

УДК 621.372.88

Т.С. Осипенко, Ю.В. Крылов

Исследование широкополосного компактного излучателя этажерочного типа

Выполнен расчет излучателя этажерочного типа, приведены результаты его моделирования и экспериментального исследования параметров физического макета в виде зависимостей КУ, КСВ, ДН и КЭ в диапазоне частот. Конструктивно излучатель состоит из 2 металлических дисков, установленных на опоры, один из которых расположен на диэлектрической подложке. Исследован макет разработанного излучателя. Проведены измерения КУ, КСВ, ДН и КЭ изготовленного макета. Разработанный излучатель не уступает известным аналогам излучателей, используемым в составе многолучевых антенн в части РТХ, а также имеет преимущество над ними, а именно наименьший вертикальный габаритный размер, что является одним из важнейших критериев при выборе типа излучателя.

Ключевые слова: микрополосковый излучатель, излучатель этажерочного типа, компактный излучатель, излучатель многолучевой антенны.

DOI: 10.21293/1818-0442-2022-25-2-18-21

В настоящее время проявляется большой интерес к радиолокационным системам, которые работают в широких полосах частот с сигналами различных поляризацій. Излучатели, входящие в состав облучающих систем гибридных зеркальных антенн (ГЗА) и фазированных антенных решёток (ФАР), должны отвечать требованию по широкополосности их работы, а именно ширина полосы частот должна быть не менее 20% [1–3].

В большинстве случаев к излучателям кроме требований к их РТХ, а именно широкополосности их работы, низким вносимым потерям и широконаправленной ДН, также предъявляются требования по низкопрофильности собственной конструкции (малые значения вертикального габарита, не более одной длины волны). Данные требования следуют из непосредственного применения в составе облучающей системы (ОС). В случае применения излучателей в качестве элементов ОС ГЗА в составе космического аппарата (КА) важно, чтобы конструкция ОС имела возможность к трансформации. В связи с этим возникают ограничения вертикальных размеров излучателей ввиду необходимости их компоновки в трансформируемой конструкции ОС, находящейся в транспортировочном положении в составе КА [4–6].

Описание конструкции разработанного излучателя

Для перспективного КА был разработан излучатель этажерочного типа. Моделирование такого излучателя, применение которого возможно в составе ОС ГЗА, проводилось на основе ПО CST Microwave Studio. Для обеспечения требуемых характеристик антенны одиночный излучатель ОС должен обеспечивать работу в широком рабочем диапазоне частот 1900–2400 МГц и формировать широконаправленную ДН в пределах углов облучения рефлектора.

Излучатель состоит из двух круглых проводящих пластин на диэлектрической подложке.

Разработанный излучатель показан на рис. 1 и представляет собой оригинальную конструкцию, состоящую из верхнего металлического диска 1, установленного на опоры 8. С обратной стороны опоры 8 устанавливаются на диэлектрическую подложку 4. К подложке 4 прикрепляется нижний металлический диск 2. На диске 2 вырезаны две металлические площадки 7 квадратной формы для запитки излучателя таким образом, чтобы между ними и диском 2 был воздушный зазор [7, 8].

Диэлектрическая подложка 4 с помощью опор 9 крепится к экрану 3. При электродинамическом моделировании излучателя использовалась диэлектрическая подложка с диэлектрической проницаемостью материала, равной 4,4. Излучатель при транспортировке крепится при помощи опор 10. Опоры 8, 9 изготовлены из стеклотекстолита, опоры 10 – из металла.

Излучатель запитывается с помощью металлических стержней 5, проходящих насквозь через экран 3 и подложку 4 и запаивающихся по центру площадок 7. Металлические стержни на другом конце соединены с ВЧ-разъемами 6. На рис. 1 показан внешний вид излучателя. Использование двух излучающих поверхностей в форме диска (см. рис. 1, 1 и 2), связанных друг с другом посредством электромагнитной связи, позволяет обеспечивать двухдиапазонный или широкополосный режим работы в случае сближения их резонансных частот [9].

