

**МАЛОГАБАРИТНАЯ АНТЕННА СУДОВОЙ ЗЕМНОЙ
СТАНЦИИ СИСТЕМЫ INMARSAT-C**

В статье представлены результаты разработки и исследования антенны с ненаправленной в верхнем полупространстве и равномерной в азимутальной плоскости диаграммой направленности, с близкой к круговой поляризацией поля излучения в пределах всего верхнего полупространства.

Ключевые слова: спиральная антенна, ненаправленное излучение, круговая поляризация.

I.L. AFONIN, V.V. GOLOVIN, U.N. TYSCHUKY
FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol

SMALL ANTENNA OF THE SHIP EARTH STATION OF THE INMARSAT-C SYSTEM

Annotation – *At the paper the results of development and research of the antenna with non-directional in the upper half-space and uniform in azimuth plane radiation pattern, with close to circularly polarized radiation field within the all upper half-space are presented.*

Keywords: helical antenna, omnidirectional radiation, circular polarization.

Введение

Ввиду широкого использования в оборудовании судовых земных станций (СЗС) системы INMARSAT-C слабонаправленных антенн с круговой поляризацией поля излучения, реализованных на основе многозаходных спиральных излучающих структур, вопросам разработки таких антенн с улучшенными характеристиками уделяется существенное внимание [1 — 5].

В этих и других аналогичных разработках присутствуют недостатки: большие габаритные размеры, низкий коэффициент эллиптичности в направлениях близких к горизонту, недостаточное согласование в рабочем диапазоне частот и т.д.

Актуальной задачей является разработка конструкции антенны, обеспечивающей сравнительно с существующими аналогами комплексное улучшение характеристик при сохранении относительно небольших габаритных размеров и простоты ее технологического исполнения.

Цель работы

Целью настоящей работы является разработка и исследование малогабаритной нерегулярной четырехзаходной цилиндрической спиральной антенны.

Конструктивное исполнение и режим работы антенны

Разработанная четырехзаходная нерегулярная цилиндрическая спиральная антенна (рисунок 1) состоит из четырех одинаковых цилиндрических спиральных проводников 1a, 1b, 1c, 1d с переменным углом намотки, которые размещаются на каркасе 4, установленном над экраном 3, при этом с обратной стороны экрана размещается распределительное устройство 5, предназначенное для возбуждения спиральных проводников в точках 2a, 2b, 2c, 2d, расположенных вблизи поверхности экрана 3.

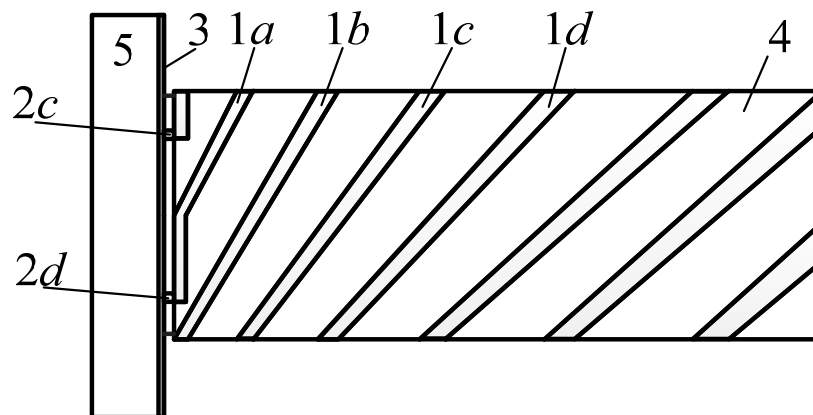


Рис. 1. Общая модель антенны

Трехмерная модель системы нерегулярных цилиндрических спиральных излучателей над экраном показана на рисунке 2.

