

КОНСТРУКЦИЯ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ С РЕФЛЕКТОРОМ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

М.С. Воробьев¹, Л.П. Кудрин¹, Р.Р. Салихов², А.Б. Хашимов¹

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск;

² ООО «Научно-производственное объединение «Радиотехнические системы», г. Челябинск

Разработана конструкция антенной системы с рефлектором сложной формы. Антенная система представляет собой линейную фазированную решетку из восьми широкополосных излучателей. В статье рассмотрена конструкция широкополосного излучателя с рефлектором. Широкополосность излучателя реализуется большим сечением плеч вибратора. Включение в точке питания излучателя четвертьволнового короткозамкнутого шлейфа на симметричной линии передачи обеспечивает симметрирование питания. Согласование излучателя в широкой полосе частот достигается размещением вблизи плеч излучателя пассивного короткозамкнутого вибратора. Форма вибратора и его положение определяются экспериментально. Рефлектору придана специальная форма для обеспечения электрических свойств излучателя.

Рассмотрена конструкция диаграммообразующей схемы для реализации заданного АФР антенной решеткой. В формировании фазового распределения решетки участвуют предварительно рассчитанные длины соединительных кабелей.

Для защиты антенной системы от климатических факторов конструкцией предусмотрено применение плоского обтекателя и листового стеклотекстолита. Представлены результаты экспериментального исследования опытных образцов отдельных излучателей и антенной системы в целом. При изготовлении антенной системы используются листовые алюминиевые сплавы с применением вырубки, гибки, сварки, нанесения проводящего защитного покрытия. Это обеспечивает низкую стоимость антенной системы, хорошие массогабаритные параметры и высокую технологичность конструкции.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, излучатель, диаграммо-образующая схема, диаграмма направленности, широкополосность, конструкция.

Синтез антенной системы с рефлектором сложной формы рассмотрен в [1]. В настоящей статье рассмотрена практическая реализация данной антенной системы с учетом условий эксплуатации, электрических и технологических требований к ней. К наиболее жестким условиям эксплуатации можно отнести большой диапазон температур ($-50...50$ °С), интенсивные осадки, ветер до 50 м/с. Из электрических требований можно выделить диапазон частот 960...1215 МГц, КСВн в диапазоне частот не более 1,4, уровень выходной мощности в режиме передачи 0,2 кВт (с кратковременным повышением до 0,4 кВт), ширину диаграммы направленности (ДН) в горизонтальной плоскости $\pm 35^\circ$ и специальную форму ДН в вертикальной [1]. Конструктивные решения должны приниматься с учетом снижения массогабаритных параметров и повышения технологичности.

В соответствии с вышеуказанными электрическими требованиями в [1] была синтезирована антенная система, представляющая собой линейную фазированную решетку (ФАР), состоящую из восьми полуволновых излучателей. Амплитудное распределение ФАР жестко определяется конструкцией диаграммообразующей схемы (ДОС) (обсуждается ниже), а фазовое распределение было синтезировано по заданной форме ДН в вертикальной плоскости с учетом рабочего диапазона частот. Поэтому основными задачами разработки антенной системы являются отработка конструкции излучателя ФАР, разработка ДОС и защита конструкции от внешних воздействий.

Конструкция излучателя ФАР является определяющей всей антенной системы. Главная особенность излучателя заключается в относительной широкой рабочей полосе частот – 23 % относительно средней частоты, при достаточно жестких требованиях по согласованию. Отработка широкополосных излучателей ограниченных размеров и со стабильным фазовым центром достаточно сложная задача, трудно поддающаяся теоретическому анализу. В нашем примере конструкция излучателя отработывалась экспериментально.

Классический полуволновый вибратор имеет довольно узкую полосу рабочих частот вследствие сильной частотной зависимости как реактивной, так и активной составляющих его входного сопротивления [2]. Активная составляющая изменяется несколько слабее. Снижению частотной зависимости входного сопротивления вибратора способствует снижение его волнового сопротивления, чего можно добиться увеличением толщины его плеч. Однако это приводит к проблемам его возбуждения. На практике используется компромиссное решение в виде плавно изменяющейся толщины вибратора, начиная от точки возбуждения к концам плеч вибратора. Примером такого решения может служить биконическая антенна, которая, однако, отличается низкой технологичностью.

