

Для цитирования: Бухтияров Д. А., Горбачев А. П. Печатные директорные антенны с центрально-концевым питанием возбудителя дипольного вида // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 4. С. 19–23. DOI 10.21778/2218-5453-2018-4-19-23
УДК 621.396.677

Д. А. Бухтияров¹, А. П. Горбачев¹

¹ Новосибирский государственный технический университет

ПЕЧАТНЫЕ ДИРЕКТОРНЫЕ АНТЕННЫ С ЦЕНТРАЛЬНО-КОНЦЕВЫМ ПИТАНИЕМ ВОЗБУДИТЕЛЯ ДИПОЛЬНОГО ВИДА

В данной статье представлена новая реализация печатной директорной антенны. Такие антенны широко используются для построения современных телекоммуникационных и радиолокационных систем. Описываемый метод использует нетрадиционное центрально-концевое синфазное питание, осуществляемое посредством гибридного кольцевого двухканального делителя мощности. Этот делитель характеризуется приемлемым поведением, когда все длины и зазоры между печатными проводниками являются оптимизированными для российского диэлектрического материала ФАФ-4. Этот материал является отличным вариантом, когда антенна является возбужденной посредством сверхминиатюрного коннектора версии А, что соответствует двухсторонней плосковой печатной реализации. Результаты электродинамического моделирования показывают, что предлагаемая антенна является направленным излучателем. Такой излучатель является хорошим кандидатом для использования в новых печатных эквидистантных фазированных антенных решетках для различных радиотехнических систем, включая радиолокацию, радиофиксирующие приспособления, навигацию и т. д.

Ключевые слова: директорная антенна, синфазное питание, согласование, диаграмма направленности.

Введение

Известно, что директорные антенны широко применяются в остронаправленных фазированных антенных решетках (ФАР) подвижных радиолокационных станций (РЛС) диапазона сверхвысоких частот (СВЧ) с линейно поляризованным излучением во взаимно ортогональных плоскостях [1]. Печатная реализация узлов таких ФАР позволяет не только сократить габаритно-массовые характеристики, но и создать предпосылки для реконфигурации антенного полотна и многоканальной распределительной системы его питания за счет компактных полупроводниковых коммутационных элементов, что способствует более эффективному использованию раскрыва антенны при цифровых методах формирования диаграммы направленности [2]. Направленные свойства таких антенн позволяют заметно повысить пространственную селективность за счет сужения диаграммы направленности в главном направлении, что благоприятно сказывается не только на разрешающей способности РЛС по дальности и угловым координатам, но и на устойчивости матричных (другими словами – параллельных во временной области) алгоритмов адаптации ФАР к реальной помеховой обстановке в зоне действия радиолокатора.

Несмотря на наличие серийно выпускаемых печатных директорных антенн [1] и прогресс в области их проектирования [2], внимание к их модернизации и совершенствованию не ослабевает с течением

времени, что обусловлено все возрастающими требованиями к РЛС в отношении их мобильности при условии активного воздействия естественных и искусственных помех. В результате при построении излучающего полотна ФАР, как правило, решаются следующие ключевые задачи:

- Выбор компоновочной схемы излучателей, реализующей заданный сектор сканирования.
- Обоснование типа излучателя, обеспечивающего как наилучшее согласование в секторе сканирования, так и приемлемость/оптимальность конструкторско-технологических решений.
- Минимальный уровень боковых лепестков диаграммы направленности.

В связи с этим ниже исследуются излучательные характеристики модифицированных вибраторных директорных антенн с центрально-концевым синфазным питанием возбудителя, защищенного патентом Российской Федерации [3]. Представленные результаты эскизного проектирования таких антенн будут способствовать расширению сфер их использования в радиолокационной и телекоммуникационной областях техники СВЧ.