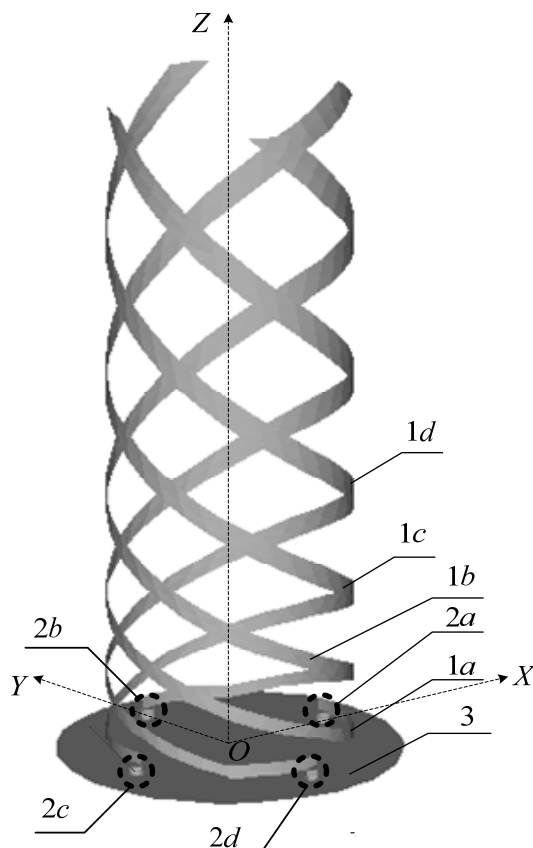


Рис. 2. Трехмерная модель системы нерегулярных цилиндрических спиральных излучателей над экраном

Геометрия спиральных проводников описывается в параметрической форме соотношениями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Параметрическое описание спиральных излучателей

| № Проводника | Правосторонняя намотка спиральных проводников | Левосторонняя намотка спиральных проводников |
|--------------|--|--|
| 1a | $x(\alpha) = a \cdot \cos \alpha;$ $y(\alpha) = a \cdot \sin \alpha;$ $z(\alpha) = a \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}[\beta(\alpha)].$ | $x(\alpha) = a \cdot \cos \alpha;$ $y(\alpha) = -a \cdot \sin \alpha;$ $z(\alpha) = a \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}[\beta(\alpha)].$ |
| 1b | $x(\alpha) = -a \cdot \sin \alpha;$ $y(\alpha) = a \cdot \cos \alpha;$ $z(\alpha) = a \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}[\beta(\alpha)].$ | $x(\alpha) = a \cdot \sin \alpha;$ $y(\alpha) = a \cdot \cos \alpha;$ $z(\alpha) = a \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}[\beta(\alpha)].$ |
| 1c | $x(\alpha) = -a \cdot \cos \alpha;$ $y(\alpha) = -a \cdot \sin \alpha;$ $z(\alpha) = a \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}[\beta(\alpha)].$ | $x(\alpha) = -a \cdot \cos \alpha;$ $y(\alpha) = a \cdot \sin \alpha;$ $z(\alpha) = a \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}[\beta(\alpha)].$ |
| 1d | $x(\alpha) = a \cdot \sin \alpha;$ $y(\alpha) = -a \cdot \cos \alpha;$ $z(\alpha) = a \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}[\beta(\alpha)].$ | $x(\alpha) = -a \cdot \sin \alpha;$ $y(\alpha) = -a \cdot \cos \alpha;$ $z(\alpha) = a \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}[\beta(\alpha)].$ |

В таблице 1 используются обозначения:

α — центральный угол, изменяющийся от 0 до 2π ;

n — количество витков спиральных проводников;

$\beta(\alpha)$ — угол намотки витков спиральных проводников, который является функцией от α и изменяется от начального $\beta_{\text{НАЧ}}$ до конечного угла $\beta_{\text{КОН}}$;

$a = d/2$ — радиус образующего спирали цилиндра;

d — диаметр образующего спирали цилиндра.

Значения углов намотки $\beta_{\text{НАЧ}}$ и $\beta_{\text{КОН}}$, диаметра d , количества витков n выбираются из

соотношений:

$$\beta_{\text{НАЧ}} = 13^\circ \dots 15^\circ; \beta_{\text{КОН}} = 27^\circ \dots 33^\circ; d = (0,18 \dots 0,26) \lambda_0; n = 1 \dots 2,$$

где λ_0 — средняя длина волны в рабочем диапазоне частот.

