

Физика волновых процессов и радиотехнические системы

УДК 537.876+621.39
DOI 10.18469/1810-3189.2019.22.3.10-14

Дата поступления: 18.08.2019
Дата принятия: 04.09.2019

Антенна кругового обзора на основе линейно расширяющихся симметричных щелевых линий

В.П. Заярный¹, Е.И. Нефедов², В.А. Неганов³,
И.Н. Пономарев⁴, С.А. Парнула¹, С.В. Гирич¹, В.С. Гирич¹

¹ Волгоградский государственный технический университет
400005, Российская Федерация, г. Волгоград
пр. им. В.И. Ленина, 28

² Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН
141190, Российская Федерация, Московская обл., г. Фрязино
пл. Введенского, 1

³ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

⁴ Волгоградский государственный университет
400062, Российская Федерация, г. Волгоград
Университетский пр., 100

Описаны свойства антенны кругового обзора, выполненной на основе излучателей в виде линейно расширяющихся щелевых линий, размещенных на двух соосно расположенных дисках, смещенных азимутально на угол 45° . Антенна работает в диапазоне частот (8–12) ГГц, предназначена для формирования направленного излучения, обеспечивающего круговой или секторный обзор.

Ключевые слова: антенна, щелевая линия, СВЧ-диапазон, диаграмма направленности, ширина луча по половинной мощности, частота.

В настоящее время продолжается разработка и исследование новых образцов антенн и антенных устройств, которые являются важнейшими функциональными звеньями в приемопередающей аппаратуре радиотехнических систем (РТС). Учитывая существующую тенденцию к исследованию микроволнового диапазона, в частности радиотехнических систем на основе объемных интегральных схем (ОИС) СВЧ-, КВЧ- и оптического диапазона [1; 2], а также в области видеолокации, при разработке охранных систем и других радиоэлектронных устройств СВЧ-диапазона,

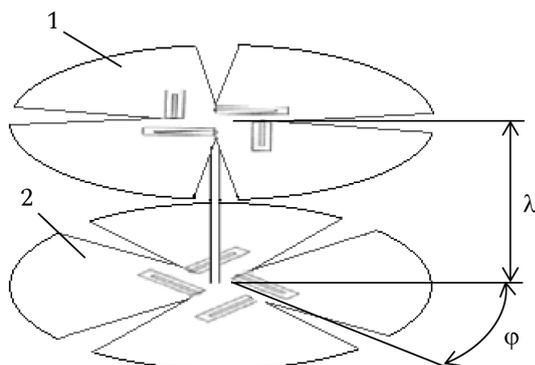


Рис. 1. Общий вид антенны кругового обзора

разработка новых антенн, исследование их электродинамических и излучательных характеристик является важным и актуальным.

Варианты подобных антенных систем описаны, например, в [3–6], однако они имеют ряд недостатков. Прежде всего это сложность и жесткость конструкции, не позволяющая гибко регулировать частотный диапазон, оптимизировать форму диаграмм направленности излучателей, что необходимо осуществлять при разработке предлагаемой антенной системы, а при наличии слоя диэлектрика, в нем имеет место также и потеря энергии.

Задача данного исследования заключалась в том, чтобы разработать антенну кругового обзора (АКО), позволяющую обеспечить возможность гибко регулировать ширину главных лепестков диаграмм направленности излучателей, а также обеспечить оптимальное перекрытие главных лепестков диаграмм направленности излучателей в составе АКО, при сохранении простоты и надежности ее конструкции.

