

УДК 621.371

Микрополосковая антенна круговой поляризации для приема сигналов GPS/ГЛОНАСС

Дурманов М. А., Бобошко А. В.

*Севастопольский государственный университет
Институт радиоэлектроники и информационной безопасности
299053, Севастополь, ул. Университетская, 33, Российская Федерация
m.a.durmanov@gmail.com*

Получено: 8 сентября 2019 г.

Отрецензировано: 5 ноября 2019 г.

Принято к публикации: 5 ноября 2019 г.

Аннотация: Рассмотрены проблемы точности глобальных навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Рассмотрены особенности антенны, позволяющие повысить точность приема спутниковых сигналов, за счет минимизации приема переломленных сигналов. Разработана и проанализирована микрополосковая антенна правой круговой поляризации. Микрополосковая антенна реализована с квадратной формой излучателя, в качестве питания имеет схему с двухфидерной коаксиальной запиткой и для ее возбуждения выбран шлейфный квадратурный мост. В AWR Design Environment произведен расчет шлейфного квадратурного моста и его моделирование, а также в CADFEKO построена модель антенны вместе с квадратурным мостом. Проведен расчет характеристик разработанной микрополосковой антенны такие, как КСВ на центральной частоте; коэффициенты отражения портов; диапазон рабочих частот; коэффициент усиления; коэффициент эллиптичности антенны. Данное решение позволит повысить точность позиционирования, а также уменьшить габариты самого приемника за счет небольших размеров антенны.

Ключевые слова: GPS, ГЛОНАСС, микрополосковая антенна, круговая поляризация.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Дурманов М. А., Бобошко А. В. Микрополосковая антенна круговой поляризации для приема сигналов GPS/ГЛОНАСС // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 2. С. 192—203.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Дурманов, М. А. Микрополосковая антенна круговой поляризации для приема сигналов GPS/ГЛОНАСС / М. А. Дурманов, А. В. Бобошко // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2019. — Т. 2, № 2. — С. 192—203.

Microstrip circular polarization antenna for receiving GPS/GLONASS signals

M. A. Durmanov and A. V. Boboshko

Sevastopol State University

Institute of Radio Electronics and Information Security

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

max.durmanov@gmail.com

Received: September 8, 2019

Peer-reviewed: November 5, 2019

Accepted: November 5, 2019

Abstract: *In this graduation project, the problem of accuracy of global navigation systems GPS and GLONASS is considered. The aim of the work is to develop a method that would increase the accuracy of satellite signals reception. The best method to increase accuracy is to eliminate/attenuate the reception of re-reflected signals using special antennas. Within the framework of this method, a model of microstrip antenna of the right circular polarization was developed and analyzed. The microstrip antenna with a square shape of the radiator is implemented, has a double-feeder coaxial power supply circuit, and a loop quadrature bridge is used for its excitation. In the AWR Design Environment, a stub quadrature bridge was calculated and modeled. In CADFEKO, an antenna model and quadrature bridge was constructed. The characteristics of the developed microstrip antenna, such as SWR at the center frequency; port reflection coefficients; range of frequencies; gain; antenna ellipticity coefficient. This solution will improve the positioning accuracy, as well as reduce the weight and size of the receiver itself due to the small size of the antenna itself.*

Keywords: *GPS, GLONASS, microstrip antenna, circular polarization.*

For citation: M. A. Durmanov and A. V. Boboshko, "Microstrip circular polarization antenna for receiving GPS/GLONASS signals," *Infocommunications and Radio Technologies*, 2019, vol. 2, no. 2, pp. 192–203. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2019.02.2.18.

1. Введение

Приемники GPS/ГЛОНАСС сигналов используются для решения разнообразных высокоточных задач на земле, в небе и на море. Навигационные возможности систем могут оказать неоценимую помощь в поиске и спасении людей, в работе полиции, пожарных и др. [1, 2].

Модификации ГЛОНАСС поддиапазона $L1$ (1575,42 МГц) отправляют два типа навигационных сигналов: стандартный сигнал (СТ) для каждого потребителя и высокоточный (ВТ) сигнал, доступный только для определенных потребителей, и только один ВТ в поддиапазоне $L2$ -сигнал (1227,60 МГц).