Другим способом расширения полосы пропускания вибратора является применение частотно-компенсирующих элементов. Примером такого элемента может служить четвертьволновый короткозамкнутый шлейф, подключенный ко входу вибратора [2]. Он же может быть использован и в качестве симметрирующего устройства. Однако для эффективной частотной компенсации требуется очень низкое волновое сопротивление шлейфа, трудно реализуемое на практике. Следующим примером частотно-компенсирующего элемента может служить короткий пассивный вибратор, расположенный вблизи излучающего вибратора. Компенсация здесь обусловлена наводимым реактивным сопротивлением в активном вибраторе.

Очевидно, что для существенного расширения рабочей полосы частот целесообразно применить комплекс мер. Разработанная конструкция излучателя показана на рис. 1.

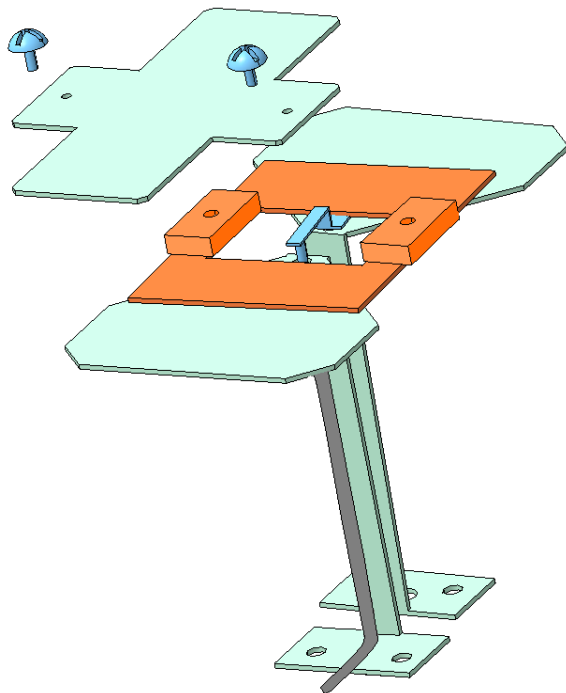


Рис. 1. Конструкция излучателя

Вибратор, стойки его крепления и основание изготавливаются из листового материала. Плечи вибратора, таким образом, являются плоскими и имеют клиновидную форму. Небольшие скосы на концах плеч позволяют снизить отраженные от них волны. Плечи фиксируются относительно друг друга с помощью диэлектрической пластины прямоугольной формы, в центре которой прорезано отверстие овальной формы для размещения узла питания. Вибратор устанавливается на отражателе с помощью двух стоек, выполняющих одновременно роль симметрирующего устройства. Для этого они выполнены в виде четвертьволновой симметричной линии. Ширина полосок-стоек и расстояние между ними выбирались из конструктивных соображений (обеспечение жесткости конструкции). Волновое сопротивление такой полосковой линии слишком велико для того чтобы использовать ее в качестве частотно-компенсирующего элемента. Поэтому в конструкцию излучателя введена компенсационная пластина, выполняющая роль пассивного вибратора. Пластина установлена на диэлектрических подставках. Форма пластины, толщина подставок подобраны экспериментально для достижения максимального согласования в полосе рабочих частот. Возбуждение вибратора производится с помощью коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом. Кабель прокладывается по внешней стороне одной из стоек. Наружная оплетка кабеля в месте соединения ее с плечом вибратора и по всей длине стойки пропаивается без зазоров. Конструкция узла возбуждения понятна из рисунка.

Отработка конструкции производилась с учетом геометрии отражателя, исключающего излучение в заднюю полуплоскость. Геометрия отражателя, рассчитанная в [1], показана на рис. 2.

Отражатель представляет собой короб трапецевидной формы и является одновременно несущей частью антенной системы. Поперечные размеры короба подобраны таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечить необходимую ширину ДН в горизонтальной плоскости и, с другой стороны, полностью скрыть излучатель (это позволило применить плоский обтекатель). Продольный размер короба определяется размещением восьми излучателей по его длине.