Общий вид разработанной АКО приведен на рис. 1 [7]. Она содержит диски 1 и 2 (вид одного диска приведен на рис. 2), толщиной (0,3÷0,5) мм

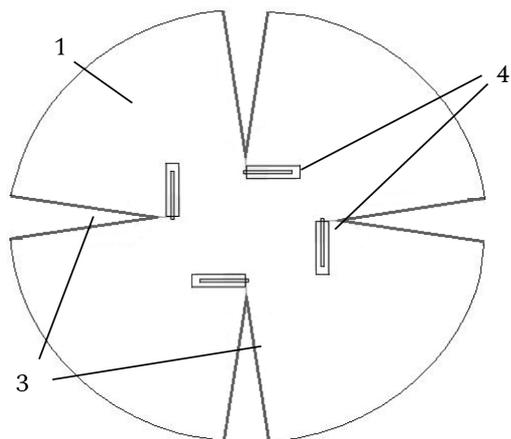


Рис. 2. Вид одного диска антенны кругового обзора

и диаметром $10\lambda = 30$ см, соосно расположенные на металлическом стержне, на расстоянии длины волны λ друг от друга и выполненные из высокопроводящего материала (медь, алюминий). На дисках имеются излучатели электромагнитного поля 3 в виде линейно расширяющихся щелевых линий и полосковые линии 4, выполненные из медной фольги, имеющие длину $2,5\lambda$, ширину 2 мм и предназначенные для согласования излучателей с питающим фидером. Диски 1 и 2 развернуты азимутально относительно друг друга на угол $\varphi = 45^\circ$ (рис. 1), а угол между соседними излучателями на каждом диске составляет 90° (рис. 2).

Данная антенна кругового обзора работает следующим образом. При подаче СВЧ-сигнала через полосковые линии 4, являющиеся широкополосными линиями связи с плавным переходом для уменьшения паразитного излучения, в щелях 3 возбуждается электромагнитное поле, которое, проходя вдоль этих щелей, излучается в окружающее пространство, образуя соответствующие диаграммы направленности (ДН). Выбранное геометрическое расположение щелей и дисков позволяет сформировать практически не пересекающиеся ДН от каждого излучателя и в то же время охватить все окружающее пространство, или отдельные секторы. Для повышения электродинамической развязки к излучателям на дисках 1 и 2 можно подводить сигнал на разных частотах в рабочем диапазоне частот (8–12) ГГц. При этом диаграммы направленности в электродинамических плоскостях E и H остаются практически неизменными в указанном частотном диапазоне (см. далее). Изменение геометрических размеров щелей 3 и полосковых линий 4 позволяет регулировать форму ДН излучателей и частотный диапазон излучения. При проектировании данной АКО для достижения ее наилучших электродинамиче-

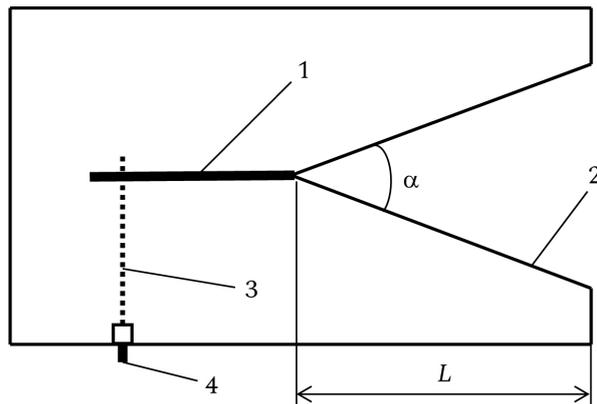


Рис. 3. Одиночный излучатель с линейно расширяющимся раскрытом: 1 – симметричная щелевая линия; 2 – линейно расширяющийся раскрыт; 3 – питающая микрополосковая линия; 4 – коаксиальный разъем

ских свойств учитывались основные положения, изложенные в [8; 9].

Наиболее важные электродинамические свойства одиночного излучателя (рис. 3), на основе которого создавалась данная антенна кругового обзора, теоретически и экспериментально уже исследовались нами и опубликованы в работах [10–13]. В указанных работах результаты исследований получены для излучателей, у которых ширина главного лепестка ДН определялась их длиной L и углом раскрытия α (рис. 3). Как далее будет показано, для данной АКО оптимальная ДН получается при $L = 3\lambda = 9$ см и значении угла $\alpha = 60^\circ$. Измерения ДН производились на центральной частоте указанного частотного диапазона $f_0 = 10$ ГГц ($\lambda = 3$ см).