Навигационный радиосигнал, передаваемый каждым НКА «Глонасс» на его собственной несущей частоте в поддиапазонах $L1$ и $L2$, является многокомпонентным сигналом фазовой манипуляции. Фазовая манипуляция несущей осуществляется на π радиан с максимальной погрешностью не более $\pm 0,2$ радиана.

Сигнал с кодом стандартной точности (С/А-код — модуляция *BPSK*), передаваемый в диапазонах $L1$ и $L2$, распространяется без ограничений на использование.

Многолучевость является главным источником ошибок. Приемник принимает не только сигналы со спутника по прямой линии, но и отраженные от окружающих предметов и земной поверхности. В итоге фазовые измерения по суммарному сигналу имеют искажения, которые могут достигать 50 см, и в случаях, когда отраженный сигнал превышает прямой, эта ошибка может приближаться к 2 м, что составляет 25 % от общей погрешности системы, определяющей местоположение.

Отражающими объектами для приемников могут быть здания, деревья, холмистый рельеф. Многолучевость создается гладкой земной поверхностью — асфальт, вода, снежный покров. Крыши также имеют много отражающих объектов, что плохо влияет на прием сигнала.

Для уменьшения влияния многолучевости необходимо при разработке антенных систем для приемников предусмотреть установку экранирующих приспособлений, препятствующих попаданию отраженных радиосигналов на вход антенны или использовать специальную конструкцию антенны.

На сегодняшний момент точность определения местоположения для обычного потребителя *GPS* составляет 3,6 м (2σ), ГЛОНАСС — 8 м (2σ) [3].

В статье приведены результаты моделирования микрополосковой антенны (МПА), которая принимает сигналы только с правосторонней круговой поляризацией, чтобы минимизировать прием переотраженных сигналов, так как однократно отраженный сигнал меняет поляризацию на противоположную.

МПА имеют низкий профиль, подходящий плоской и криволинейной поверхностям. Благодаря использованию современной печатной технологии, МПА просты и недороги в изготовлении. МПА являются меха-

нически прочными при установке на жесткие поверхности, и когда выбраны конкретная форма и режим папка, они адаптивны при выборе резонансной частоты, поляризации и импеданса.

Исходя из этого, для разработки была выбрана микроразомосковая антенна на частоте 1,242 ГГц. Данная частота используется в диапазоне частот $L2$ для GPS и ГЛОНАСС. В ГЛОНАСС на этой частоте передается сигнал высокой точности, доступный только особым потребителям, но только с разрешения Министерства обороны Российской Федерации.

Основные технические решения получены путем моделирования в программных средах $AWR Design Environment$ и $CADFEKO$.

2. Исследуемая модель

Чем выше точность измерений, тем более высокими становятся требования к антенне приемника. Чтобы антенна имела указанную характеристику, она должна иметь двухполосную или четырехполосную цепь питания. Способность антенны принимать только сигнал с правосторонней круговой поляризацией также предохраняет от многолучевости, так как однократно отраженный сигнал меняет поляризацию на противоположную.

Одним из основных факторов, ограничивающих точность позиционирования, является многолучевое распространение. Основой спутниковой навигации является вычисление расстояний (псевдодалностей) от спутников до потребителя (рис. 1а). Чем точнее измерены расстояния, тем точнее вычисляются координаты.

Путь, пройденный сигналом от спутника до потребителя при переотражении, больше истинного расстояния, отсюда следует, что увеличивается погрешность позиционирования (рис. 1б).

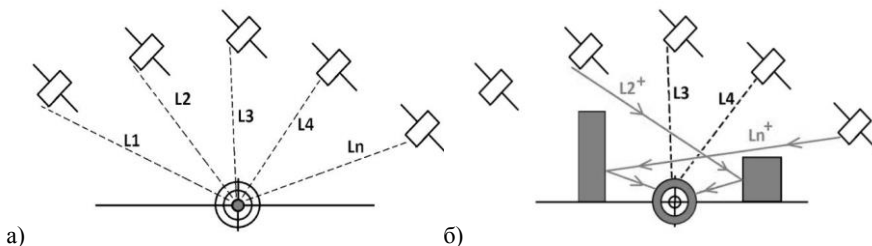


Рис. 1. Схема приема сигнала без переотражений (а) и с переотражениями (б).

