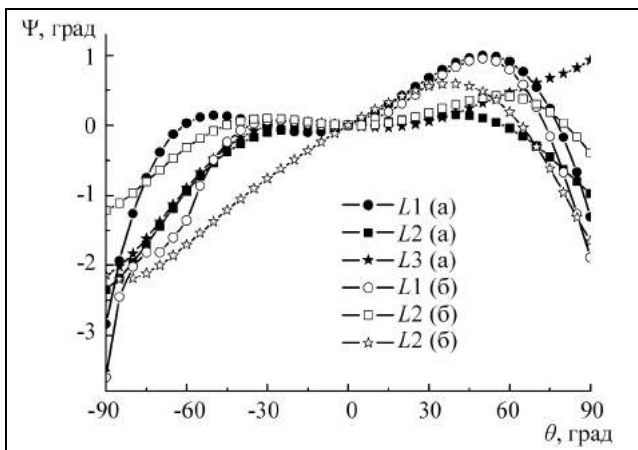


Рис. 8. Фазовые ДН антенн

На рис. 8 приведены рассчитанные зависимости изменения фазы сигнала ( $\psi$ ) от угла ( $\theta$ ) для частотных диапазонов  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$ , где  $\theta = 0$  – зенит ДН антенны. В расчете учитывались смещения фазовых центров антенны относительно ее

геометрического центра в вертикальной и горизонтальной плоскостях для каждого частотного диапазона. Заполненные значки – данные для антенны с дополнительными щелями ( $a$ ), пустые значки – данные для антенны без дополнительных щелей ( $b$ ). Из рисунка видно, что изменение фазы принимаемого сигнала в диапазоне углов  $\theta = \pm 85^\circ$  составляет менее  $5^\circ$  для антенны без дополнительных щелей и менее  $4^\circ$  для антенны с дополнительными щелями.

Для выявления причин улучшения технических характеристик антенны рассмотрим влияние дополнительных щелей на распределение сверхвысокочастотного тока на основных щелевых излучателях. На рис. 9 показан фрагмент антенны с распределением тока (черные точки) по ее поверхности;  $a$  – антенна без дополнительных щелей;  $b$  – антенна с дополнительными щелями. Из рисунка видно, что применение дополнительных щелей, расположенных между основными щелевыми излучателями и выполненных в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра антенны позволяет равномернее распределить пучности тока вдоль основных щелевых излучателей антенны. Поэтому выравнивается частотная зависимость коэффициента усиления антенны, улучшается эллиптичность сигнала с правой круговой поляризацией, возрастает уровень подавления кроссполяризации и повышается стабильность фазовых центров антенны.

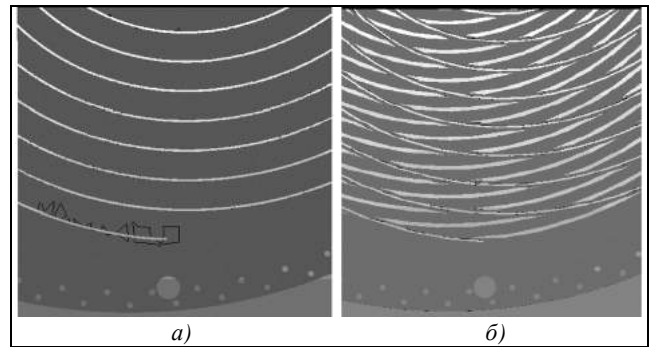


Рис. 9. Распределение сверхвысокочастотного тока на основных щелевых излучателях антенны

Следует также отметить, что уровни подавления заднего лепестка в сравниваемых антеннах приблизительно одинаковы и составили свыше  $-30$  дБ относительно излучения в зените антенны. Это обусловлено идентичностью конструкций антенн.