Для данного случая, используя математические модели и методику расчета ДН, приведенные в [10–13], получена расчетная диаграмма направленности (рис. 4), из которой видно, что ширина ее главного лепестка по половинной мощности порядка 51° . Измеренная опытным путем по методике, использованной в [10–13] ДН для этих же излучателей на частоте $f_0 = 10$ ГГц, приведена на рис. 5. Она имеет ширину главного лепестка по половинной мощности порядка 52° , а уровень ее боковых лепестков мог достигать значений 0,47 от уровня максимальной мощности излучения.

При исследовании диаграмм направленности данных излучателей в рабочем диапазоне частот (8–12) ГГц выявлено [10–13], что для заданной геометрии излучателей, их ДН в обеих электродинамических плоскостях (как в E -, так и в H -плоскости) существенно не изменялись и по своим параметрам были близки к ДН, приведенным на рис. 4, рис. 5 (для частоты $f_0 = 10$ ГГц). Поскольку раз-

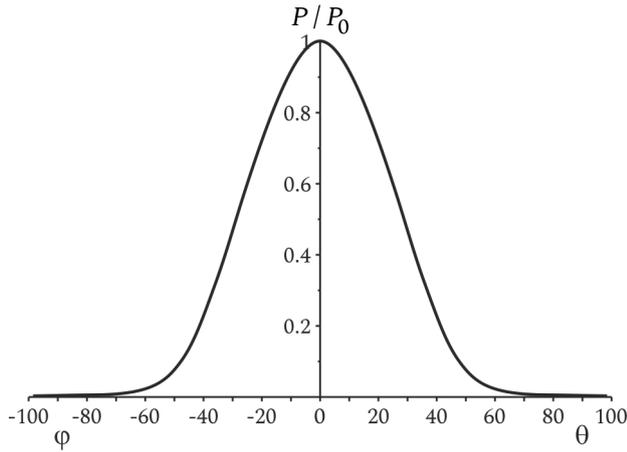


Рис. 4. Рассчитанная диаграмма направленности исследуемых излучателей длиной $L = 90$ мм, с углом раскрыва $\alpha = 60^\circ$

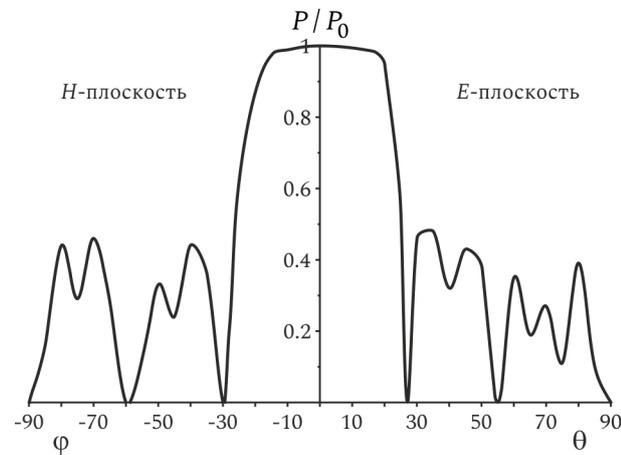


Рис. 5. Экспериментально измеренная диаграмма направленности исследуемых излучателей длиной $L = 90$ мм, с углом раскрыва $\alpha = 60^\circ$

рабатываемая АКО должна обеспечивать обзор в азимутальной плоскости, то в дальнейшем для характеристики ее излучательных элементов будем рассматривать диаграммы направленности только в E -плоскости.

Из анализа характеристик ДН одиночных излучателей [10–13] также следует, что, если излучатели конструктивно располагать на диске в радиальных от его центра направлениях, то можно разместить до восьми излучателей, обеспечивающих практически полный круговой и любой секторный обзор. Однако эксперимент показал, что размещение восьми излучателей на одном диске не обеспечивает электродинамическую развязку (отсутствие перекрытия главных лепестков ДН) для соседних излучателей. При этом изменение формы ДН путем изменения геометрических параметров излучателя (например, уменьшением угла раскрыва) в данном случае нецелесообразно, т. к. может привести к нежелательному искажению ДН и вызвать ухудшение качества обзора АКО.

