

УДК 621.396.67(621.37)

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-3-128-131

Научная статья

EDN: ZMNIZU

СЕМИЭЛЕМЕНТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ГЛОНАСС И GPS В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ L1, L2

**В.В. Дорошенко,
Д.С. Аносов, Д.А. Орлов**
АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»,
Москва, Российская Федерация

Original article

**SEVEN-ELEMENT ANTENNA ARRAY
FOR RECEPTION GLONASS AND GPS
SIGNALS IN FREQUENCY BANDS L1, L2**

В глобальной навигационной системе ГЛОНАСС реализовано частотное разделение двух фазоманипулированных сигналов (FDMA), излучаемых каждым из спутников. В этой работе представлен материал по разработке антенной решетки для приема сигналов на частотах, предназначенных для военных целей – 1,25 ГГц (L1) и общего пользования – 1,6 ГГц (L2), и обеспечивающей работу в секторе горизонтальной плоскости на 360°.

В ходе электродинамического моделирования в системе автоматизированного проектирования были разработаны модель патч-антенны, обеспечивающей работу GPS и ГЛОНАСС в частотных диапазонах L1, L2 C/A и модель антенной решетки, обеспечивающей работу GPS в частотных диапазонах L1, L2 C/A и ГЛОНАСС в частотных диапазонах L1, L2 ST.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, широкополосная антенна, диэлектрическая проницаемость, линейная и круговая поляризация, антенная решетка, патч-антенна

**V.V. Doroshenko,
D.S. Anosov, D.A. Orlov**
JSC «CENTRAL RADIO-RESEARCH INSTITUTE
NAMED AFTER ACADEMICIAN A.I. BERG»,
MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

The GLONASS global navigation system implements frequency division multiplexing (FDMA) of two phase-shift keyed signals emitted by each satellite. This paper presents the development of an antenna array for receiving signals at frequencies intended for military purposes – 1.25 GHz (L1) and general use – 1.6 GHz (L2), and providing operation in a 360-degree horizontal plane sector.

In the course of electrodynamic modeling in the computer-aided design system, a patch antenna model was developed that ensures the operation of GPS and GLONASS in the L1, L2 C/A frequency ranges and an antenna array model that ensures the operation of GPS in the L1, L2 C/A frequency ranges and GLONASS in the L1OF, L2OF frequency ranges.

KEY WORDS: GLONASS, broadband antenna, permittivity, linear and circular polarization, antenna array, patch antenna.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение работоспособности системы в диапазонах рабочих частот, обеспечение приема и передачи волн с круговой правой поляризацией и близкие к идеальному виду диаграммы направленности в верхней полуплоскости. Все эти требования предъявляются к характеристикам антенн, предназначенных для навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. За счет своих хороших показателей, относительно малой стоимости, простоты изготовления и возможности модификации и усовершенствования, в этой области хорошо закрепились микрополосковые патч-антенны. К тому же стремительное развитие антенных устройств

приема и передачи спутниковых навигационных сигналов заставляют использовать широкую полосу пропускания для лучшего приема. Один из способов расширить полосу пропускания – это использовать двухдиапазонные патч-антенны, которые реализованы в виде наложенных друг на друга однодиапазонных патчей [5, 6].

Патч-антенны с возможностью работы на двух различных частотах обладают рядом преимуществ, позволяющих упростить интеграцию антенн в огромный ряд систем. Двухдиапазонная реализация антенны позволяет уменьшить размеры излучающей поверхности, не проигрывая по усилению излучения радиоволны, а также расширить полосу пропускания на центральных частотах. Но при этом геометрия антенны усложняется по сравнению с однодиапазонным аналогом [5, 6].

© В.В. Дорошенко, Д.С. Аносов, Д.А. Орлов
Научный руководитель: В.А. Ходунов
Поступила в редакцию 01.08.2025

Для лучшей помехозащищенности и более широкой полосы приема сигналов систем спутниковой навигации все чаще используются антенные решетки, позволяющие уменьшить габариты антенной системы, не проигрывая по усилению. Создание антенных решеток с круговой поляризацией позволяет отсекал большую часть шумового воздействия и спокойно принимать спутниковые сигналы навигационного назначения без значимых искажений. Это направление антенной техники актуально как для гражданского применения, так и для объектов военного назначения [4, 3].

Основная цель этой работы – разработать и оценить сложную антенную систему для приема сигналов ГЛОНАСС и GPS в диапазонах частот L1 и L2 с использованием технологии фазированной решетки. Фазированные решетки улучшают показатели направленности и усиления, позволяя точно наводить луч диаграммы направленности антенны на конкретные интересные места. К тому же формирование луча фазированной антенной решеткой позволит уменьшить помехи за счет поворота диаграммы направленности. Полусферическая форма антенной решетки позволит принимать навигационные сигналы с любой стороны прихода радиосигнала. Зона приема по азимуту составляет 360° , а по углу места 180° .