Печатная директорная антенна с центрально-концевым питанием возбудителя

Согласно патентному поиску, проведенному в работе [3] при анализе ретроспективных

вибраторных излучателей с центрально-концевым питанием, в опубликованной научно-технической литературе отсутствуют сведения, относящиеся к такому способу подачи сигнала к возбуждатель директорной антенны. В известных на данный момент времени технических решениях используется классический вибраторный возбуждатель, питаемый в центре на смежных, близко расположенных клеммах, причем подводимые к этим клеммам возбуждающие высокочастотные напряжения должны быть равны по величине и противофазны. При анализируемом центрально-концевом возбуждении вибратора, когда клеммы его питания разнесены на печатной плате на четверть длины излучаемой волны, требуется синфазное питание равноамплитудными напряжениями. Роль рефлектора такой антенны выполняет металлическая кромка заземленного печатного проводника, ориентированная в направлении возбуждателя. Его электромагнитное поле наводит на этой кромке поверхностные токи проводимости, локализованные в весьма узкой области вдоль кромки. Вторичное электромагнитное поле, излучаемое этими токами, суммируется с электромагнитным полем возбуждателя, и при соответствующем выборе/настройке геометрических параметров антенны это приводит к возрастанию интенсивности суммарного излучения в направлении, противоположном ориентации на кромку-рефлектор. Если в зону суммарного излучения, расположенную теперь уже за возбуждателем, поместить короткозамкнутый вибратор, то на его поверхности

также будут наводиться токи проводимости. Их электромагнитное излучение, суммируясь с совместным излучением возбуждателя и кромки-рефлектора, обуславливает дальнейшее возрастание интенсивности поля в направлении, перпендикулярном возбуждателю и ориентированному в сторону, противоположную рефлектору.

Такая реализация антенны весьма перспективна в плане упрощения топологии печатного рисунка, так как допускает использование компактных и технологически отработанных синфазных делителей мощности пополам (т.е. в отношении 1:1), реализованных на базе полуволновой кольцевой топологии [4]. Эта топология характеризуется малой чувствительностью нулевой разности фаз выходных напряжений к технологическим допускам на ширину полосковых проводников и толщину диэлектрических подложек, а также к разбросам величины диэлектрической проницаемости от номинала как в партии листов диэлектрика, так и для разных заводов – изготовителей фольгированных материалов.

В состав анализируемой директорной антенны (рис. 1: светло-серый цвет – металлизация лицевой, темно-серый – обратной стороны подложки; белый цвет – сама подложка; черный цвет – пленочный балластный резистор $R = 75$ Ом на лицевой стороне подложки) входит собственно печатный вибратор и кольцевой полосковый полуволновый делитель мощности, относительная полоса рабочих частот которого составляет порядка 15% и превышает таковую для вибратора. Предлагаемая компоновочная схема директорной антенны позволяет разместить коаксиально-полосковый переход (т.е. разъем) как бы внутри антенной диэлектрической подложки перпендикулярно ее плоскости. Такая схема предпочтительна, когда питающие коаксиальные кабели должны быть компактно уложены в короб, толщина внутреннего пространства которого невелика по сравнению с длиной волны. Иными словами, кабели должны быть уложены фактически в толщине обшивки носителя или объекта установки директорных антенн.

Результаты исследования антенны

Начальные значения геометрических размеров компьютерного облика топологии директорной антенны с центрально-концевым питанием определяются из общих процедур расчета печатных диполей [1, 2] и одиночных полосковых линий передачи [4]. В результате оптимизации системой WIPL-D [5] для подложки из широко применяемого фольгированного армированного фторопласта толщиной 1,5 мм и относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 2,5$ на центральной частоте $f_0 = 3,07$ ГГц определены следующие оптимальные размеры (в миллиметрах):