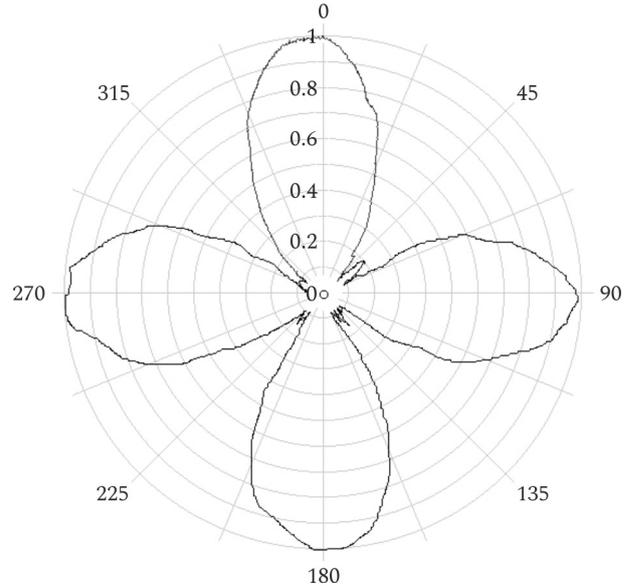


Рис. 6. Диаграмма направленности дисковой антенной решетки с четырьмя излучателями

Также экспериментально установлено, что наилучшую электродинамическую развязку излучателей обеспечивает конструкция в виде антенной решетки, имеющей четыре излучателя на одном диске, как это показано на рис. 2. ДН такой конструкции антенной решетки приведена на рис. 6, из которого видно, что перекрытия всего окружающего пространства такая конструкция пока еще не обеспечивает. Поэтому наиболее оптимальным является вариант конструкции АКО, представляющей собой два одинаковых, соосно расположенных диска, азимутально смещенных друг относительно друга на угол 45° (рис. 1) и работающих на разных частотах, что обеспечивает пространственное и частотное разнесение диаграмм направленности излучателей.

Достигнутая электродинамическая развязка излучателей для конструкции рис. 2 позволяет считать, что излучатели и их ДН в данном случае являются независимыми. Экспериментально установлено, что оптимальное расстояние между дисками (рис. 1), обеспечивающее требуемую электродинамическую развязку между излучателями верхнего и нижнего дисков, составляет одну длину волны λ (в нашем случае было взято значение $\lambda = 3$ см для всего рабочего диапазона частот). С учетом изложенного, диаграмму направленности всей АКО можно представить в виде восьми лепестков, четыре из которых формируются излучателями верхнего диска, рис. 2 (их ДН приведена на рис. 6), и четыре – идентичными излучателями нижнего диска, азимутально смещенными на угол 45° .