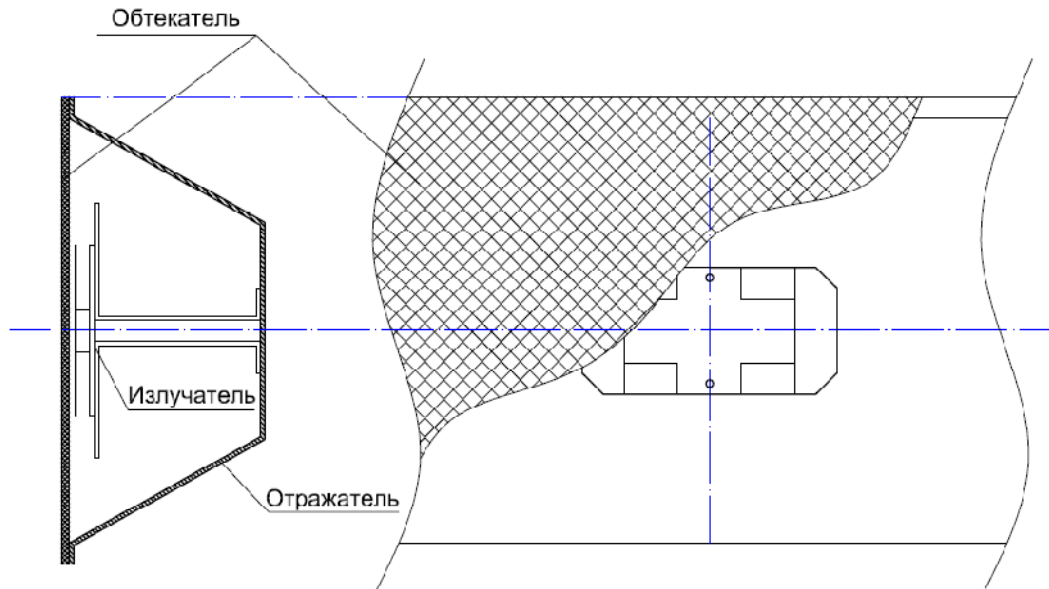


Рис. 2. Установка излучателя в короб

Расчетная и экспериментальная формы ДН в горизонтальной плоскости показаны на рис. 3. На рис. 4 приведены результаты экспериментального исследования согласования излучателя. Измерения ДН и согласования проводились на измерительном стенде антенного полигона с помощью измерителя комплексных коэффициентов передачи «Обзор-103» фирмы «Планар». Так как лучшее совпадение расчетных и экспериментальных результатов наблюдается на средней частоте (1080 МГц), то на рис. 3 представлены результаты ДН для менее благоприятных крайних частот диапазона. Необходимо отметить низкую чувствительность электрических параметров излучателя к погрешностям его изготовления. Единственным элементом настройки излучателя после его изготовления при необходимости может служить высота диэлектрических подставок пассивного вибратора, которая подбирается по критерию согласования в полосе частот.