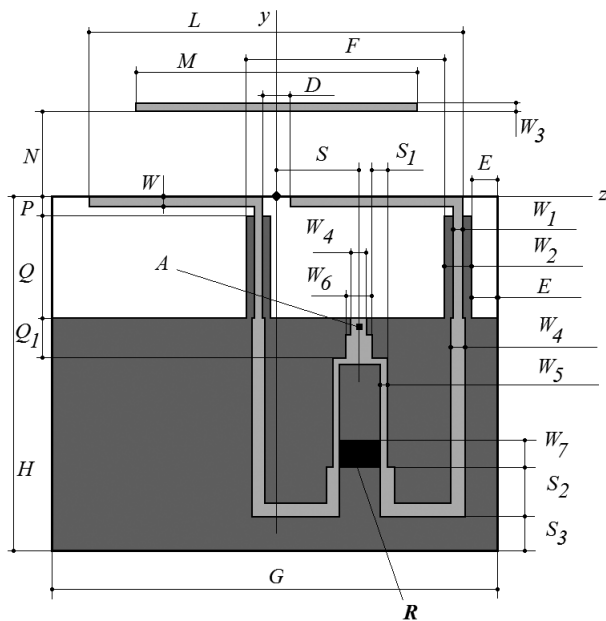


Рисунок 1. Директорная антенна с центрально-концевым питанием возбуждателя дипольного вида: неуказанные краевые поля 0,2 мм; А – точка пайки штырька коаксиального разъема, расположенного перпендикулярно подложке

$D = 4; E = 9,3; F = 28; G = 66; H = 59; L = 46; M = 38;$
 $N = 13,8; P = 4; Q = 15,5; Q_1 = 11; S = 11,3; S_1 = 3,5;$
 $S_2 = 6; S_3 = 5; W = 3; W_1 = 1,5; W_2 = 2,9; W_3 = 2,5;$
 $W_4 = 3,4; W_5 = 1,7; W_6 = 3,6; W_7 = 3,1.$

Эти размеры обеспечивают хорошее согласование с 50-омным питающим коаксиальным кабелем (рис. 2) и вполне приемлемую форму диаграмм направленности в плоскости векторов напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей по основной поляризации (рис. 3 и 4) при незначительном уровне кросс-поляризационного излучения (рис. 5 и 6).

Заключение

Представленные в работе результаты эскизного проектирования высокой степени готовности,

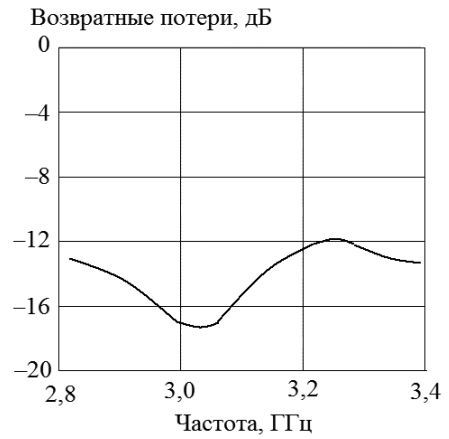


Рисунок 2. Частотная характеристика согласования директорной антенны с центрально-концевым питанием

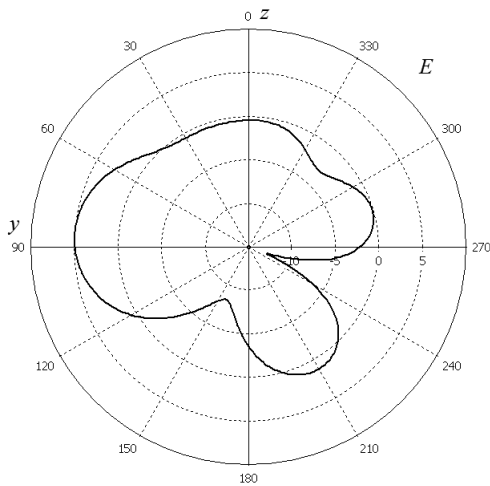


Рисунок 3. Диаграмма направленности директорной антенны с центрально-концевым питанием по основной поляризации в E-плоскости

