

Моделирование малогабаритной антенной решётки из волноводных излучателей с эллиптической поляризацией

Е.В.Овчинникова¹, Э.В. Гаджиев^{1,2}, С.Г. Кондратьева^{1,3}, П.А. Шмачилин^{1,3},
Нгуен Динь То¹, А.И. Гиголо¹

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4.

²Акционерное общество "Корпорация "ВНИИЭМ"
107078, г. Москва, Хоромный тупик, д. 4, строение 1

³Математический институт им. С.М. Никольского (Российский университет дружбы народов)

117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
E-mail: oea8888@gmail.com

Показана возможность минимизации габаритных размеров линейной антенной решётки из волноводных излучателей с эллиптической поляризацией путём применения комбинированной замедляющей системы, состоящей из перегородки и выступов. Разработаны и исследованы модели антенных решёток из волноводных излучателей с линейными и ступенчатыми перегородками. Определены частотные, поляризационные и энергетические характеристики антенных решёток. Рассчитаны характеристики направленности. Проведено сравнение полученных поляризационных характеристик с аналогичными характеристиками антенных решёток, приведёнными в литературе. Показано, что поляризационные и энергетические характеристики предложенных конструкций антенных решёток удовлетворяют требованиям, предъявляемым к антеннам телекоммуникационных систем, устанавливаемым на малых космических аппаратах.

Ключевые слова: Волноводные излучатели, ступенчатые поляризаторы, поляризационные характеристики, коэффициент эллиптичности, волноводная антенная решётка, коаксиальная распределительная система.

Simulation of a small-sized antenna array of waveguide emitters with elliptical polarization

E.V. Ovchinnikova¹, E.V. Gadzhiev^{1,2}, S.G. Kondratyeva^{1,3}, P.A. Shmachilin^{1,3},
Nguyen Dinh To¹, A.I. Gigolo¹

¹Moscow Aviation Institute (National Research University)

²JC "VNIIEМ"

³Mathematical Institute named after S.M. Nikolsky (RUDN University)

The possibility of minimizing the overall dimensions of a linear antenna array of waveguide radiators with elliptical polarization by using a combined slow-wave system consisting of a partition and protrusions is shown. Models of antenna arrays from waveguide radiators with linear and stepped partitions have been developed and investigated. The frequency, polarization and energy characteristics of antenna arrays have been determined. Directional characteristics are calculated. The obtained polarization characteristics are compared with similar characteristics of antenna arrays given in the literature. It is shown that the polarization and energy characteristics of the proposed designs of antenna arrays meet the requirements for antennas of telecommunication systems installed on small spacecraft.

Keywords: Waveguide radiators, stepped polarizers, polarization characteristics, coefficient of ellipticity, waveguide antenna array, coaxial distribution system.

Введение

Немаловажное значение при разработке бортовых антенных систем имеет минимизация их габаритных размеров. При этом антенны должны сохранять характеристики в условиях влияния различных дестабилизирующих факторов. Особенности работы бортовых антенных систем, устанавливаемых на малых космических аппаратах, подробно рассмотрены в работах [1-3]. Помимо высокой электрической и механической прочности рассматриваемых антенн, необходимо обеспечивать требуемые энергетические характеристики. С этими характеристиками тесно связаны направленные и поляризационные свойства антенн. Одним из требований, предъявляемым к поляризационным характеристикам является изменение коэффициента эллиптичности в заданных пределах в широком секторе углов $\pm 70^\circ$. Известные методы достижения требуемых поляризационных характеристик, основанные на использовании антенн с широкоугольным сканированием [4–8], применять при решении данной задачи нецелесообразно из-за ограниченного объёма, отведённого под размещение антенной системы. В работах [9-11] проведено исследование малогабаритных волноводных излучателей с эллиптической поляризацией, имеющих длину $0,7 \lambda$. Разработка антенных решёток из таких элементов позволяет найти компромиссное решение, обеспечивающее требуемые энергетические, поляризационные и массогабаритные характеристики.

