УДК 621.396.677

А.В. Мухин, С.К. Доманов

Исследование отклонения диаграммы направленности офсетной антенны эллиптической поляризации

Кратко описаны основные причины отклонения луча диаграммы направленности офсетной антенны с эллиптической поляризацией. Рассмотрены особенности измерений в ближнем поле, способные повлиять на измерение отклонения луча ДН. Приведены расчетные и экспериментальные ДН для бортовой антенны К-диапазона частот. Показана высокая согласованность результатов. Кратко изложены основные способы устранения отклонения луча ДН.

Ключевые слова: офсетная антенна, эллиптическая поляризация, отклонение луча диаграммы направленности, ближнее поле.

doi: 10.21293/1818-0442-2016-19-2-28-30

Зеркальные офсетные антенны получили широкое распространение как в наземных, так и в бортовых информационных комплексах благодаря своей конструкции (рис. 1, а), основным достоинством которой является отсутствие затенения апертуры зеркала и, как следствие, более высокий коэффициент использования поверхности и более низкий уровень боковых лепестков диаграммы направленности (ДН) в сравнении с осесимметричными (прямофокусными) параболическими антеннами (рис. 1, б).

Рис. 1. Схематическое изображение распространения сигнала в офсетной (а) и осесимметричной (б) спутниковых антеннах в приближении геометрической оптики [1]

В космической технике данный тип антенн незаменим и с точки зрения компоновки. Конструкция офсетной антенны позволяет сложить рефлектор вдоль корпуса космического аппарата (КА), тем самым обеспечивая компактное размещение в обтекателе ракеты-носителя (рис. 2).

Рис. 2. Схематическое изображение КА в рабочем положении и размещенного в головном обтекателе ракеты-носителя

Одним из основных недостатков данного типа антенн (помимо более высокого уровня кросс-поляризационного излучения в сравнении с осесимметричными антеннами) является отклонение ДН луча от фокальной оси в плоскости, ортогональной плоскости симметрии антенны, при излучении эллиптически поляризованного поля [2, 3]. Это явление обусловлено особенностью протекания токов на поверхности рефлектора офсетной антенны. Кросс-поляризационные составляющие векторов электромагнитного поля ориентированы так, что оказывают влияние на фазу результирующего поля и, как следствие, отклоняют ДН в плоскости, ортогональной плоскости симметрии антенны. Отклонение луча от номинального положения приводит к снижению коэффициента усиления (КУ) на краях требуемой зоны облучения, что может быть критичным. Близкую к истинной зависимость между углом (θ) отклонения ДН от нормального положения и параметрами антенны можно определить [2–4, 9] как

$$\sin(\theta) = \mp \frac{\sin(\theta_0) \cdot \lambda}{4\pi \cdot F}, \quad (1)$$

где θ_0 – угол между оптической осью облучателя и осью параболы; λ – длина волны; F – фокусное расстояние. Таким образом, чем меньше θ_0 , чем больше рабочая частота и фокусное расстояние, тем меньше отклонение ДН.

Для анализа была сконструирована офсетная антенна K -диапазона со следующими основными геометрическими параметрами: $F = 800$ мм, диаметр равен 700 мм, $\theta_0 = 30^\circ$. Измерения радиотехнических характеристик (РТХ) антенны K -диапазона проводились на горизонтальном сканере ближнего поля (БП) [5]. Такие измерения относятся к наиболее точным методам измерений остронаправленных антенн [6], но имеют недостатки, связанные с множеством факторов и особенностью исполнения измерительных комплексов БП [7]. В частности, в крупногабаритных измерительных комплексах БП используются СВЧ-кабели, длина которых может достигать десятков метров. В процессе измерения данные кабели находятся в непрерывном механическом перемещении, что может приводить к дрейфу измеряемой фазы сигнала [8]. Поэтому сравнительная оценка теоретического угла наклона ДН и измеренного является актуальной задачей. На рис. 3 сравнены теоретические и измеренные проекции ДН для левосторонней поляризации по уровню половинной мощности.

Рис. 3. Теоретическая (---) и измеренная (—) проекции ДН по уровню минус 3 дБ с увеличенным фрагментом, шаг сетки 0,5°

Теоретический расчет выполнялся в ПО Grasp, а отображение результатов в картографической проекции – в ПО Satsoft. Как видно, расхождение результатов не превышает $0,01^\circ$, что меньше погрешности измерений ($0,02^\circ$).

На рис. 4 показаны проекции измеренных ДН для правой и левой эллиптической поляризации.

Отклонение от номинального положения составило $\pm 0,04^\circ$ соответственно.