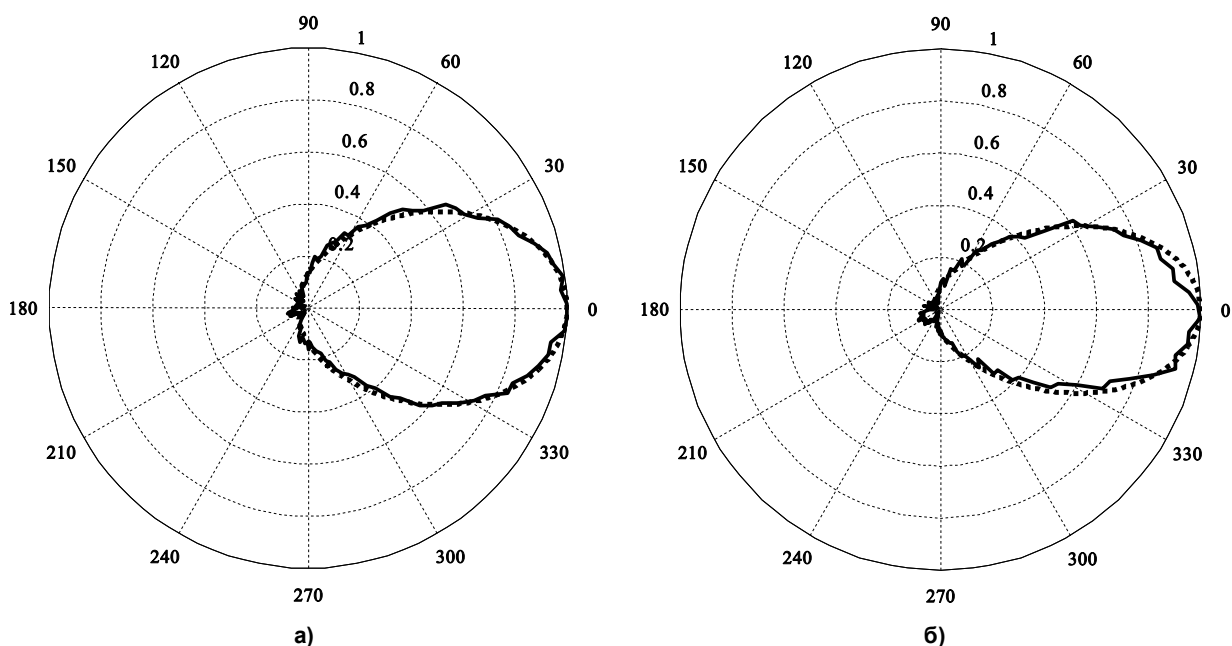


Рис. 3. Диаграммы направленности излучателя антенной системы в горизонтальной плоскости (сплошная линия – расчетная ДН; штрих – экспериментальная ДН): а – на частоте 960 МГц, б – на частоте 1215 МГц

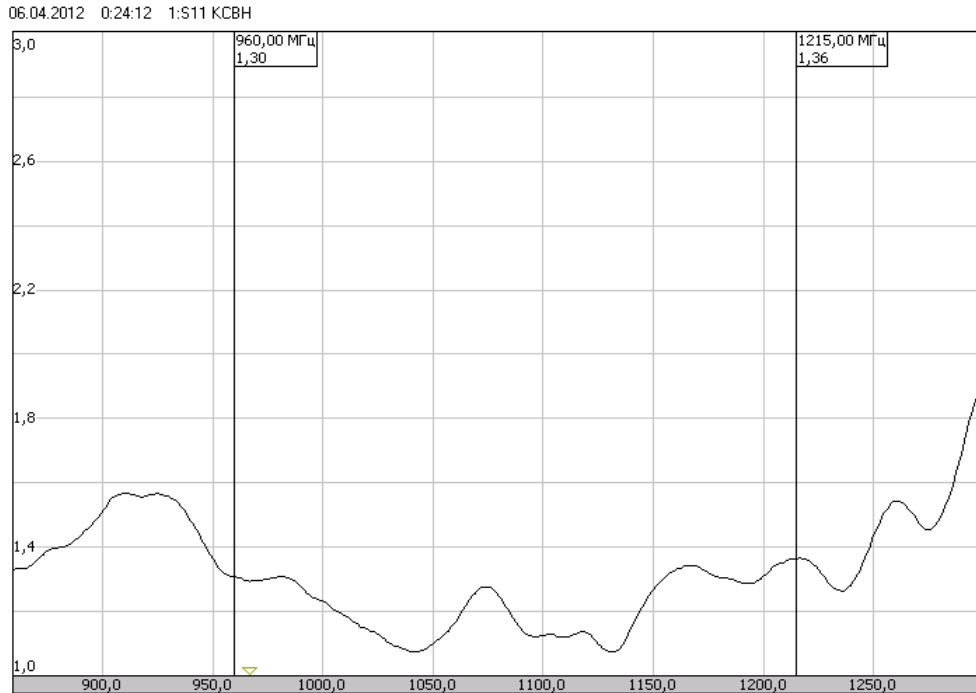


Рис. 4. Зависимость КСВн на входе излучателя от частоты

Диаграммо-образующая схема (ДОС) обеспечивает необходимое амплитудно-фазовое распределения на входах излучателей ФАР. ДОС представлена на рис. 5.