Характеристики волноводной антенной решетки на основе поляризаторов с линейной и ступенчатой перегородкой

Применение антенных решёток в бортовых телекоммуникационных системах позволяет повысить их энергетический потенциал и увеличить функциональные возможности. Поэтому в настоящее время наметился переход от зеркальных и рупорных антенн к антенным решёткам. В телекоммуникационных системах применение антенных решёток позволяет также расширить информационную ёмкость каналов и увеличить скорость передачи данных. Замена двух зеркальных антенн в радиолинии передачи целевой информации (РЛЦИ) антенной решёткой позволяет уменьшить энергопотребление, увеличить энергетический потенциал и уменьшить массогабаритные размеры антенной системы. Результаты исследования антенных решёток, обеспечивающих требуемые энергетические и поляризационные характеристики приводятся ниже. На рис.1 показана модель антенной решётки из излучателей с линейной и ступенчатой перегородками с габаритными размерами. На следующем рисунке показана коаксиальная распределительная система. На рис.3 и 4 приведены зависимости коэффициента стоячей волны (КСВ) от частоты и зависимости коэффициента эллиптичности азимутальной угловой координаты соответственно. На следующем рисунке приведены пространственные диаграммы направленности (ДН).

На рис.4 чёрным цветом обозначены зависимости коэффициента эллиптичности от пространственной угловой координаты для разрабатываемой антенной решётки, а красным цветом показана аналогичная зависимость, приведенная для антенной решётки, разработанной и представленной в [12].

Важнейшими характеристиками антенных решёток телекоммуникационных систем являются энергетические характеристики. На рис.6 приведены зависимости коэффициента направленного действия от частоты для решёток с линейной и ступенчатой перегородками.

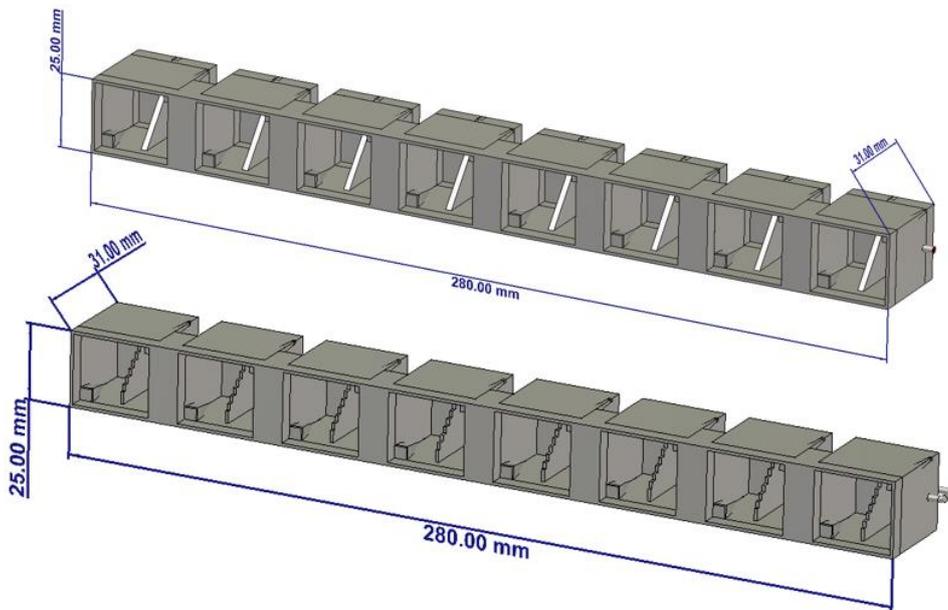


Рис.1. Модель волноводной антенной решётки из восьми излучателей с линейной перегородкой и выступами, разнесенных на расстояние 8 мм.