Fig. 1. GNSS signal reception scheme without reflections (a) and with reflections (b)

Наилучшим методом борьбы с данным явлением будет исключение или ослабление приема переотраженных сигналов, с использованием специальных антенн.

Спутники ГЛОНАСС/*GPS* излучают сигналы с правосторонней круговой поляризацией (*RHCP* — англ.). При отражении сигнал меняет свою поляризацию на противоположную (*LHCP* — англ.).

Антенны с хорошо выраженными поляризационными характеристиками принимают сигналы собственной поляризации, а сигналы с противоположной поляризацией со значительным ослаблением. Т. е. *RHCP*-антенна принимает прямые *RHCP* сигналы, а переотраженные *LHCP* сигналы подавляет (рис. 2).

Степень ослабления сигналов противоположных поляризации характеризуется коэффициентом эллиптичности (*AR* — англ.). Определяется данное значение соотношением ортогональных составляющих вектора электрического поля для волны с идеальной круговой поляризацией $AR = 1$ (или 0 дБ).

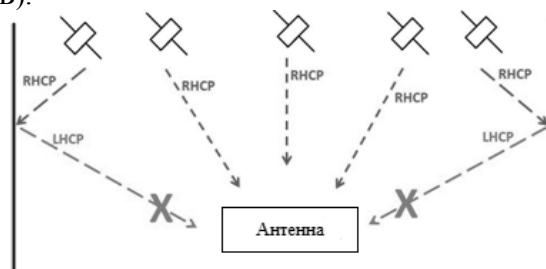


Рис. 2. Схема приема сигналов антенной с правой круговой поляризацией.

Fig. 2. Right circular polarized antenna signal receiving circuit

В подавляющем большинстве недорогих антенн используется однофидерный керамический «*patch*»-элемент. Такие антенны могут обладать круговой поляризацией только на одной частоте, в остальной же полосе поляризация близка к линейной (особенно вблизи краев полосы). Причем это условие выполняется только при рекомендованном производителем земляном полигоне или соответствующей подстройке, что на практике практически не встречается. Теоретический *AR* однофидерной ГЛОНАСС/*GPS* «*patch*» антенны –8 дБ (на практике больше). Антенны с двухфидерной или квадрифиллярной запиткой обычно имеют *AR* –2 дБ или меньше (чем меньше, тем лучше).

Положение низкоорбитальных КА постоянно меняется во времени. При этом функциями времени являются как их азимутальные ϕ , так и угловые θ координаты в сферической системе координат, связанной с потребителем навигационной системы. Таким образом, потенциальный источник сигнала может иметь произвольный азимутальный угол в пределах от 0 до 360° и угол места в пределах от 0 до 90° [4].

Исходя из этого, можно сформулировать первое требование к диаграмме направленности (ДН) антенны, которая в идеальном случае должна иметь полусферическую форму. Можно заметить, что антенна с такой ДН обеспечивает одинаковые условия приема сигналов для всех спутников, находящихся в данный момент над точкой приема.

Особенностью уже разработанных и проектируемых глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) является использование для передачи сигналов правой круговой поляризации. Волны круговой поляризации удобно принимать потребителю, положение которого в пространстве по отношению к источнику излучения может быть произвольным. По этой причине при создании навигационных систем предпочтение было отдано волнам круговой поляризации.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что антенна приемника должна быть антенной с круговой поляризацией. Поляризационные свойства антенн описываются с помощью коэффициента эллиптичности (КЭ). Для идеальной антенны с круговой поляризацией он равен единице. КЭ зависит от угловых координат. Поэтому его величина не должна быть меньше некоторого допустимого значения углов

$$\begin{aligned} 0 < \phi < 360^\circ; \\ 0 < \theta < 90^\circ. \end{aligned} \quad (1)$$

КЭ является функцией частоты и, следовательно, он не должен опускаться ниже предельного значения в рабочей полосе частот Δf . Следует отметить, что контролировать величину КЭ в секторе углов (1) весьма затруднительно. Поэтому на практике к антеннам СН предъявляются требования по КЭ только в одном направлении, которое задается углом, равным нулю. Обычно в этом направлении ДН имеет максимум. В качестве предельного уровня КЭ берется значение равное 0,707. Выраженное в децибелах оно равно -3 дБ.