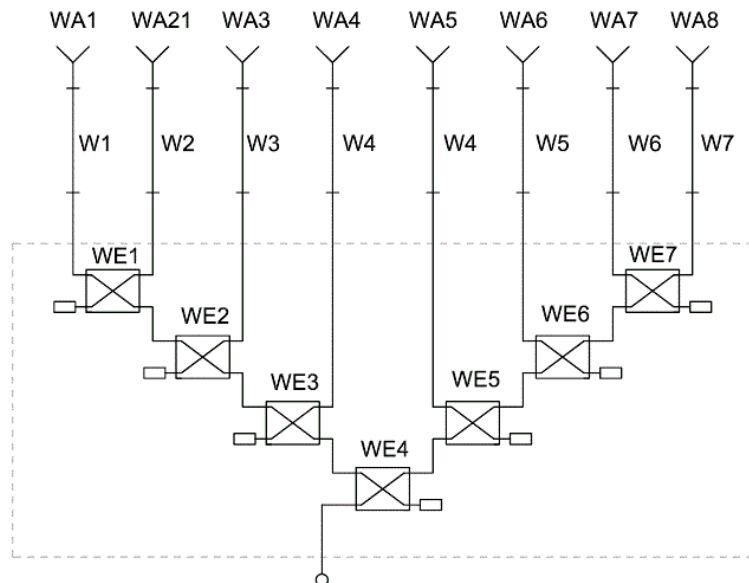


Рис. 5. Диаграммообразующая схема антенной системы

При разработке конструкции ДОС в первую очередь принималось во внимание обеспечение ее высокой технологичности. Поэтому для построения ДОС были использованы промышленно выпускаемые квадратурные мосты. Включение мостов по схеме, показанной на рис. 5, обеспечивает спадающее к краям амплитудное распределение с соотношением амплитуд на выходах. Необходимое фазовое распределение [1] обеспечивается длинами коаксиальных кабелей W1–W8 с учетом фазовых сдвигов в ДОС. Все квадратурные мосты WE1–WE7 расположены на одной плате, выполненной из фольгированного высокочастотного материала. Для соединения элементов в пределах платы использованы копланарные линии передачи с волновым сопротивлением 50 Ом. Конструкция платы ДОС показана на рис. 6.