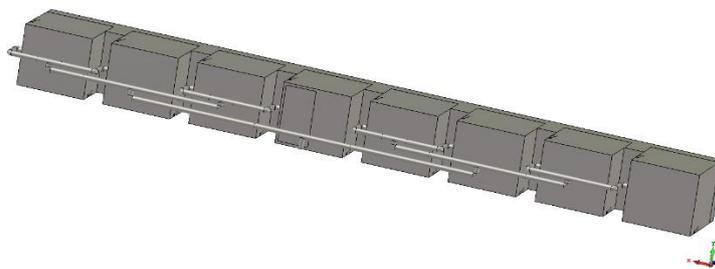


Рис.2.Распределительная система волноводной антенной решётки из восьми излучателей с линейной перегородкой и выступами.

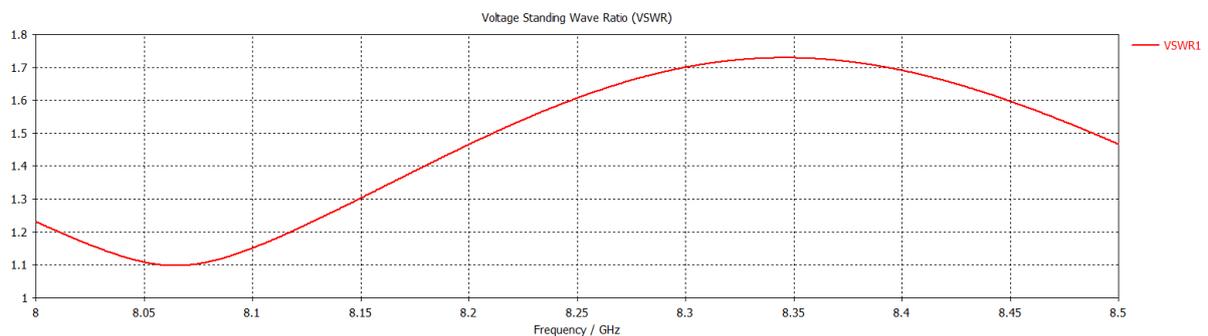


Рис.3. Зависимости КСВ от частоты

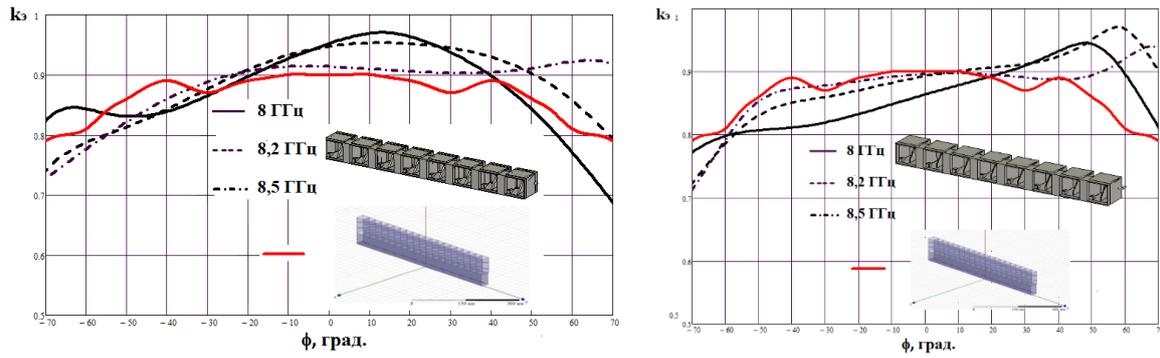


Рис.4. Зависимости коэффициента эллиптичности от угловой координаты.