В этой работе мы представляем компактную фазированную антенную решетку на основе двухдиапазонных патч-антенн, состоящую из семи идентичных элементов с коаксиальным питанием. Разработанная антенная решетка охватывает широкий диапазон частот (1205 МГц – 1282 МГц) и (1572 МГц – 1645 МГц), сохраняя при этом наилучшие характеристики.

ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Для создания элемента антенной решетки было решено реализовать патч-антенну без использования диэлектрической подложки, чтобы избежать потерь сигнала, вносимых диэлектриком, и тем самым сохранить наивысший коэффициент усиления. Для покрытия интересующего диапазона частот (1250 МГц и 1600 МГц) толщина излучающих поверхностей и нижнего рефлектора была взята равной 0,53 мм. Сам же патч имеет квадратную форму со срезанными углами для достижения правой круговой поляризации, как показано на рисунке 1.

Размеры нижнего патча, настроенного на частоту L1 (1250 МГц), составляют 114,5 мм на 111 мм. Размеры верхнего патча, настроенного на частоту L2 (1600 МГц), составляют 88,5 мм на 87,8 мм. Размеры рефлектора составляют 137 мм на 137 мм. Срезы на параллельных углах рассчитывались по формуле $0,05\lambda$, а срез для третьего угла – $0,05\lambda/2$, где λ – длина волны.

Антенны с круговой поляризацией используются для приема навигационных сигналов из-за устойчивости к вращению Фарадея и малых потерь на много-

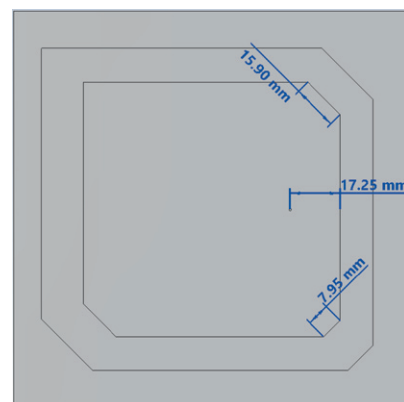


Рис. 1.

Геометрия одного элемента антенной решетки

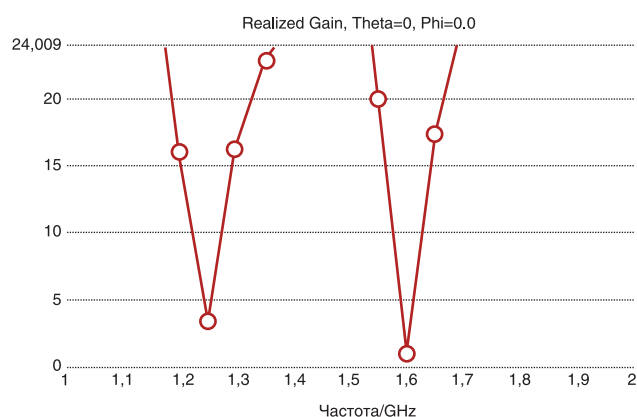


Рис. 2.

Осевое отношение двухдиапазонной патч-антенны

лучевое распространение. Для обеспечения круговой поляризации в антенне электрическое поле должно иметь две составляющие, равные друг другу по величине и имеющие сдвиг фаз 90° относительно друг друга. Есть много методов получения круговой поляризации, таких как использование цепей с двойной подачей мощности, делителями напряжения и фазовращателями. К сожалению, эти методы многократно увеличивают сложность конечной конструкции [1, 2]. Наиболее простым способом реализации круговой поляризации в антенне является возбуждение ортогональных мод из-за нерегулярности размеров излучающей поверхности патч-антенны. Поэтому противоположные углы и нижний угол двухдиапазонной патч-антенны были усечены и оптимизированы для сдвига фаз в 90° . На рисунке 2 показано осевое отношение патча.

Разработанная двухдиапазонная патч-антенна обладает высоким усилением равным 8,37 дБ на частоте L1 (1250 МГц) и 8,61 дБ на частоте L2 (1600 МГц). Результаты моделирования представлены на рисунках 3–5.

ПРОТОТИП СЕМИЭЛЕМЕНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В отличие от планарных аналогов, антенная решетка, выполненная в виде полусферы, позволит принимать сигналы в требуемых секторах работы (360° по азимуту и 180° по углу места). Разработанный, в программе CST Studio Suite, прототип антенной решетки представлен на рисунке 6–7. Рабочие сектора приема сигналов перекрываются полностью благодаря семи элементам антенной решетки, реализованных в виде двухдиапазонных патч-антенн, имеющих ширину диаграммы направленности более 60° .