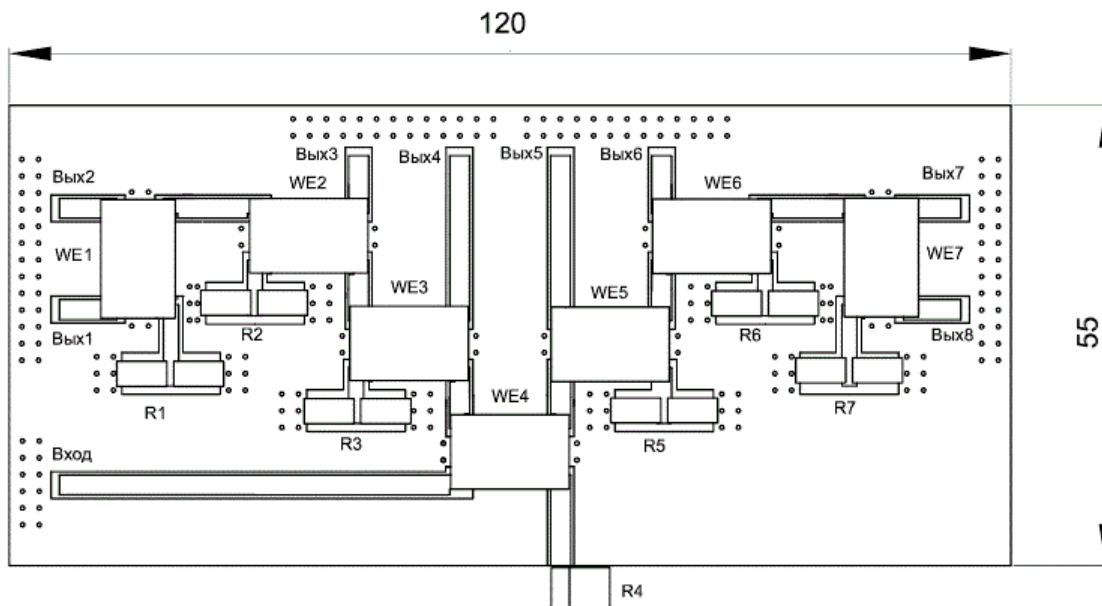


Рис. 6. Конструкция платы ДОС

Балластные резисторы R1–R3 и R5–R7 образованы из двух параллельно включенных резисторов 100 Ом и каждый имеет суммарную мощность рассеяния 2 Вт. Балластный резистор входного квадратного моста WE4 номиналом 50 Ом имеет мощность рассеяния 15 Вт и установлен на теплоотводящем основании вне подложки. Квадратурные мосты и балластные резисторы монтируются на поверхность платы (SMD технология).

Упрощенное изображение конструкция антенной системы (рабочее положение – вертикальное) приведено на рис. 7.

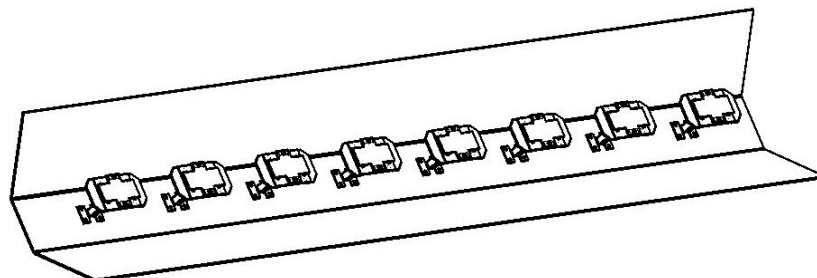


Рис. 7. Конструкция антенной системы

Все элементы ФАР (излучатели и ДОС) размещены внутри корпуса отражателя. Плата ДОС (условно не показана) расположена посередине корпуса для минимизации длин фазированных кабелей. Все кабели проложены по стенкам корпуса и должны быть надежно закреплены. ДН ФАР в горизонтальной плоскости аналогична ДН отдельного излучателя и рассмотрена ранее. Расчетные и экспериментальные ДН ФАР в вертикальной плоскости, сформированные системой излучателей и ДОС, приведены на рис. 8. Качество согласования антенной системы представлено результатами экспериментального исследования на рис. 9.

Результаты экспериментального исследования антенной системы показывают качественное выполнение электрических требований, предъявленных при разработке системы.

Защита антенной системы от внешних воздействий обеспечивалась при принятии конструктивных решений. В антенной системе применяются материалы и компоненты, сохраняющие свои параметры в заданном температурном диапазоне. Защита ФАР от климатических факторов обеспечивается размещением всех компонентов ФАР в герметичном коробчатом корпусе.

Корпус закрыт радиопрозрачным плоским обтекателем из листового стеклотекстолита с применением герметика. Механическая прочность конструкции ФАР обеспечивается коробчатым сечением корпуса антенны с приваренными наружными стенками и усилением конструкции обтекателем.