Рис. 4. Проекция ДН, измеренные по уровню минус 3 дБ для левой и правой эллиптической поляризации, шаг сетки 0,5°

Для компенсации отклонения ДН в офсетных антеннах эллиптической поляризации существуют различные решения. Самое простое – увеличение фокусного расстояния антенны с уменьшением угла наклона облучателя в соответствии с (1). К сожалению, такое решение не всегда возможно, поскольку резко увеличивается вертикальный габарит антенны, что в космической технике крайне критично. Альтернативой является усложнение облучающей системы. Так, выполняют облучающий рупор в виде трехмодовой конструкции, которая позволяет скомпенсировать кроссполяризационные составляющие высокочастотных электрических токов на поверхности рефлектора посредством трансформации векторной картины поля относительно рупора традиционного исполнения [3, 9]. Можно в качестве облучателя использовать решетку из трёх излучателей, в которой периферийные излучатели, ортогональные по поляризации центральному, компенсируют кроссполяризацию центрального излучателя путем подбора фазы. Такая конструкция облучающей системы находит применение в современных коллиматорных комплексах [10]. Хорошо известным способом является использование двухзеркальной офсетной конструкции схемы Грегори с углом между фокальной осью рефлектора и большой осью эллипсоида вращения контррефлектора, определяемым уравнением Мизугучи–Драгоне, а также двухзеркальных схем Кассегрена типов «Top-fed» и «Side-fed» [11, 12].

Выводы. Сегодня рефлекторные офсетные антенны незаменимы в системах спутниковой связи благодаря своей конструкции. Расчетные и экспериментальные данные по оценке отклонения ДН от номинального положения согласуются. Использование методов измерения в планарном сканере БП является одним из наиболее точных для тестирования

зеркальных антенн. Существуют эффективные способы устранения эффекта отклонения ДН в офсетных антеннах с эллиптической поляризацией, однако их целесообразность определяется конкретными задачами.

Литература

1. Виды спутниковых антенн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kitsystem.ru/kak-vybrat-sputnik-ovuyu-antennu>, свободный (дата обращения: 19.05.2016).
2. Adatia N.A. Beam squint in circularly polarised offset – reflector antenna / N.A. Adatia, A.W. Rudge. – Leatherhead: ERA, 1975. – Vol. 11. – P. 513–515.
3. Removal of beam squinting effects in a circularly polarized offset parabolic reflector antenna using a matched feed / S.B. Sharma, D.A. Pujara, S.B. Chakrabarty and V.K. Singh // Progress in electromagnetics research letters (Urbana). – 2009. – Vol. 7. – P. 105–114.
4. Balanis C.A. Modern antenna handbook. – Wiley, 2008. – 1680 p.
5. Доманов С.К. Сравнительный анализ результатов измерений радиотехнических характеристик антенны К-диапазона в измерительном комплексе ближнего поля в схемах с преобразованием частоты и с использованием широкополосной волоконно-оптической линии передачи / С.К. Доманов, А.В. Мухин // Матер. докл. XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2016». – Томск: В-Спектр, 2016. – Ч. 1. – С. 16–19.
6. Keysight technologies. Nearfield systems Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.keysight.com/upload/cmc_upload/All/NSI-near-far.pdf, свободный (дата обращения: 17.05.2016).
7. Newell A. Error analysis techniques for planar near-field measurements // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1988. – Vol. 36, No. 6. – P. 754–768.
8. Wideband planar near-field antenna measurement technique using an analog fiber-optic link / A. Chizh, S. Malyshev, K. Mikitchuk, A. Milyaev, M. Popikov // Proceedings of 45th European Microwave Conference (EuMC). – Paris, France. – 6–11 September, 2015. – P. 1148–1151.
9. Вуд П. Анализ и проектирование зеркальных антенн / Пер. с англ. Г.Б. Звороно; под ред. О.П. Фролова. – М.: Радио и связь, 1984.

10. Reduction of the cross polarization component in the quiet zone of a single reflector CATR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mvg-world.com/en/system/files/reduction_of_the_cross_polarization.pdf, свободный (дата обращения: 18.05.2016).

11. TRW Space & Electronics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/228606794_Ka-Band_Communications_Satellite_Antenna_Technology, платный (дата обращения: 16.05.2016).

12. Исследование возможностей сканирования двух многолучевых зеркальных антенн, построенных по схеме Драгоне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/mac/feb12/14/text.html>, свободный (дата обращения: 12.05.2016).

Мухин Александр Васильевич

Инженер АО «Информационные спутниковые системы» им. ак. М.Ф. Решетнева» («ИСС»),
аспирант каф. телевидения и управления ТУСУРа
Тел.: +7-950-436-88-47
Эл. почта: pilot_06@inbox.ru

Доманов Сергей Константинович

Инженер АО «ИСС», аспирант каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники ТУСУРа
Тел.: +7-913-571-35-25
Эл. почта: serzh.domanov@mail.ru

Mukhin A.V., Domanov S.K.

Study of elliptically polarized offset antenna beam squinting

This paper briefly describes the main causes of elliptically polarized offset antenna beam squinting effects. Features of near field measurements that could affect beam squinting measurement are discussed. Good correlation between calculated and measured patterns for K-band onboard antenna is demonstrated. The basic solutions for squinting effect compensation are presented briefly.

Keywords: offset antenna, elliptical polarization, squinting, antenna pattern, near field.