Положение каждого из спиральных проводников в составе антенны определяется поворотами спиральных проводников вокруг оси антенны (ось OZ на рисунке 2) на углы, кратные 90° .

На входы четырех спиральных проводников, в точки $2a, 2b, 2c, 2d$, подаются токи $i_{2a}, i_{2b}, i_{2c}, i_{2d}$:

$$i_{2a} = I_{2a} e^{j\varphi_{2a}}; i_{2b} = I_{2b} e^{j\varphi_{2b}}; i_{2c} = I_{2c} e^{j\varphi_{2c}}; i_{2d} = I_{2d} e^{j\varphi_{2d}},$$

где $I_{2a}, I_{2b}, I_{2c}, I_{2d}$ — амплитуды токов, подводимых к входам соответствующих по номеру спиральных излучателей;

$\varphi_{2a}, \varphi_{2b}, \varphi_{2c}, \varphi_{2d}$ — начальные фазы токов, подводимых к входам соответствующих по номеру спиральных излучателей.

Для возбуждения каждого из четырех спиральных проводников амплитуды токов выбираются с учетом соотношения

$$I_{2a} = I_{2b} = I_{2c} = I_{2d}.$$

Поляризационная структура поля излучения четырехзаходной цилиндрической спиральной антенны определяется соотношениями начальных фаз токов, подводимых ко входом каждого из четырех спиральных излучателей. Для возбуждения каждого из четырех спиральных излучателей начальные фазы токов выбираются относительно друг друга в квадратуре и в определенной последовательности.

В основном при построении на основе спиральных излучателей антенных систем с круговой поляризацией излучения направление намотки проводников выбирается согласованным с требуемым направлением вращения вектора напряженности электрического поля.

Однако, в разработанной антенне начальные фазы токов выбираются для формирования круговой поляризации излучения не согласованной по направлению вращения с направлением намотки спиральных излучателей. То есть при правосторонней намотке спиральных излучателей формируется левосторонняя круговая поляризация и наоборот.

Режим формирования поляризационной структуры поля излучения антенны представлен на рисунке 3, а.