Рис. 3.
КСВН элемента антенной решетки

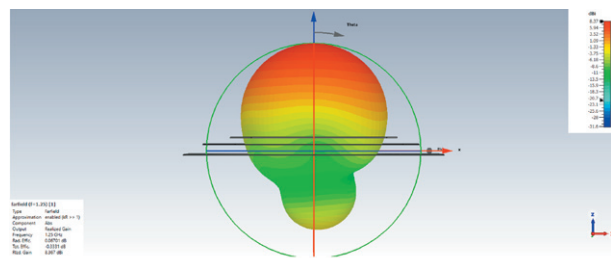


Рис. 4.
Диаграмма направленности и коэффициент усиления элемента на частоте 1,25 ГГц

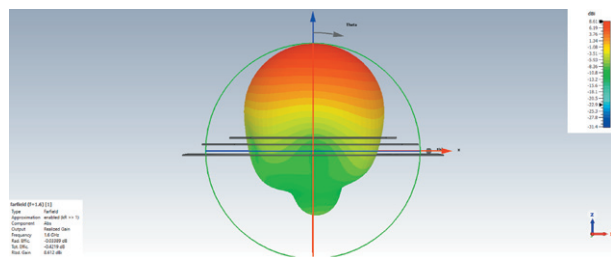


Рис. 5.
Диаграмма направленности и коэффициент усиления элемента на частоте 1,6 ГГц

В.В. ДОРОШЕНКО,
А.С. АНОСОВ, А.А. ОРАОВ
СЕМИЭЛЕМЕНТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА
ДЛЯ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ГЛОНАСС И GPS
В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ L1, L2

Для корпуса прототипа антенной решетки был выбран фторопласт, не ухудшающий работу всей системы. Конечные размеры прототипа составляют 560 мм на 539,2 мм. Разработанный прототип антенной решетки и его рассчитанные диаграммы направленности на частотах L1 и L2 представлены на рисунках 6–9.