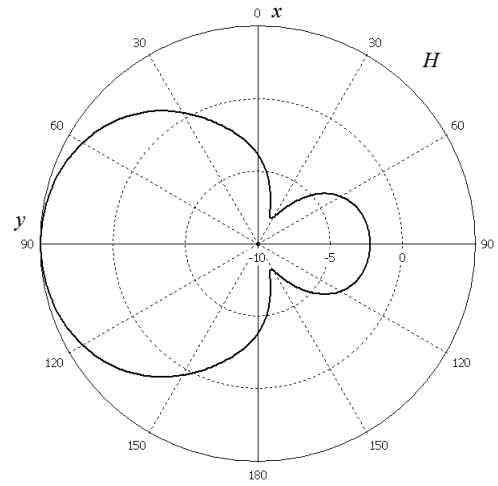


Рисунок 4. Диаграмма направленности директорной антенны с центрально-концевым питанием по основной поляризации в H-плоскости

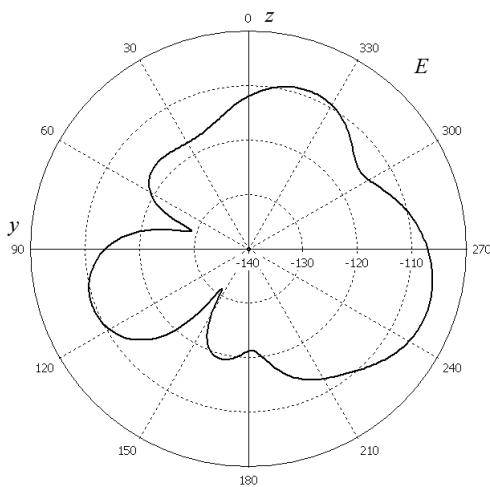


Рисунок 5. Полярная диаграмма кросс-поляризационного излучения директорной антенны с центрально-концевым питанием в E-плоскости

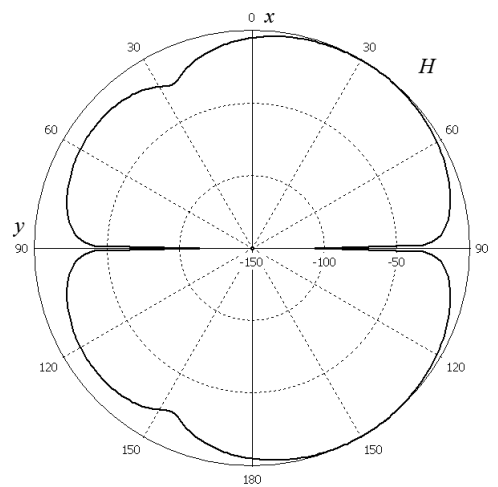


Рисунок 6. Полярная диаграмма кросс-поляризационного излучения директорной антенны с центрально-концевым питанием в H-плоскости

выполненные в системе трехмерного электродинамического моделирования, можно использовать при проектировании печатных директорных антенн с центрально-концевым питанием и фазированных антенных решеток на их основе. Предложенная топология на отечественном материале ФАФ-4 и приведенные полярные диаграммы позволят оперативно принимать решения о допустимости уровня возвратных потерь, приемлемости коэффициента направленного действия и оптимальности массогабаритных показателей на этапе эскизного проектирования

еще до запуска оптимизаторов систем полномасштабного моделирования. И в этом плане полученные результаты можно квалифицировать как адекватные оценки предельно-достижимых (потенциальных) характеристик проектируемых печатных директорных антенн с центрально-концевым питанием, которые могут быть полезны при оперативной корректировке конструкторско-компоновочных решений многоэлементных антенных систем радиолокации и телекоммуникаций на этапе их отработки с учетом климатического районирования предстоящей эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инденбом М.В. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория, расчет, конструкции. М.: Радиотехника, 2015. 416 с.
2. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / под ред. Д.И. Воскресенского; 4-е изд., перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2012. 742 с.
3. Патент РФ № 2571 156. Вибраторная антенна / Борейчук А.И., Горбачев А.П., Кириллова Н.А., Шведова А.В. Заявитель и патентообладатель: Новосибирский государственный технический университет; заявл. 20.03.2014, опубл. 20.12.2015. Бюл. № 35.
4. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / под ред. В.И. Вольмана. М.: Радио и связь, 1982. 328 с.
5. Kolundzija B.M. and others. WIPL-D: Microwave circuit and 3D EM simulation for RF and microwave applications. Norwood, MA: Artech House, 2005, 414 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бухтияров Дмитрий Андреевич, аспирант, кафедра РПиРПУ, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр-т Карла Маркса, д.20; инженер, АО «НПО «Научно-исследовательский институт измерительных приборов – Новосибирский завод имени Коминтерна», 630015, Новосибирск, ул. Планетная, д.32, тел.: 8 (953) 884-27-26, e-mail: ghostandfound@mail.ru.