Моделирование излучателя

Для обеспечения широкополосных характеристик связь между излучающими дисками является критичным параметром: если она слишком слабая (значительное расстояние между излучающими дисками), то резонанс, вносимый верхним диском, будет незаметен на входной характеристике антенны S11, а в случае если связь будет слишком сильная (минимальное расстояние между дисками), то будут ярко выражены две резонансные частоты, отстоящие друг от друга тем дальше, чем сильнее эта связь [10–13].

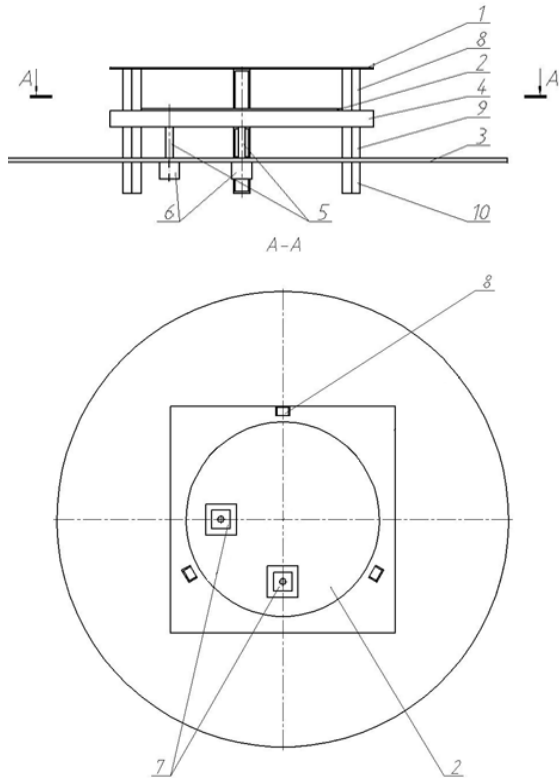


Рис. 1. Излучатель этажерочного типа: 1 – верхний диск; 2 – нижний диск; 3 – экран; 4 – подложка; 5 – питающие стержни; 6 – ВЧ-соединитель; 7 – контактные площадки; 8 – диэлектрические опоры

Известно, что снижение добротности микрополоскового или полоскового излучателя приводит к расширению полосы его рабочих частот. Подложка среднего диска, по сути, является композитной и состоит из воздушного и диэлектрического слоев достаточно большой высоты для обеспечения широкополосного режима работы. С другой стороны, использование таких подложек и, как следствие, запитывающих стержней (5, см. рис. 1) большей длины приводит к увеличению индуктивной составляющей входного импеданса антенны. Для компенсации данного эффекта стержни присоединяются гальванически не напрямую к диску (2, см. рис. 1), а к квадратным площадкам (7, см. рис. 1) в его составе, соединенным через небольшой зазор с этим диском электромагнитной, преимущественно емкостной связью [14, 15].

Частотная зависимость КСВ излучателя, полученная по результатам моделирования, представлена на рис. 2.

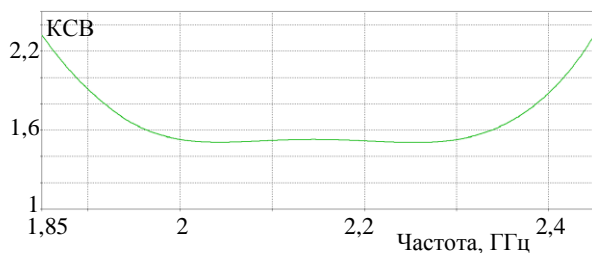


Рис. 2. Частотная зависимость КСВ излучателя

Экспериментальные исследования

Измерение КСВ макета излучателя (рис. 3) проводилось с каждого выхода в рабочем диапазоне частот, а также с выхода делителя мощности, подключенного к двум его входам.

Измерение КЭ по оси, ДН и ширины ДН по уровню -3 дБ макета излучателя проводилось с выхода делителя мощности на центральной и крайних частотах рабочего диапазона [16].