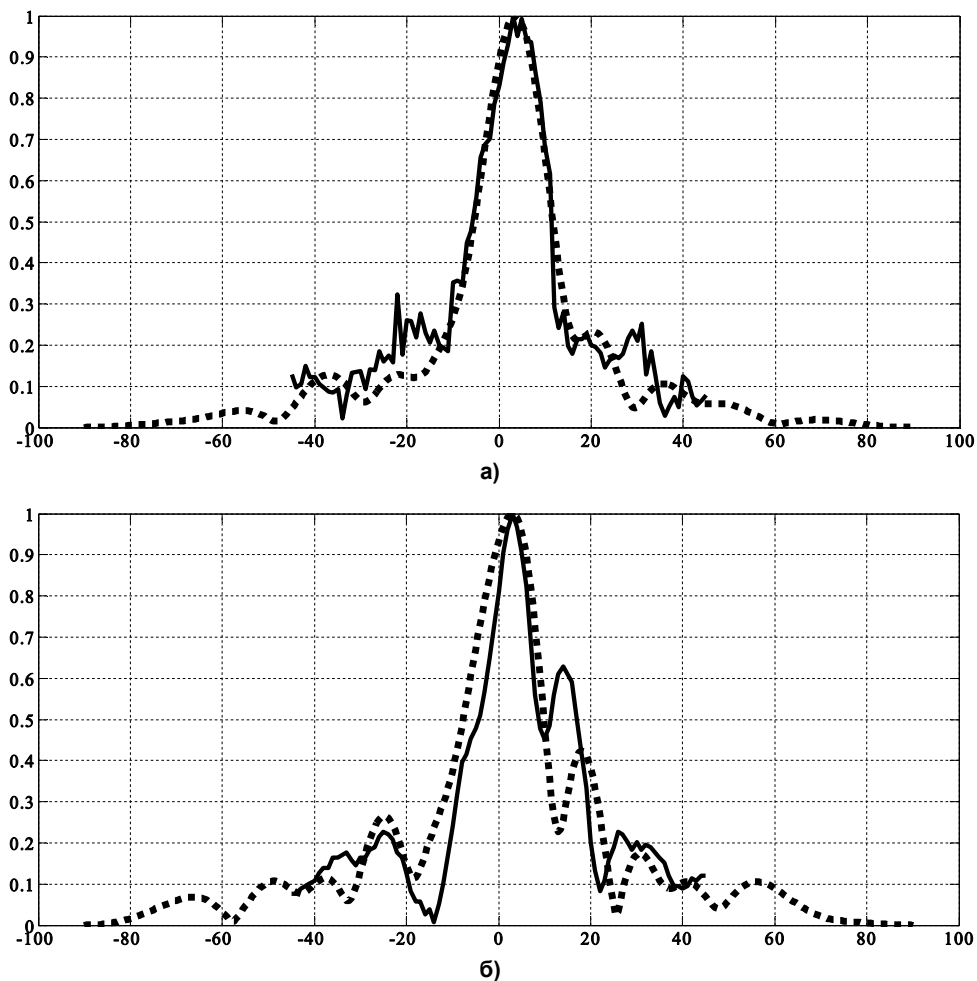


Рис. 8. Диаграммы направленности ФАР в вертикальной плоскости (сплошная линия – расчетная ДН; штрих – экспериментальная ДН): а – на частоте 960 МГц, б – на частоте 1215 МГц