Отметим, что обеспечить большой уровень КЭ во всем диапазоне углов (1) почти нереально. Особенно это относится к углам θ , близким к 90° , когда волна распространяется вдоль поверхности Земли. Следует отметить, что падение КЭ до нуля не означает, что невозможно получить круговую волну поляризации. Однако это происходит при ослаблении другого важного параметра антенны — коэффициента усиления (КУ). Уменьшение предельной КУ при уменьшении КЭ до нуля составляет -3 дБ. Ухудшение КУ из-за ухудшения поляризационных характеристик также называется поляризационными потерями, максимальная величина которых составляет 3 дБ. КУ является важным параметром антенны, который во многом определяет свойства всей системы в целом. Из теории ан-

тени известно, что КУ антенны G можно представить в виде произведения ее коэффициента направленного действия (КНД) D и коэффициента полезного действия (КПД) η

$$G = D \cdot \eta.$$

Возьмем в расчет, что этот параметр полностью определяется ДН антенны. Идеальная антенна СН имеет КНД равный 3 дБ [4]. Увеличить его невозможно при выполнении требований к ДН, которые сформулированы выше. На практике он оказывается выше значения 3 дБ, так как ДН реальной антенны уменьшается при углах θ , близких к 90° . Так или иначе, дальнейшее увеличение КУ из-за изменения шаблона невозможно, так как это может уменьшить количество спутников, от которых потребитель получает сигналы.

3. Результаты моделирования

Для проектирования шлейфного квадратурного моста использовался пакет программ *AWR Design Environment 13*.

Квадратурный мост является четырехпортовой структурой, выполненной из четырех отрезков проводников длиной $\lambda/4$. Так как микрополосковые проводники имеют конечную ширину, то около портов наблюдается перекрытие двух МПЛ, присоединяемых к данному порту. Электромагнитное поле в области перекрытия отличается от такового в неперекрывающихся отрезках МПЛ, что не учитывалось при теоретическом анализе этого МУ, так как поле в отрезках принимается однородным по всей их длине. Чтобы уменьшить влияние данного несоответствия, надо минимизировать размеры области перекрытия. Для этого длина отрезка МПЛ должна быть значительно больше, чем его ширина. Это условие можно выполнить, если использовать подложку с малой толщиной, так как эффективная диэлектрическая проницаемость слабо зависит от ее толщины, и поэтому длина отрезка МПЛ тоже будет мало зависеть от толщины [5, 6].

Модель шлейфного квадратурного моста показана на рис. 3а, топология квадратурного моста — на рис. 3б.

Результатом моделирования схемы квадратурного моста в *AWR Design Environment* являются параметры матрицы рассеяния. На рис. 4 представлен график S -параметров в необходимой рабочей полосе частот для разрабатываемой микрополосковой антенны [7].

Из графиков можно сделать вывод о том, что полученная модель моста удовлетворяет всем необходимым требованиям. Коэффициент отражения от входов на необходимой частоте 1,242 ГГц не превышает 0,013. Размер топологии удовлетворяет размерам МПА, для которой он был спроектирован.

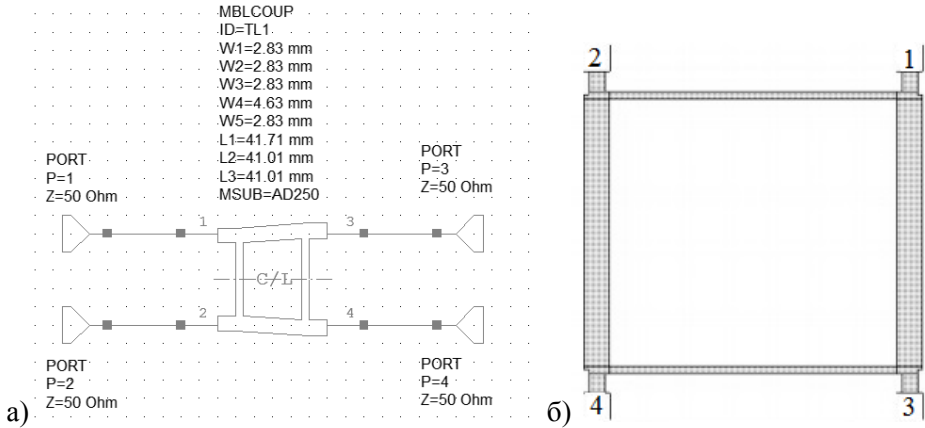


Рис. 3. Вид модели шлейфного квадратного моста (а) и топология квадратного моста (б).
 Fig. 3. Model view of the stub quadrature bridge (a) and topology of the quadrature bridge (b)