Результаты измерения КСВ макета излучателя с диэлектрической подложкой из СТЭФ-У с номинальными размерами опор (соответствующим расчетным размерам) представлены на рис. 4.

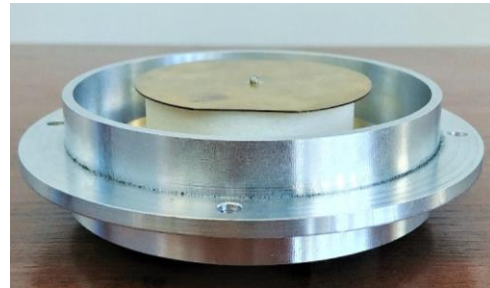


Рис. 3. Внешний вид макета излучателя

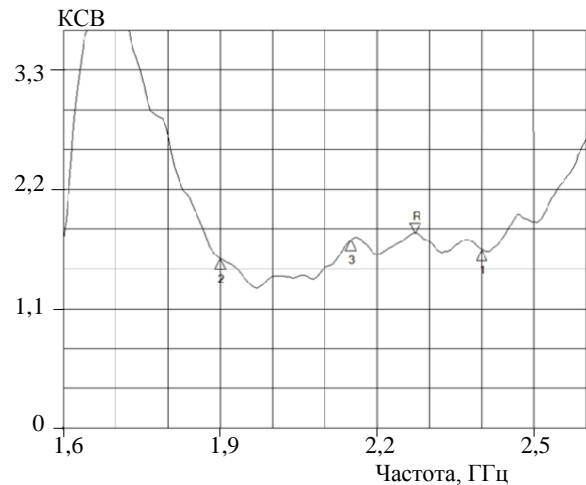


Рис. 4. КСВ настроенного макета излучателя

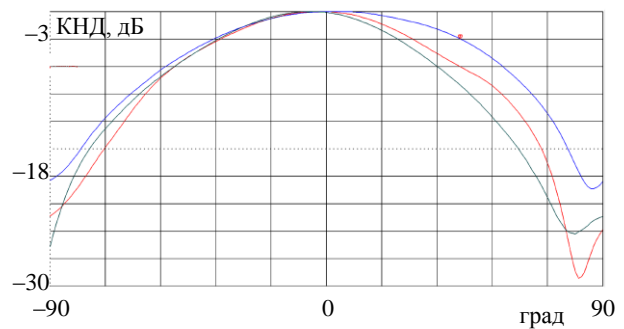


Рис. 5. ДН макета излучателя

По рис. 5 можно сделать вывод – излучатель формирует ДН шириной не более $\pm 50^\circ$ по уровню -3 дБ.

На рис. 6 приведена частотная зависимость КУ по оси макета излучателя в рабочем диапазоне частот.

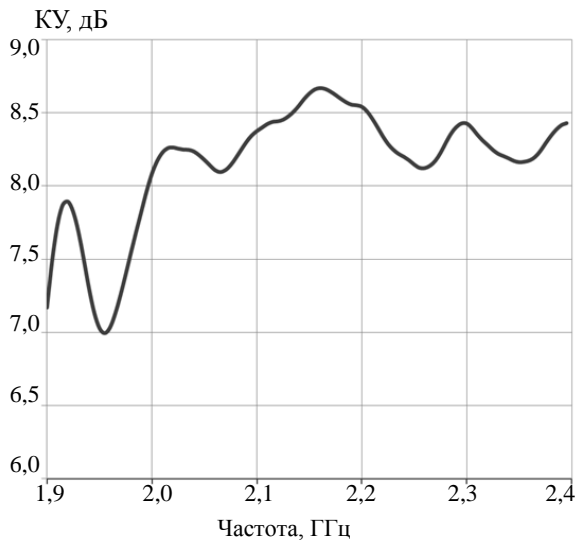


Рис. 5. Частотная зависимость КУ макета излучателя

В таблице приведены значения КЭ макета излучателя для центральной и крайних частот рабочего диапазона по оси и под углами $\pm 30^\circ$.