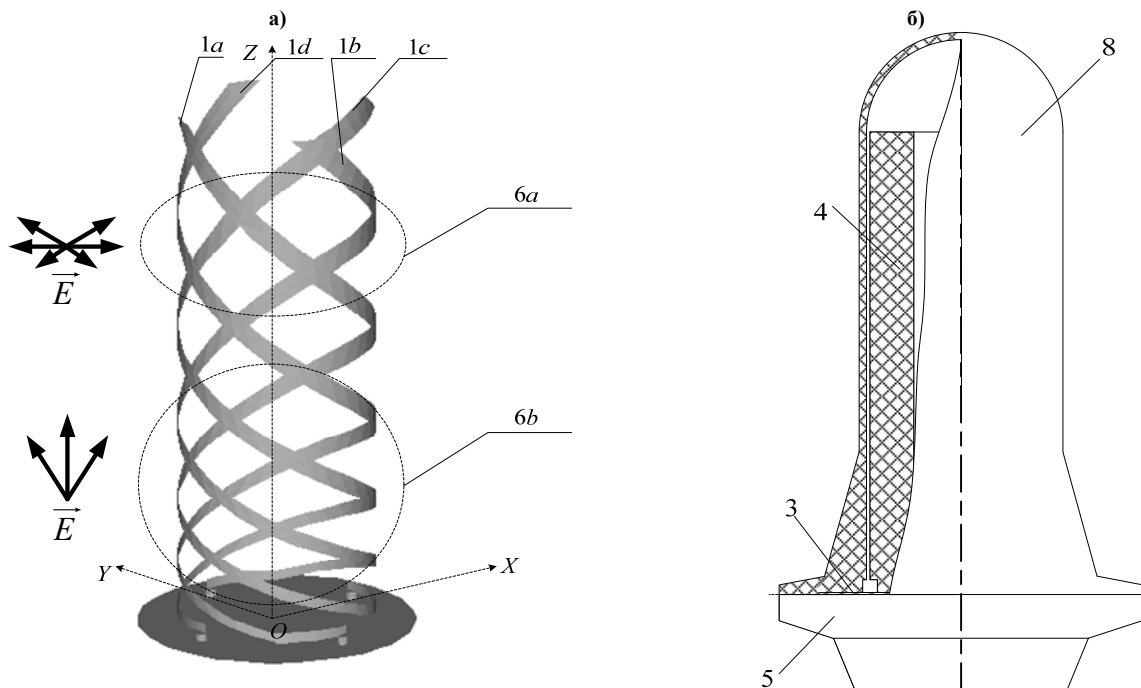


Рис. 3. Зоны формирования поляризационной структуры поля излучения антенны (а) и модель антенны с радиопрозрачным обтекателем (б)

Из-за нерегулярности намотки цилиндрических спиральных проводников с заданными значениями их геометрических параметров, размещения спиральных проводников на одной оси и квадратурного возбуждения спиральных проводников, на каждом из спиральных проводников формируется распределение тока, которое характеризуется пучностями тока на участках с углами намотки, близкими к $\beta_{\text{КОН}}$ (рисунок 3, а, область 6а) и к $\beta_{\text{НАЧ}}$ (рисунок 3, а, область 6б), при этом область 6б определяет излучение поля с круговой поляризацией в направлении оси OZ , область 6а определяет излучение поля с круговой поляризацией в направлениях, близких к плоскости экрана XOY . Поскольку в каждой из областей в

отдельности значения амплитуд токов в пучностях на проводниках $1a$, $1b$, $1c$, $1d$ равны друг другу, а разности фаз этих токов определяются режимом возбуждения спиральных проводников в квадратуре, то антенна характеризуется достаточно равномерным излучением в верхнем полупространстве поля с поляризацией максимально близкой к круговой.

Учитывая особенности эксплуатации антенны в составе оборудования СЗС системы *Inmarsat-C*, конструкция антенны может содержать радиопрозрачный обтекатель. На рисунке 3, б показана исследуемая модель антенны с радиопрозрачным обтекателем 8.

Анализ характеристик четырехзаходной нерегулярной цилиндрической спиральной антенны

В электродинамическом САПР проведены теоретические исследования характеристик излучения и входных характеристик разработанной четырехзаходной нерегулярной цилиндрической спиральной антенны без обтекателя и при его наличии.

На рисунке 4, а показаны результирующие диаграммы направленности антенны в плоскости XOZ (см. рисунок 3, а). На рисунке 4, б показаны результирующие диаграммы направленности антенны в плоскости XOY (см. рисунок 3, а).