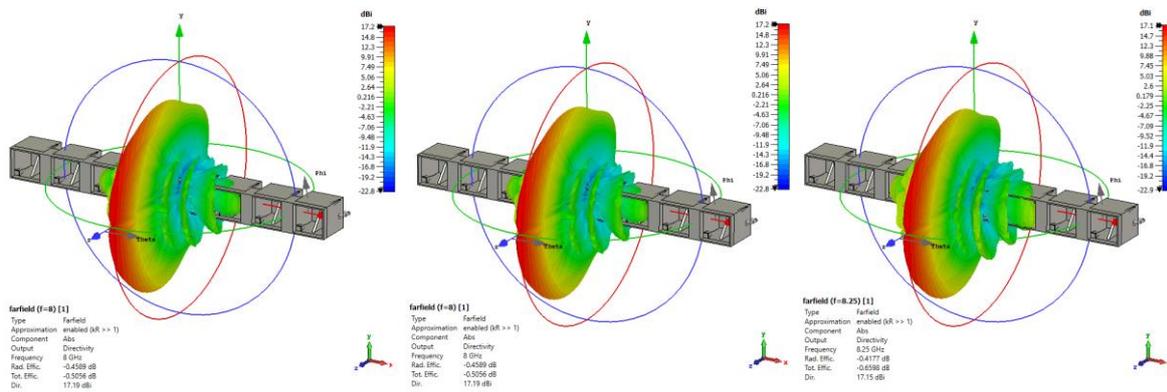


Рис.5. Пространственные ДН

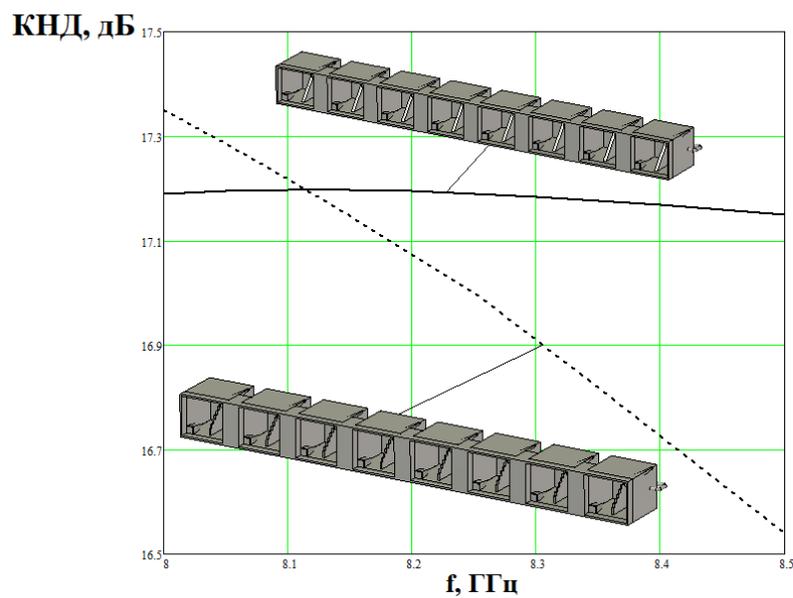


Рис.6. Зависимости коэффициента направленного действия от частоты

На рис.7 приведены кроссполаризационные диаграммы.