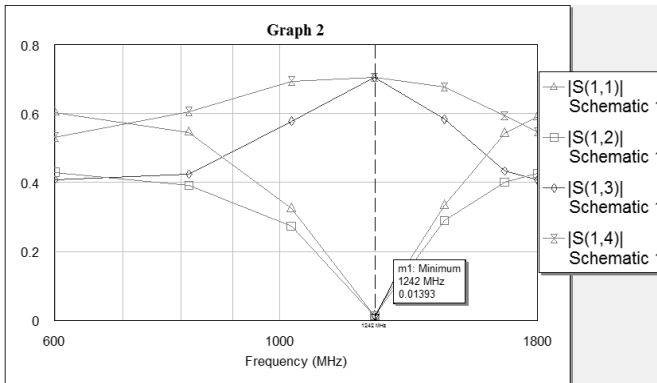


Рис. 4. Графики S-параметров на частоте 1,242 ГГц.

Fig. 4. S-parameter graphs at 1.242 GHz

МПА состоит из пяти слоев: слой квадратного моста, диэлектрический слой подложки для моста, экран, диэлектрический слой подложки для излучателя и излучатель. Излучатель связан с источником радиочастоты через металлические штыри с квадратным мостом, а мост уже непосредственно с коаксиальной линией. Так как излучатель — идеальный проводник, на его поверхности нет тангенциального электрического поля. Кроме того, хотя излучатель открыт по краям, это не идеальная разомкнутая цепь, поскольку диэлектрическая подложка очень тонкая по сравнению с длиной волны на рабочей частоте. Таким образом, апертура излучения больше физической апертуры.

Параметры подложки были выбраны в соответствии с техническими требованиями и, учитывая особенности технологии изготовления подобных элементов, были рассчитаны геометрические размеры излучающего элемента. Размеры экрана были выбраны из соображений использования микрополосковой антенны [8, 9].

Размеры диэлектрической подложки для квадратурного моста были подобраны таким образом, чтобы возможно было спроектировать и смоделировать шлейфный квадратурный мост.

Результат моделирования 3-х слоев антенны — излучателя, основания и экрана — показаны на рис. 5а. Проектирование 2-х слоев антенны — диэлектрика и квадратурного моста показаны на рис. 5б.

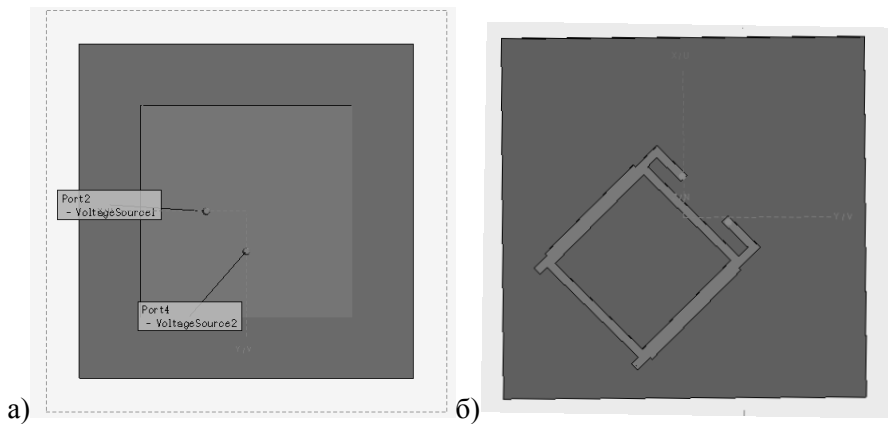


Рис. 5. Вид модели квадратной МПА (а); вид модели квадратурного моста (б).

Fig. 5. Type of model square MSA (a); model view of a quadrature bridge (b)

Питание антенны, как говорилось выше, осуществляется коаксиальным кабелем. Коаксиальный кабель подводится к шлейфному квадратурному мосту, который соединен металлическим стержнем с излучателем. Стержень проходит от квадратурного моста сквозь диэлектрик — заземленный слой — диэлектрик до излучателя. Импеданс можно отрегулировать путем правильного размещения металлического стержня. Когда расстояние точки питания от края излучателя увеличивается, входной импеданс, в целом, уменьшается.