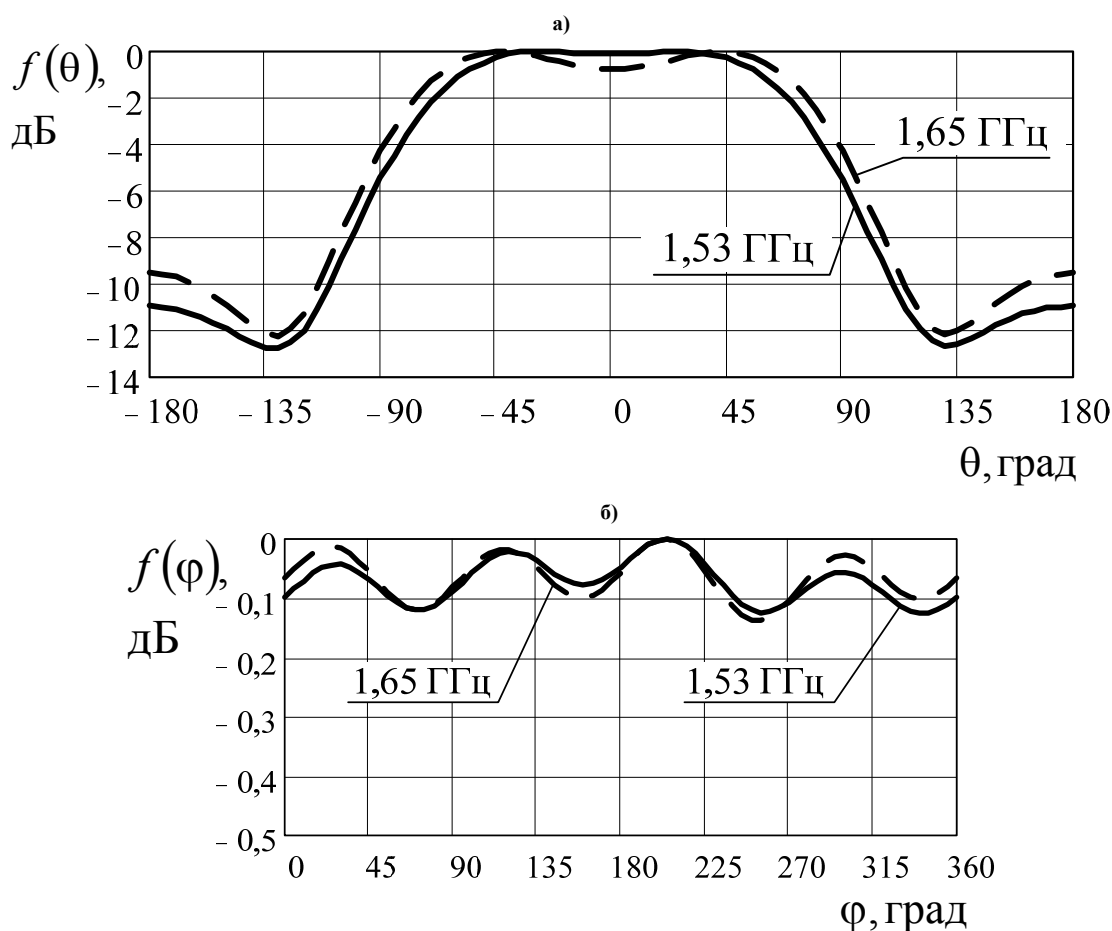
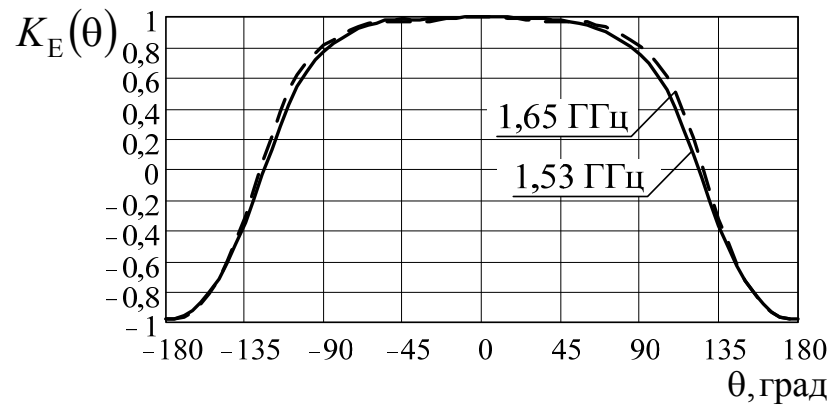