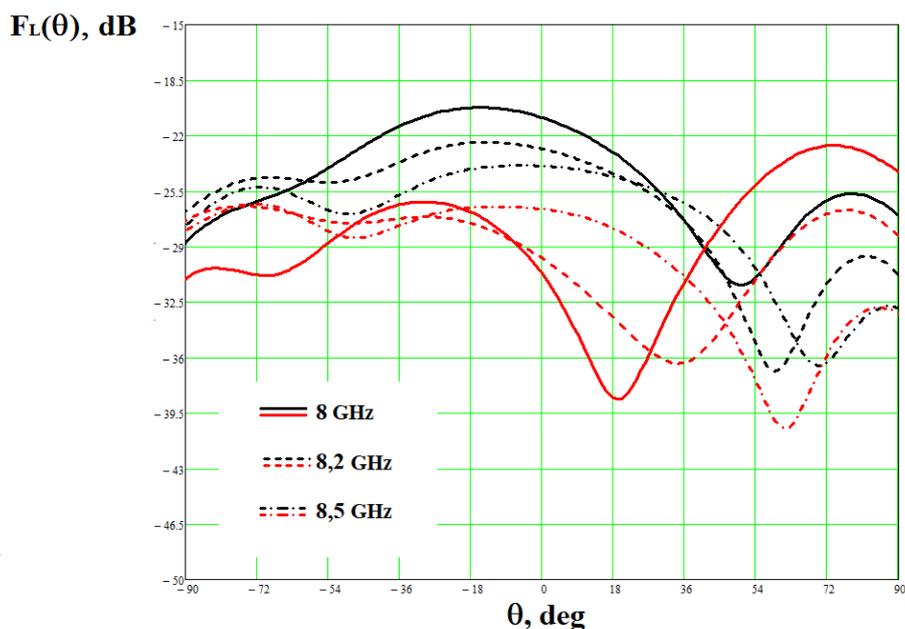


Рис.7. Кроссполяризационные диаграммы

На рис.7 чёрным цветом обозначены кроссполяризационные диаграммы для разрабатываемой антенной решётки с линейной перегородкой, а красным цветом – со ступенчатой перегородкой.

Выводы

Таким образом, разработаны модели малогабаритных антенных решёток с эллиптической поляризацией. Определены характеристики направленности и поляризационные характеристики. Показано, что поляризационные характеристики слабо отличаются от аналогичных характеристик антенных решёток, приводимых в литературе. Разработана компактная распределительная система на основе коаксиальных тройников. Результаты расчёта показывают, что такая антенна обеспечивает коэффициент усиления 16 дБ и коэффициент эллиптичности не ниже 0,7 в секторе углов $\pm 70^\circ$.

Литература

1. Состояние и перспективы развития бортовых антенно-фидерных устройств радиолинии передачи целевой информации / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2018 – № 2 (30). – С. 44 – 52.
2. Генералов А. Г. К вопросу о построении остронаправленной перенацеливаемой бортовой антенны космических аппаратов / А.Г. Генералов, Э.В. Гаджиев // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2018. – Т. 164. – № 3. – С. 26-31.
3. Антенные системы радиолинии передачи информации космических аппаратов: состояние и перспективы развития / Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин [и др.] // Радиотехника. – 2021. – Т. 85. – № 3. – С. 86-95. – DOI 10.18127/j00338486-202103-09.
4. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В. Моноимпульсные характеристики фазированных антенных решеток с широкоугольным сканированием. Авионика 2002-2004. Сборник статей/ Под ред. А.И. Канащенкова. - М: Радиотехника, 2005.-560с.

5. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В. Синтез кольцевых концентрических антенных решеток. Авионика 2002-2004. Сборник статей/ Под ред. А.И. Канащенкова. - М: Радиотехника, 2005.-560с.
6. Воскресенский Д.И., Котов Ю.В., Овчинникова Е.В. Тенденции развития широкополосных фазированных антенных решеток. Журнал Антенны, 2005, №11 (102).
7. Воскресенский Д.И., Гуськов Ю.Н., Котов Ю.В., Овчинникова Е.В.. Антенные решетки. Состояние. Перспективы развития. Журнал Фазотрон, 2006, №1-2(4).
8. Воскресенский Д.И., Гуськов Ю.Н., Котов Ю.В., Харланов Ю.Я., Овчинникова Е.В. Многофункциональные полотна антенных решеток. Журнал Антенны, 2006, №9 (112).
9. Нгуен Динь То, Овчинникова Е.В., Трофимова Т.А., Кондратьева С.Г. Моделирование линейной антенной решетки из излучателей на основе малогабаритного волноводного поляризатора с выступами и линейной перегородкой. 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 22-26 ноября 2021 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2021С. 321–322.
10. Волноводная антенная решетка X-диапазона с эллиптической поляризацией / Е.В. Овчинникова, Э.В. Гаджиев, Д. Т. Нгуен [и др.] // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2021. – № 3. – С. 114-115.
11. E. Ovchinnikova, E. Gadzhiev, N. D. To, S. Kondratieva, P. Shmachilin and M. Sokov, "Modelling of a Small-Sized Waveguide Radiator with Elliptical Polarization," 2021 International Conference Engineering and Telecommunication (En&T), 2021, pp. 1-3, doi: 10.1109/EnT50460.2021.9681739.
12. Двуреченский В.Д. Линейная антенна с эллиптической поляризацией для космических аппаратов / В.Д. Двуреченский, П.П. Телепнев, А.Ю. Федотов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 161. – № 6. – С. 17-19.