Значения КЭ макет излучателя

Частота, МГц	Угол		
	-30°	0°	30°
1900	0,81	0,74	0,76
2150	0,77	0,74	0,78
2400	0,69	0,60	0,63

Заключение

Рассмотрен разработанный излучатель этажерочного типа, предназначенный для использования в составе многолучевых антенн (ГЗА и ФАР). В ходе экспериментальных исследований были получены частотная зависимость КУ, частотная зависимость КСВ и ДН макета излучателя. Максимальное значение КСВ в диапазоне рабочих частот составило 1,81 (см. рис. 4). КСВ макета излучателя, полученный при моделировании, не более 1,8. Минимальное значение КУ макета излучателя в диапазоне рабочих частот составило не менее 7 дБ (см. рис. 5).

Разработанный излучатель не уступает известным аналогам излучателей, используемым в составе многолучевых антенн (ГЗА и ФАР) в части РТХ, а также имеет преимущество над ними, а именно наименьший вертикальный габаритный размер, что является одним из важнейших критериев при выборе типа излучателя.

Литература

1. Girlish K. Broadband Microstrip Antennas / K. Girlish, K.P. Kumar. – Boston; London, 2003. – 135 p.
2. Юрцев О.А. Спиральные антенны / О.А. Юрцев, А.Н. Казарин, А.В. Рунов. – М.: Сов. радио, 1974. – С. 239–257.
3. Панченко Б.А. Микрополосковые антенны / Б.А. Панченко, Е.И. Нефёдов. – М.: Радио и связь, 1986. – С. 27–29.
4. Драбкин А.Л., Антенно-фидерные устройства / А.Л. Драбкин, В.Л. Зузенко. – М.: Сов. радио, 1977. – С. 688–694.

5. Miligan T.A. Modern antenna design. – 2nd ed. – USA, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2005. – P. 535–538.

6. Фельдштейн А.Л. Справочник по элементам волноводной техники / А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич, В.П. Смирнов. – М.: Связь, 1967. – С. 135–140.

7. Воскресенский Д.И. Антенны / Д.И. Воскресенский, В.С. Филиппов. – М.: Радио и связь, 1985. – Вып. 32. – С. 4–17.

8. Pozar D.M. Radiation on scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1987. – Vol. 35. – P. 613–621.

9. Zhi Ning Chen // Broadband Planar Antennas. Design and Applications. – John Wiley & Sons, 2006. – 242 p.

10. Lo Y.T. Theory and experiment on microstrip antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1979. – Vol. 27. – P. 137–145.

11. Кисель Н.Н. Оптимизация параметров комбинированной микрополосковой антенны / Н.Н. Кисель, С.Г. Грищенко, Д.А. Кардос // Изв. ЮФУ. Технические науки (Ростов н/Д). – 2012. – Вып. 11. – С. 25–31.

12. Панченко Б.А. Характеристики излучения полосковых антенн на подложках ограниченных размеров / Б.А. Панченко, Ю.Б. Нечаев. – Воронеж: ВГУ, 1992. – 91 с.

13. Pues M. Accurate transmission line model for the rectangular microstrip antenna // IEE Proceeding. – 1984. – Vol. 131. – P. 334–340.

14. Munson R.E. Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1974. – Vol. 22. – P. 84–88.

15. Нечаев Ю.Б. Электродинамические характеристики одно- и многослойных микрополосковых антенн на плоском экране / Ю.Б. Нечаев, Д.Н. Борисов, М.А. Панкова // Теория и техника радиосвязи. Спец. выпуск. – 2009. – Вып. 5. – С. 45–54.

16. March S.L. Phase velocity compensation in parallel-coupled microstrip // Microwave Symposium Digest. – 1982. – P. 410–412.