- Таким образом, в настоящей работе предложен метод улучшения технических характеристик щелевой полосковой антенны вытекающей вол-

ны. Показано, что введение в излучатель антенны дополнительных щелей, расположенных между основными щелевыми излучателями и выполненных в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра антенны, приводит к выравниванию частотной зависимости коэффициента усиления, улучшению эллиптичности, подавлению кроссполяризации и стабилизации фазовых центров во всех трех рабочих диапазонах частот антенны. Электрическая длина дополнительных щелей в несколько раз меньше длины волны основных щелевых излучателей на самой высокой рабочей частоте антенны. Улучшение частотных зависимостей технических характеристик антенны обусловлено тем, что благодаря дополнительным щелям пучности тока в основных щелевых излучателях распределены равномернее по их длине.

## Литература

1. Aperture coupled slot array antenna, pat. 0067315A1; U.S. Filed: 16 Aug. 1999; Pub. Date: 6 Jun. 2002.
2. *Владимиров В. М., Шенов В. Н.* СВЧ-тракт для приемника глобальных навигационных спутниковых систем «ГЛОНАСС» и «GPS» // Тезисы доклада 16<sup>й</sup> Междунар. конф. «Системный анализ, управление и навигация». Крым. Евпатория. 2011. С. 105 – 107.
3. Aperture coupled slot array antenna: pat. 0067315A1 U.S. Appl. №:09/375319; Filed: 16 Aug. 1999. Pub. Date: 6 Jun. 2002.
4. *Yamamoto, M., Ishizaki, K., Muramoto, M., Sasaki, K., Itoh, K.*, Cavity-Backed Slot Array Antenna with Backward Excitation // Electronics and Communications in Japan. 2002. V. 85. № 11. Part 1. P. 1730 – 1738.
5. *Vladimirov, V. M., Petrov, D. V., Soldatenko, S. D., Shepov, V. N.*, Microstrip Filters and Diplexer for the Receiver of the Space Navigation Systems «GLONASS», «GPS» and «GALILEO» // Proceedings of Papers 10<sup>th</sup> International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services. TELSISKS. Serbia. 2011. P. 404–406.
6. *Вольперт А. П.* О фазовом центре антенн // Радиотехника. 1961. Т. 16. № 3. С. 3 – 12.

Поступила 14 февраля 2012 г.

## Patch slot leaky-wave antenna with additional slot oscillators with short electrical length

© Authors, 2012

**V. M. Vladimirov, A. S. Kondratyev, Yu. V. Krylov, V. V. Markov, P. M. Fedotov, V. N. Shepov**

A method for improving technical specifications of a patch slot leaky-wave antenna is proposed. The antenna is intended for receiving GLO-NASS/GPS navigation signals in three frequency bands:  $L1$ ,  $L2$  and  $L3$ . The method is to create additional slots with shorter electrical length in radiating surface of the antenna. The additional slots are integrated between main slot radiators and designed as concentric arcs around the geometric center of the antenna. The comparison of the technical specifications of the additional slot antenna with those of the antenna without additional slots. It is shown that introducing additional slots with shorter electrical length results in adjusting the frequency dependence of the antenna gain, improving the ellipticity and increasing the suppression of the cross-polarization in three operating bands of the antenna:  $L1$ ,  $L2$  and  $L3$ . It has been found that improving technical specifications of the antenna is due to the current loop in the main slot radiators being more uniformly distributed along their length owing to the additional slots.

## Уважаемые читатели!

В Издательстве «Радиотехника» вышла в свет книга

**Меркишин Г.В.**

**Системы наблюдения: новые принципы построения**

ISBN 978-5-88070-265-7

Рассмотрены новые принципы построения фотоприемных систем, а также радиосистем с малой длиной волны, предназначенных для приема как пространственной, так и временной информации.

*Для специалистов в области радиоэлектроники и оптоэлектроники, может быть полезна аспирантам и студентам вузов соответствующих направлений.*



По вопросам заказа и приобретения книг обращаться по адресу:

107031 г. Москва, Кузнецкий мост, 20/6.

Тел./факс: (495) 625-92-41, тел.: (495) 625-78-72, 621-48-37

<http://www.radiotec.ru>; e-mail: [info@radiotec.ru](mailto:info@radiotec.ru)