На рис. 5 под именами *Port2* и *Port4* показаны встроенные порты питания в плоскости *XY*.

Для проверки электрических характеристик разработанной МПА получены результаты электромагнитного моделирования с помощью программного обеспечения *CADFEKO*.

Моделирование проводилось в диапазоне 1—1,4 ГГц, центральная частота составляет 1,242 ГГц, которая может обеспечить обратное излучение не более -18 дБ, что отображено на рисунках 6а и 6б. Из рисунков видно, что графики идентичны и имеют почти одинаковые параметры: коэффициент отражения для 1-го порта равен $-18,42$ дБ, для второго порта $-18,71$ дБ.

Для обеспечения приемлемого КПД значения КСВ лежат в пределах от 1,0—2,0. В результате моделирования нашей МПА на центральной частоте получили значение КСВ равно 1,31. Результат расчета зависимости КСВ входа антенны от частоты изображен на рис. 7.

Диапазон рабочих частот антенны по уровню VSWR не более 2,0, составляет от 1,213 ГГц до 1,25 ГГц.

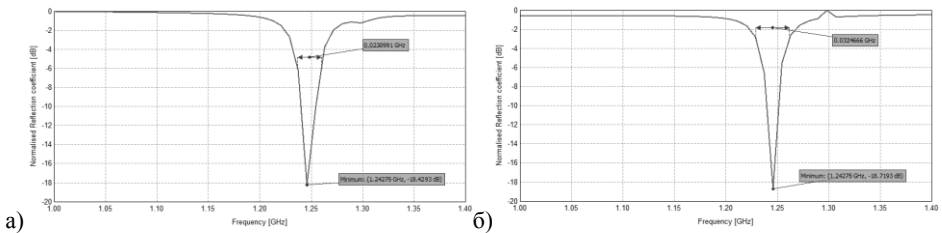


Рис. 6. Результат расчета частотной зависимости коэффициента отражения для 1-го порта (а) и для 2-го порта (б).

Fig. 6. The result of calculating the frequency dependence of the reflection coefficient for the 1st port (a) and for the 2nd port (b)

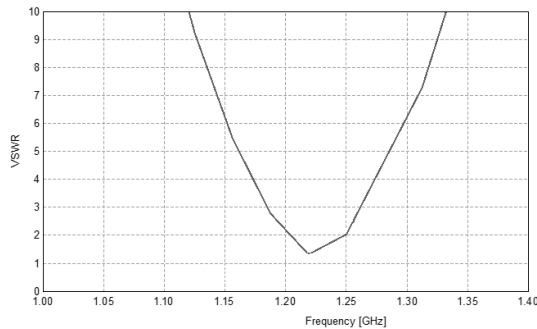


Рис. 7. Результат расчета зависимости КСВ входа антенны от частоты.

Fig. 7. The result of calculating the dependence of the SWR antenna input on frequency

Наиболее важной характеристикой антенны является излучение дальнего поля. 3D-график направленности антенны показан на рис. 8.

Представлены следующие характеристики антенны: пиковая направленность равна $7,18$ дБ, ширина ДН по уровню 3 дБ — 85° , уровень заднего лепестка равен $-9,62$ дБ.

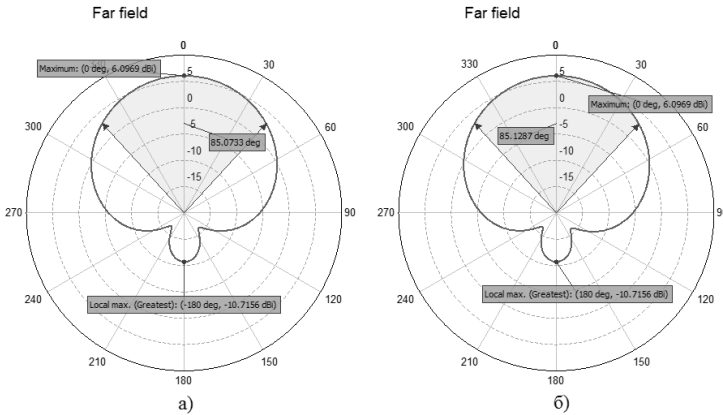


Рис. 8. Результат расчета ДН антенны: при $\varphi = 0^\circ$ (а), при $\varphi = 90^\circ$ (б).