Горбачев Анатолий Петрович, д.т.н., профессор, кафедра РПиРПУ, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр-т Карла Маркса, д.20, тел.: 8 (913) 761-91-08, e-mail: apgor@ngs.ru.

For citation: Bukhtiyarov D.A., Gorbachev A.P. Printed quasi-Yagi antennas with center-end-fed dipole driver. Voprosy radioelektroniki, 2018, no. 4, pp. 19–23. DOI 10.21778/2218-5453-2018-4-19-23

D. A. Bukhtiyarov, A. P. Gorbachev

PRINTED QUASI-YAGI ANTENNAS WITH CENTER-END-FED DIPOLE DRIVER

The novel realization of printed Yagi-Uda antenna is presented in this paper. Such the aerials are widely used in the modern telecommunication and radiolocation systems. The described method uses the nontraditional center-end-fed in-phase excitation through the hybrid ring two-way power divider. This divider behaves acceptable behavior, when all the lengths and clearances between printed conductors are optimized for Russian dielectric material FAF-4. This material is the successful discovery, when the aerial is excited through the subminiature version A connector that satisfies double-sided printed circuit board realization. The simulation-derived results indicate that the proposed aerial is the fan-beam radiator. This radiator is a good candidate for the use in the novel printed planar equidistant phased arrays for various radio systems including radiolocation, radio-finder arrangements, navigation and so on.

Keywords: Yagi-Uda antenna, in-phase feeding, matching, radiation pattern.

REFERENCES

1. Indenbom M.V. *Antennie reshetki podvizhnykh obzornykh RLS. Teorija, raschet, konstrukcii* [Antenna arrays of mobile radars. Theory, design, constructions]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2015, 416 p. (In Russian).
2. *Ustrojstva SVCh i anteny. Proektirovanie fazirovannykh antennykh reshetok* [Microwave devices and antennas. Design of phased arrays]. In: D.I. Voskresenskiy, ed; 4-e izd., pererab. i dop. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2012, 742 p. (In Russian).
3. Patent RF № 2571 156. *Vibratornaja antenna* [Dipole antenna]. Borejchuk A. I., Gorbachev A. P., Kirillova N. A., Shvedova A. V. *Zajavitel i patentoobladatel: Novosibirskii gosudarstvennii tehniceskii universitet; zajavl. 20.03.2014, opubl. 20.12.2015. Bul. no. 35* (In Russian).
4. *Spravochnik po raschetu i konstruirovaniju SWCH poloskovykh ustpoistv* [Handbook on design and implementation of microwave strip-line devices]. In: V.I. Volman, ed. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1982, 328 p. (In Russian).

5. Kolundzija B. M. and others. WIPL-D: Microwave circuit and 3D EM simulation for RF and microwave applications. Norwood, MA: Artech House, 2005, 414 p.

AUTHORS

Bukhtiyarov Dmitriy, postgraduate student, Department of Radio Receivers and Radio Transmitters, Novosibirsk State Technical University, 20, prospekt Karla Marksa, Novosibirsk, 630073; engineer, JSC NPO Scientific and Research Institute of Measurement Instrumentation – Novosibirsk Plant named after the Komintern, 32, Planetnaya ulitsa, Novosibirsk, 630015, Russian Federation, tel.: +7 (953) 884-27-26, e-mail: ghostandfound@mail.ru.

Gorbachev Anatoliy, Dr., professor, Department of Radio Receivers and Radio Transmitters, Novosibirsk State Technical University, 20, prospekt Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, tel.: +7 (913) 761-91-08, e-mail: apgor@ngs.ru.