Список литературы

1. Неганов В.А., Нефедов Е.И., Яровой Г.П. Полосково-щелевые структуры сверх- и крайневысоких частот. М.: Наука, Физматлит, 1996. 304 с.
2. Nefyodov E.I., Smolsky S.M. Understanding of Electrodynamics, Radio Wave Propagation and Antennas: Lecture course for students and engineers. Wuhan: Scientific Research Publishing, 2012. 449 p.
3. Гвоздев В.И., Гирич С.В., Пономарев И.Н. Антенна. Патент РФ № 2047249 бюл. изобр. 1995. № 30.
4. Дискосая антенна кругового обзора на симметричных щелевых излучателях / А.А. Фролов [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. № 4. С. 84–87.
5. Frolov A.A., Girich S.V., Zayarnyi V.P. Microwave all-around looking antenna // Radiophysics and Quantum Electronics. 2013. Vol. 55. № 10–11. P. 629–633. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11141-013-9400-x>.
6. Фролов А.А., Гирич В.С., Заярный В.П. Антенна кругового обзора. Патент на полезную модель № 103676. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 апреля 2011 г.
7. Парпула С.А., Гирич С.В., Заярный В.П., Свежинцев Е.Н. Антенна кругового обзора. Патент на полезную модель № 138564. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 18 февраля 2014 г.
8. Неганов В.А., Раевский С.В., Яровой Г.П. Линейная макроскопическая электродинамика. Т. 1 / под ред. В.А. Неганова. М.: Радио и связь, 2000. 509 с.
9. Неганов В.А., Нефедов Е.И., Яровой Г.П. Электродинамические методы проектирования устройств СВЧ и антенн: уч. пос. для вузов / под ред. В.А. Неганова. М.: Радио и связь, 2002. 416 с.
10. Изучение электродинамических характеристик плоских симметричных антенн микроволнового диапазона с линейно расширяющимся раскрытием / В.П. Заярный [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 4. С. 18–23.
11. Влияние угла раскрытия плоских коротких щелевых антенн микроволнового диапазона на их излучательные характеристики / В.П. Заярный [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 2. С. 72–77.
12. Zayarnyi V.P., Parpula S.A., Girich V.S. Analysis of characteristics of plane microwave antennas with a linearly expanding aperture for disk antenna arrays // Technical Physics. 2014. Vol. 59. № 11. P. 1684–1688. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063784214110279>.
13. Studying the influence of opening angles of planar short slot microwave antennas on their electrodynamic characteristics / V.P. Zayarnyi [et al.] // Radiophysics and Quantum Electronics. 2016. Vol. 59. № 6. P. 479–483. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11141-016-9716-4>.

References

1. Neganov V.A., Nefedov E.I., Jarovoj G.P. Poloskovo-schelevye struktury sverh- i krajnevysokih chastot [Strip-slotted structures of ultra- and ultra-high frequencies]. M.: Nauka, Fizmatlit, 1996, 304 p. [in Russian].
2. Nefyodov E.I., Smolsky S.M. Understanding of Electrodynamics, Radio Wave Propagation and Antennas: Lecture course for students and engineers. Wuhan: Scientific Research Publishing, 2012, 449 p. [in English].
3. Gvozdev V.I., Girich S.V., Ponomarev I.N. Antenna [Antenna]. Patent RF № 2047249 bjul. izobr. 1995. № 30 [in Russian].
4. Frolov A.A. [et al.] Diskovaja antenna krugovogo obzora na simmetrichnyh schelevyh izluchateljah [Circular antennas circular viewing on symmetrical slot emitters]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy* [Physics of wave processes and radio engineering systems], 2012, vol. 15, no. 4, pp. 84–87 [in Russian].
5. Frolov A.A., Girich S.V., Zayarnyi V.P. Microwave all-around looking antenna. *Radiophysics and Quantum Electronics*, 2013, vol. 55, no. 10, pp. 629–633. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11141-013-9400-x> [in English].
6. Frolov A.A., Girich V.S., Zayarnyj V.P. Antenna krugovogo obzora [Aerial of all-round visibility]. Utility Model Patent № 103676. Zaregistrovano v Gosudarstvennom reestre poleznyh modelej Rossijskoj Federatsii [Registered in the State Register of Utility Models of the Russian Federation], 20 April 2011 [in Russian].
7. Parpula S.A., Girich S.V., Zayarnyj V.P., Svezhintsev E.N. Antenna krugovogo obzora [Aerial of all-round visibility]. Utility Model Patent № 138564. Zaregistrovano v Gosudarstvennom reestre poleznyh modelej Rossijskoj Federatsii [Registered in the State Register of Utility Models of the Russian Federation], 18 February 2014 [in Russian].
8. Neganov V.A., Raevskij S.V., Jarovoj G.P. Linejnaja makroskopicheskaja elektrodinamika. T. 1 [Linear macroscopic electrodynamics. Vol. 1] / ed. by V.A. Neganov. M.: Radio i svjaz', 2000, 509 p. [in Russian].
9. Neganov V.A., Nefedov E.I., Jarovoj G.P. Elektrodinamicheskie metody proektirovanija ustrojstv SVCh i antenn: uch. pos. dlja vuzov [Electrodynamic design methods for microwave devices and antennas]. Ed. by V.A. Neganov. M.: Radio i svjaz', 2002, 416 p. [in Russian].
10. Zayarnyj V.P. [et al.] Izuchenie elektrodinamicheskikh harakteristik ploskih simmetrichnyh antenn mikrovolnovogo diapazona s linejno rasshirjajuschimsja raskryvom [Studying the electrodynamic characteristics of flat symmetric microwave antennas with a linearly expanding opening]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy* [Physics of wave processes and radio engineering systems], 2015, no. 4, pp. 18–23 [in Russian].
11. Zayarnyj V.P. [et al.] Vlijanie ugla raskryva ploskih korotkih schelevyh antenn mikrovolnovogo diapazona na ih izluchatel'nye harakteristiki [The influence of the aperture angle of flat short slotted antennas of the microwave range on their emissive characteristics]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy* [Physics of wave processes and radio engineering systems], 2015, no. 2, pp. 72–77 [in Russian].
12. Zayarnyi V.P., Parpula S.A., Girich V.S. Analysis of characteristics of plane microwave antennas with a linearly expanding aperture for disk antenna arrays. *Technical Physics*, 2014, vol. 59, no. 11, pp. 1684–1688. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063784214110279> [in English].
13. Zayarnyi V.P. [et al.] Studying the influence of opening angles of planar short slot microwave antennas on their electrodynamic characteristics. *Radiophysics and Quantum Electronics*, 2016, vol. 59, no. 6, pp. 479–483. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11141-016-9716-4> [in English].