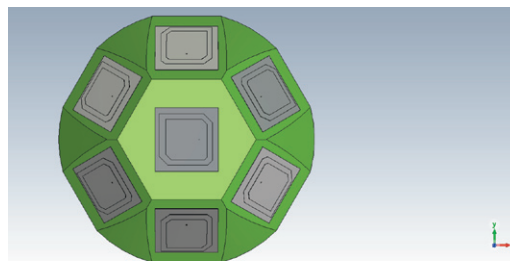


Рис. 6.
Антенная решетка вид сверху

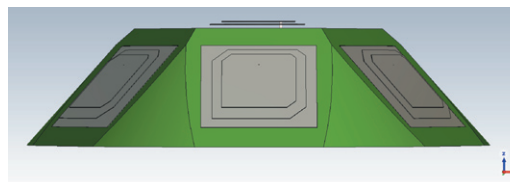


Рис. 7.
Антенная решетка вид спереди

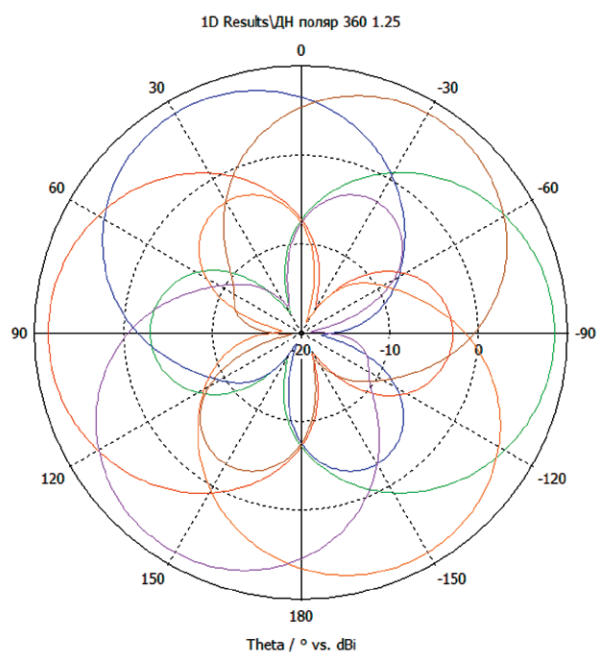


Рис. 8.
Диаграмма направленности антенной решетки на частоте 1,25 ГГц

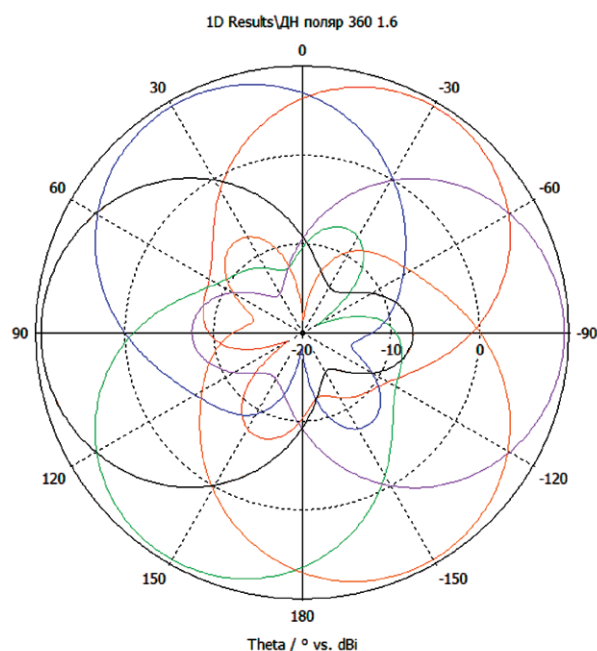


Рис. 9.

Диаграмма направленности антенной решетки на частоте 1,6 ГГц

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный прототип антенной решетки обеспечивает стабильный и наиболее эффективный прием навигационных сигналов ГЛОНАСС и GPS в диапазонах частот L1 и L2 в секторе горизонтальной плоскости на 360° и вертикальной (угол места) на 180°. Антенная решетка обладает высоким коэффициентом усиления, не ниже 8 дБ, в каждой полосе частот, правой круговой поляризацией и низким КСВН в требуемых частотных диапазонах. А также антенная решетка обладает хорошим отношением излучений вперед-назад и хорошим осевым отношением с большой шириной луча для лучшего покрытия спутника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемова Т.К., Фомичев Н.И. Антенны. Учебное пособие. Ярославль: Ярославский государственный университет, 2007. 128 с.
2. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.А., Максимов В.М., Пономарев Л.И. Устройства СВЧ и антенны. Под ред. Воскресенского Д.И.. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Радиотехника, 2006. 376 с.
3. Диаграммы направленности фазированной антенной решетки // Элтех. URL: https://www.eltech.spb.ru/analog_kharakteristiki_lucha_i_lineinoi_reshetki
4. Antenna Arrays // Antenna Theory. URL: <https://www.antenna-theory.com/arrays/main.php>.
5. Microstrip (Patch) Antennas. URL: <https://www.antenna-theory.com/antennas/patches/antenna.php>.

6. Padmasree Ramineni Design and Analysis of a Dual-Band Microstrip Patch Antenna for Sub-6 GHz Applications // Journal of Engineering Research and Reports. 2024. №26. С. 210–221.

REFERENCES

1. ARTEMOVA T.K., FOMICHEV N.I. Antennas. Study Guide. Yaroslavl: Yaroslavl State University, 2007:128. (In Russian).
2. VOSKRESENSKY D.I., GOSTYUKHIN V.L., MAKSIMOV V.M., PONOMAREV L.I. Microwave Devices and Antennas. Ed. by Voskresensky D.I. 2nd ed., supplemented and revised. Moscow: Radio Engineering, 2006:376. (In Russian).
3. Radiation Patterns of a Phased Antenna Array. *Eltech*. URL: https://www.eltech.spb.ru/analog_kharakteristiki_lucha_i_lineinoi_reshetki (In Russian).
4. Antenna Arrays // *Antenna Theory*. URL: <https://www.antenna-theory.com/arrays/main.php>.
5. Microstrip (Patch) Antennas. URL: <https://www.antenna-theory.com/antennas/patches/antenna.php>.
6. Padmasree Ramineni Design and Analysis of a Dual-Band Microstrip Patch Antenna for Sub-6 GHz Applications. *Journal of Engineering Research and Reports*. 2024;26:210–221.

Дорошенко Владислав Витальевич, инженер 3 категории, АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»

☎ тел.: +7 (916) 276-96-37, e-mail: kosmos.smirnov.99@mail.ru

Аносов Денис Сергеевич, инженер 3 категории АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»

☎ тел.: +7 (977) 180-05-44, e-mail: denis.anosoff2015@ya.ru

Орлов Данила Александрович, техник, АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»

☎ 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, 20/9, 107078, Moscow, Novaya Basmannaya st., 20/9, тел.: +7 (915) 177-53-93, e-mail: dpd1735@mail.ru