Осипенко Тихон Сергеевич

Инженер-конструктор АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева»
Ленина ул., 52, г. Железнодорожск, Россия, 662970
Тел.: +7-950-978-05-42
Эл. почта: osipenko987@gmail.com

Крылов Юрий Валерьевич

Вед. инженер-конструктор, АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева»
Ленина ул., 52, г. Железнодорожск, Россия, 662970
Тел.: +7-923-305-05-56
Эл. почта: unker007@mail.ru

Osipenko T.S., Krylov Y.V.

Broadband compact transducer of shelf type

Simulation has been carried out and its results of calculation of the “shelf” type emitter have been presented. The design of this emitter consists of two metal disks mounted on supports, one of which is located on a dielectric substrate. The layout of the developed emitter is investigated. Measurements of KU, SWR, DN and CE of the manufactured model were carried out. The developed radiator is not inferior to the well-known analogues of emitter used as part of multibeam antennas in

terms of REC, and also has advantages over them, namely a smaller vertical overall dimension, which is one of the most important criteria when choosing the type of radiator.

Keywords: microstrip radiator, shelf type radiator, compact radiator, multibeam antenna radiator.

DOI: 10.21293/1818-0442-2022-25-2-18-21

References

1. Girlish K., Kumar K.P. *Broadband Microstrip Antennas*. Boston, London, 2003. 135 p.
2. Yurtsev O.A., Kazarin A.N., Runes A.V. *Spiral Antennas*. Moscow, Soviet radio, 1974, pp. 239 – 257.
3. Panchenko B.A., Nefyodov E.I. *Microstrip antennas*. Moscow, *Radio and Communication*, 1986, pp. 27–29.
4. Drabkin A.L., Zuzenko V.L. *Antenna-feeder devices*. Soviet Radio, 1977, pp. 688–694.
5. Miligan T.A. *Modern antenna design*. 2nd edition. USA, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2005, pp. 535–538.
6. Feldstein A.L., Yavich L.R., Smirnov V.P. Handbook on the elements of waveguide technology. *Communication*, 1967, pp. 135–140.
7. Voskresensky D.I., Filippov V.S. *Antennas*. *Radio and Communication*, 1985, vol. 32, pp. 4–17.
8. Pozar D.M. Radiation on scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1987, vol. 35, pp. 613–621.
9. Zhi Ning Chen. *Broadband Planar Antennas. Design and Applications*. John Wiley & Sons, 2006, 242 p.
10. Lo Y.T. Theory and experiment on microstrip antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1979, vol. 27, pp. 137–145.
11. Kisel N.N., Grishenko S.G., Cardos D.A. Optimization of the parameters of the combined microstrip antenna. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences (Rostov-on/D)*, 2012, iss. 11, pp. 25–31.

12. Panchenko B.A., Nechaev Yu.B. *Radiation characteristics of strip antennas on substrates of limited sizes*. Voronezh, VGU, 1992. 91 p.

13. Pues M. Accurate transmission line model for the rectangular microstrip antenna. *IEE Proceeding*, 1984, Vol. 131, pp. 334–340.

14. Munson R.E. Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1974, vol. 22, pp. 84–88.

15. Nechaev Yu.B., Borisov D.N., Pankov M.A. Electrodynamic characteristics of single and multilayer microstrip antennas on a flat screen. *Theory and Technology of Radio Communication. Special issue*, 2009, vol. 5, pp. 45–54.

16. March S.L. Phase velocity compensation in parallel-coupled microstrip. *Microwave Symposium Digest*, 1982, pp. 410–412.

Tikhon S. Osipenko

Design Engineer, JSC «Information Satellite Systems» named after academician M.F. Reshetnev
52, Lenin st., Zheleznogorsk, Russia, 662970
Phone: +7-950-978-05-42
Email: osipeenko987@gmail.ru

Yuriy V. Krylov

Leading Design Engineer, JSC «Information Satellite Systems» named after academician M.F. Reshetnev
52, Lenin st., Zheleznogorsk, Russia, 662970
Phone: +7-923-305-05-56
Email: unker007@mail.ru