All-around looking antenna based on linear expanding symmetric slot lines

V.P. Zaiarny¹, E.I. Nefyodov², V.A. Neganov³,
I.N. Ponomarev⁴, S.A. Parpula¹, S.V. Girich¹, V.S. Girich¹

¹ Volgograd State Technical University
28, Lenin Avenue

Volgograd, 400005, Russian Federation

² Fryazino Branch of Institute of Radio Engineering and Electronics named after V.A. Kotelnikov (RAS)
1, Vvedenskogo Square

Fryazino, Moscow Region, 141190, Russian Federation

³ Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics
23, L. Tolstoy Street

Samara, 443010, Russian Federation

⁴ Volgograd State University

100, Universitetskii prospect

Volgograd, 400062, Russian Federation

Properties of the all-around looking antenna executed on a basis of radiators in the form of linearly expanding slot lines placed on two coaxially located disks displaced azimuthal on a corner 45° are described. The antenna works in the frequency range of (8–12) GHz, is intended for forming of the directional radiation providing the circular or sector scan.

Keywords: antenna, slot line, microwave range, directional diagram, half power beam width, frequency.

Неганов, В.А.

Теория и применение устройств СВЧ: учебн. пособие для вузов / В.А. Неганов, Г.П. Яровой; под ред. В.А. Неганова. – М.: Радио и связь, 2006. – 720 с.



ISBN 5-256-01812-4

УДК 621.396.67

ББК 32.840

Н 41

В учебном пособии рассматриваются методы проектирования и конструктивной реализации устройств СВЧ: линий передачи различных видов, резонаторов, согласующих и трансформирующих устройств, фильтров, фазовращателей, аттенюаторов, тройниковых соединений, направленных ответвителей, различных мостовых соединений, ферритовых устройств (вентилей, циркуляторов, фазовращателей) и СВЧ-устройств на полупроводниковых диодах (умножителей, смесителей, переключателей, выключателей). Приводятся примеры применения устройств СВЧ в радиосвязи, радиолокации, измерительной аппаратуре и т. д. В книгу вошел оригинальный материал, полученный авторами. Учебное пособие может использоваться как справочник по устройствам СВЧ.

Для специалистов в области теории и техники СВЧ, преподавателей вузов, докторантов, аспирантов, студентов старших курсов радиотехнического и радиофизического профиля.