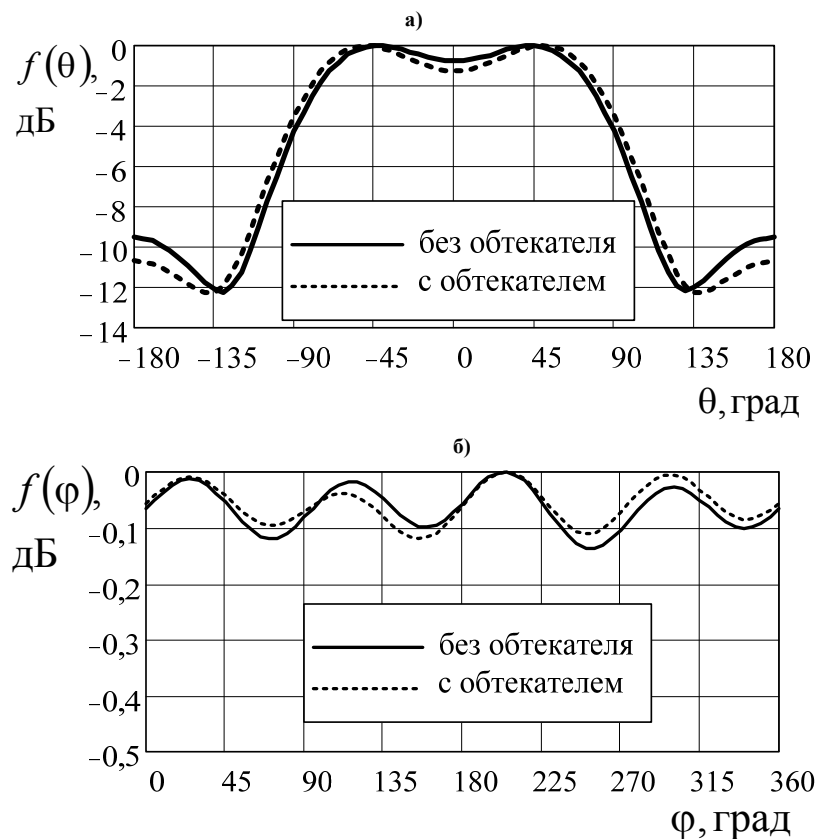
Рис. 4. Диаграммы направленности антенны в плоскости XOZ (а) и в плоскости XOY (б)

Расчеты проводились в диапазоне частот 1,53 — 1,65 ГГц. Ширина главного лепестка построенной в круговом базисе диаграммы направленности по уровню -10 дБ в плоскости XOZ в рабочем диапазоне частот изменяется в пределах 220° — 230° . Неравномерность диаграммы направленности в азимутальной плоскости не превышает 0,15 дБ. Диаграммы направленности антенны в плоскостях XOZ и YOZ практически одинаковы, то есть объемная диаграмма направленности антенны характеризуется осевой симметрией. На рисунке 5 показаны угловые зависимости коэффициента эллиптичности в плоскости XOZ . В рабочем диапазоне частот в пределах всего верхнего полупространства антенна характеризуется близкой к круговой поляризацией с коэффициентом эллиптичности

$$K_{\ominus} = 0,8...0,98.$$

Рис. 5. Угловая зависимость коэффициента эллиптичности в плоскости XOZ

На рисунке 6, а показаны результирующие диаграммы направленности антенны в плоскости XOZ , рассчитанные на частоте 1,65 ГГц при наличии в конструкции антенны обтекателя и без использования обтекателя.

Рис. 6. Диаграммы направленности антенны в плоскости XOZ (а) и в плоскости XOY (б)

При использовании в конструкции антенны обтекателя ширина главного лепестка диаграммы направленности в плоскости XOZ равна 240° , тогда как без обтекателя — 230° . На рисунке 6, б показаны результирующие диаграммы направленности антенны в плоскости XOY . На рисунке 7 показаны угловые зависимости коэффициента эллиптичности в плоскости XOZ . В пределах верхнего полупространства антенна характеризуется близкой к круговой поляризации с коэффициентом эллиптичности

$$K_{\ominus} = 0,8 \dots 0,98.$$

Установлено, что обтекатель, показанный на рисунке 3, б, слабо влияет на характеристики излучения антенны.

На основании полученных результатов исследования можно заключить, что разработанная антенна характеризуется исключительно высоким значением коэффициента эллиптичности в пределах всего верхнего полупространства.