Fig. 8. The result of calculating the antenna bottom: for $\varphi = 0^\circ$ (a), for $\varphi = 90^\circ$ (b)

Для оценки поляризационных свойств антенн используется коэффициент эллиптичности. Результат расчета коэффициента эллиптичности изображен на рис. 9.

Из рис. 9 можно сделать вывод о том, что коэффициент эллиптичности максимален в 0° и составляет 0,98. Такое значение соответствует правой круговой поляризации.

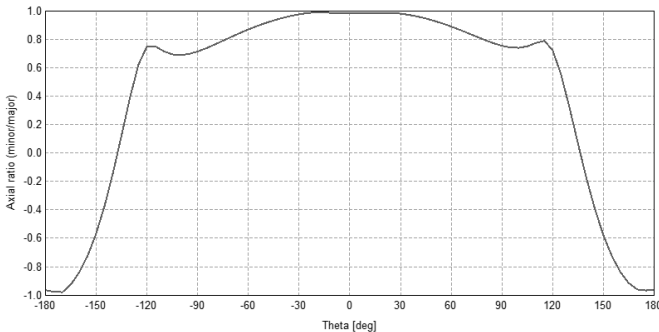


Рис. 9. Результат расчета коэффициента эллиптичности антенны.

Fig. 9. The result of calculating the ellipticity coefficient of the antenna

4. Заключение

В результате проведенного обзора литературе по ГНСС ГЛОНАСС и *GPS* выявлены основные погрешности местоопределения, а также выбран метод борьбы с многолучевостью путем использования микрополосковой антенны круговой поляризации.

На основе рассмотренных принципов построения микрополосковых антенн была разработана микрополосковая антенна правой круговой поляризации. Выполнен расчет антенны и моделирование ее характеристик в программной среде *CADFEKO*.

В результате моделирования антенны были получены следующие характеристики:

- центральная частота 1,242 ГГц;
- значение КСВ на центральной частоте составляет 1,31;
- коэффициенты отражения портов не менее –18,5 дБ;
- диапазон рабочих частот: от 1,213 до 1,25 ГГц;
- коэффициент усиления — 6,09 дБ;
- коэффициент эллиптичности антенны составляет 0,98, что соответствует правой круговой поляризации.

Список литературы

1. ИКД ГЛОНАСС. Глобальная навигационная система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ / ИКД ГЛОНАСС. — М. : ИКД ГЛОНАСС, 2008. — 60 с.
2. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС / В. С. Яценков. — М. : Горячая линия-Телеком, 2007. — 272 с.
3. Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии / К. М. Антонович. — М. : ФГУП «Картгеоцентр», 2010. — 320 с.
4. Банков, С. Е. Антенны спутниковых навигаторов / С. Е. Банков. — М. : Издательство «Перо», 2014. — 693 с.
5. Balanis, C. Antenna Theory (3rd Edition) / C. Balanis. — Б. м., Wiley, 2005. — 1073 p.
6. Johnson, R. Antenna Engineering Handbook / R. Johnson. — Б. м., McGraw-Hill, 1993. — 1512 p.
7. Шаров, Г. А. Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн / Г. А. Шаров. — М. : Горячая линия-Телеком, 2016. — 640 с.
8. Панченко, Б. А. Микрополосковые антенны / Б. А. Панченко, Е. И. Нефёдов. — М. : Радио и связь, 1986. — 144 с.
9. Лавренко, Б. Е. Компьютерное проектирование устройств СВЧ : учеб. пособие. / Б. Е. Лавренко, В. Н. Малышев. — СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. — 120 с.

Информация об авторах

Дурманов Максим Анатольевич, старший преподаватель кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Севастопольского государственного университета, Российская Федерация.

Бобошко Александр Владимирович, выпускник кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Севастопольского государственного университета, Российская Федерация.

Information about the authors

Maksim A. Durmanov, Senior Lecturer of the Department of Radioelectronics and Telecommunications of the Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.

Aleksandr V. Boboshko, graduate of the Department of Radioelectronics and Telecommunications of the Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.