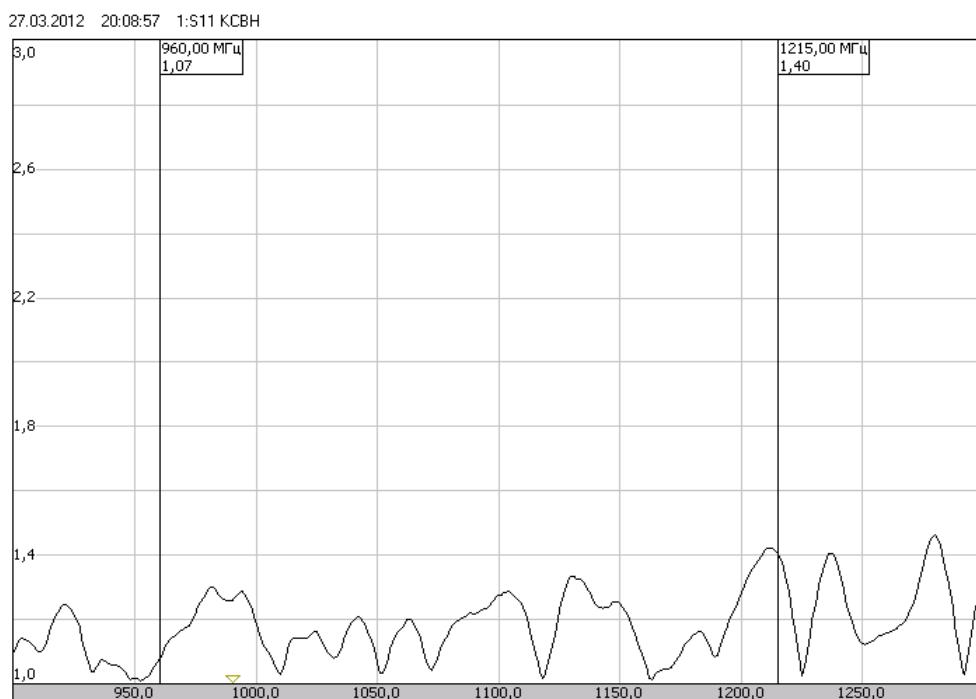


Рис. 9. Зависимость КСВн на входе антенной системы от частоты

Выбранные простые конструктивные решения составных частей антенной системы позволяют использовать для их реализации листовые алюминиевые сплавы, применяя простые и доступные технологии вырубки и гибки, с последующим нанесением проводящих окисных покрытий. При этом масса антенной системы не превышает 10 кг.

Антенна предназначена для размещения на мачте, но разработка конструкции крепления ее к мачте в данной статье не рассматривается.

Литература

1. Войтович, Н.И. Обобщенные математические модели антенн радионавигационных систем / Н.И. Войтович, А.Б. Хашимов // Антенны. – 2014. – № 1 (200). – С. 8–14.

2. Антенно-фидерные устройства / А.Л. Дробкин, В.Л. Зузенко, А.Г. Кислов и др. – М.: Советское радио, 1974 – 536 с.

Воробьев Михаил Степанович, канд. техн. наук, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; vms@drts.susu.ac.ru.

Кудрин Леонид Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; klp@kipr.susu.ac.ru.

Салихов Ринат Рафикович, главный конструктор, ООО «Научно-производственное объединение «Радиотехнические системы», г. Челябинск; salihov@nports.ru.

Хашимов Амур Бариевич, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; xab@kipr.susu.ac.ru.

Поступила в редакцию 24 мая 2015 г.

DOI: 10.14529/ctcr150310

THE DESIGN OF THE ANTENNA SYSTEM WITH COMPLEX SHAPE REFLECTOR

*M.S. Vorob'ev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, vms@drts.susu.ac.ru,
L.P. Kudrin, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, klp@kipr.susu.ac.ru,
R.R. Salikhov, JSC Research and Development company "Radio Engineering Systems", Chelyabinsk,
Russian Federation, salihov@nports.ru,
A.B. Khashimov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, xab@kipr.susu.ac.ru*

The design of the antenna system with complex shape reflector is developed. The antenna system is a linear phased array of the eight broadband radiators. The design of a broadband radiator with a reflector is considered. Inclusion of the quarter-emitter short-circuited loop on the symmetrical transmission line in the feed point provides a power balancing. Coordination of the radiator in a wide frequency band is achieved by placing of the passive short dipole near the radiator current elements. The shape of the dipole and its position are determined experimentally. Reflector is specially shaped to provide the electrical properties of the radiator.

The design of the beam-forming circuit for implementing a given amplitude-phase distribution of array excitation is offered. Previously calculated lengths of connecting cables participate in the formation of the phase distribution of antenna array.

Application of the flat sheet and fiberglass fairing is provided by the design for protection of the antenna system against climatic factors. The experimental results for radiator and prototype antenna system in general are presented. Aluminum alloy sheet with cutting, bending, welding and applying

a conductive protective coating are used in the manufacture of the antenna system. This provides low cost of the antenna system, good mass-size parameters and high manufacturability of the design.

Keywords: phased array, radiator, beam-forming circuit, pattern, broadband, structure.

References

1. Voitovich N.I., Khashimov A.B. [Generalized Mathematical Model of Antennas for Navigation Systems]. *Antennas*, 2014, no. 1 (200), pp. 8–14.
2. Drabkin A.L., Zuzenko V.L., Kislov A.G. *Antenno-fidernye ustroystva* [Antennas and Feeder Devices]. Moscow, Soviet Radio Publ., 1974. 536 p.

Received 24 May 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Конструкция антенной системы с рефлектором сложной формы / М.С. Воробьев, Л.П. Кудрин, Р.Р. Салихов, А.Б. Хашимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 75–82. DOI: 10.14529/ctcr150310

FOR CITATION

Vorob'ev M.S., Kudrin L.P., Salikhov R.R., Khashimov A.B. The Design of the Antenna System with Complex Shape Reflector. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 75–82. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150310