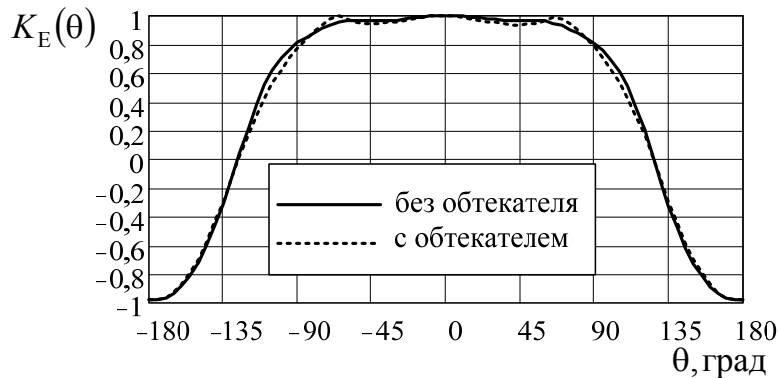


Рис. 7. Угловая зависимость коэффициента эллиптичности в плоскости XOZ с обтекателем и без него

Анализ входных характеристик разработанной антенны показал, что в диапазоне частот 1,53 — 1,65 ГГц антенна на каждом из входов излучателей характеризуется близкими значениями входного сопротивления, при которых обеспечивается качественное согласование с $K_{СВ} \leq 1,5$.

Выводы

Разработана модель ненаправленной в верхнем полупространстве малогабаритная антенна с круговой поляризацией поля излучения, предназначенная для использования в оборудовании судовых земных станций системы *INMARSAT-C*.

В качестве первичных излучателей используется система из четырех нерегулярных цилиндрических спиральных проводников. Для данной антенны рассчитаны собственные характеристики поля излучения и характеристики с учетом наличия радиопрозрачного диэлектрического обтекателя. В обоих случаях антенна характеризуется равномерным излучением и высоким значением коэффициента эллиптичности ($K_{\Sigma} = 0,8...0,98$) в пределах всего верхнего полупространства. При этом антенна характеризуется качественным согласованием с $K_{СВ} \leq 1,5$.

Литература

1. Вершков М. В. Судовые антенны / М. В. Вершков, О. Б. Миротворский. — Л. : Судостроение, 1990. — 304 с.
2. Пат. № 6011524 США, H01Q 1/36, H01O 11/08 Integrated antenna system. James W. Jervis. — № 6 011 524; заявлено 24.05.1994; опублик. 04.01.2000.
3. Пат. № 2 395 877 РФ, МПК H 01 Q 11/00. Квадрифилярная антенна / Банков С. Е. (RU), Давыдов А. Г. (RU). — № 2 395 877; заявл. 22.07.2009; опублик. 27.07.2010, Бюл. № 21.
4. Пат. № 6 288 686 США, МПК H 01 Q 1/36. Tapered Direct Fed Quadrifilar Helix Antenna / Michael J. Josypbiiko (USA). — № 6 288 686; заявл. 23.01.2000; опублик. 11.09.2001.
5. Пат. № 6 344 834 США, МПК H 01 Q 1/36. Lowangle, Highangle Quadrifilar Helix Antenna / Michael J. Josypenko (Norwich). — № 6 344 834; заявл. 20.05.2000; опублик. 05.02.2002.

References

1. Vershkov M. V. Marine Antenna / M. V. Vershkov, O. B. Mirotvorsky. — L. : Shipbuilding, 1990. — 304 p.
2. Pat. № 6011524 USA, H01Q 1/36, H01O 11/08 Integrated antenna system. James W. Jervis. — № 6 011 524; declare 24.05.1994; publish. 04.01.2000.
3. Pat. № 2 395 877 RF, МПК H 01 Q 11/00. Quadrifilar Antenna / Bankov S. E. (RU), Davydov A.G. (RU). — № 2 395 877; declare 22.07.2009; publish. 27.07.2010, Bulletin № 21.
4. Pat. № 6 288 686 USA, МПК H 01 Q 1/36. Tapered Direct Fed Quadrifilar Helix Antenna / Michael J. Josypbiiko (USA). — № 6 288 686; declare 23.01.2000; publish 11.09.2001.
5. Pat. № 6 344 834 USA, МПК H 01 Q 1/36. Lowangle, Highangle Quadrifilar Helix Antenna / Michael J. Josypenko (Norwich). — № 6 344 834; declare 20.05.2000; publish 05.02.2002.

Рецензія/Peer review : 2.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 8.11.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією