

ЛИНЕЙНАЯ АНТЕННА С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В. Д. Двуреченский, П. П. Телепнёв, А. Ю. Федотов

В пролётных космических аппаратах (КА) тип «Метеор-МП» совместно с однокоординатными (по азимуту) опорно-поворотными устройствами используются антенные линейные решётки (АР), излучающие эллиптически поляризованные волны в составе спутниковых радиосистем передачи целевой информации в сантиметровом диапазоне волн. Одной из основных задач проектирования КА, это минимализация габаритно-весовых параметров его составных частей. На основании результатов математического моделирования предложена конструкция малогабаритного возбуждающего устройства линейной антенной решётки из волноводных излучателей. Устройство выполнено в виде отрезка несимметричной полосковой линии с переменным волновым сопротивлением. Отрезок расположен в прямоугольном металлическом жёлобе, а волновое сопротивление линий периодически изменяется таким образом, что в раскрытие жёлоба обеспечивается синфазное амплитудное распределение электрического поля. Высота жёлоба порядка длины волны сравнима с длиной волны, излучаемой линейной АР. Применение такого возбуждающего устройства позволяет значительно уменьшить поперечные размеры АР.

Ключевые слова: антенная решётка, полосковая линия, фазовращатель, диаграмма направленности, поляризация сигнала, волновое сопротивление, электродинамическое моделирование.

В [1] представлены результаты исследований возможности создания линейных антенн с эллиптической поляризацией, которые могут быть использованы совместно с однокоординатными (по азимуту) опорно-поворотными устройствами в спутниковых радиосистемах передачи целевой информации для космических аппаратов (КА) типа «Метеор-МП» (см. рис. 1), выполненных с применением пакета программ моделирования антенн и СВЧ-структур.

Антенна состоит из плоского преобразователя 1 электромагнитного поля в открытом конце волновода 2 сечением $25 \times 25 \text{ мм}^2$ в синфазное электромагнитное поле в раскрытие размером $25 \times 500 \text{ мм}^2$ с помощью ленточной вырезки 3 из параболического зеркала при совмещении фазового центра открытого конца волновода с фокусом зеркала. К раскрытию линейного излучателя присоединена АР 4. Так на частоте 8 ГГц при общих габаритах антенны $500 \times 40 \times 25 \text{ мм}$, размеры возбуждающего устройства составляют 520, 215, 25 мм (рис. 1).

В статье обоснована возможность создания малогабаритного возбуждающего устройства в виде отрезка несимметричной полосковой линии с волновым сопротивлением $W(z)$, периодически меняющимся вдоль линии [2] (рис. 2).

В соответствии с [2], волновое сопротивление полосковой линии $W(z)$ в зависимости от оси Z изменяется по закону $W(z) = W_0 e^{\gamma \cos \beta z}$, где W_0 – амплитудный множитель; $\gamma = -\frac{5}{4} m \gamma$, $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} (1 - \cos \theta)$, θ_0 – угловой параметр, определяющий направление максимального излучения.

При $\theta = \frac{\pi}{2}$, $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$, отрезок линии излучает по нормали, что соответствует синфазному распределению

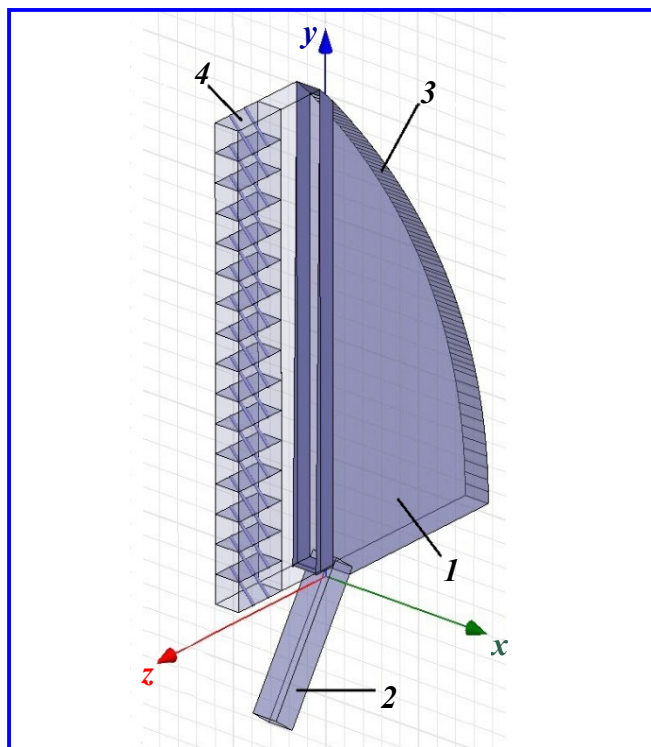


Рис. 1. Модель антенной решётки

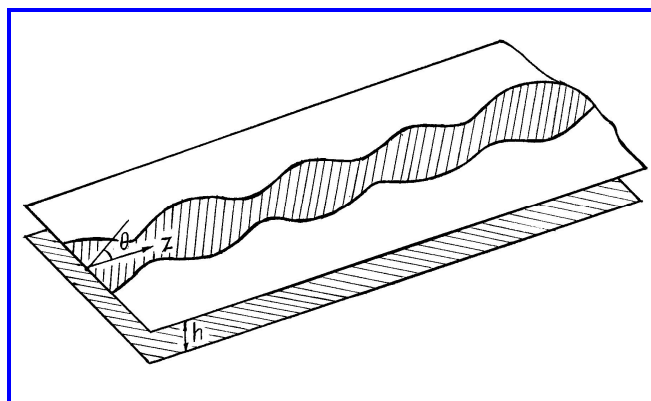


Рис. 2. Вид несимметричной полосковой линии

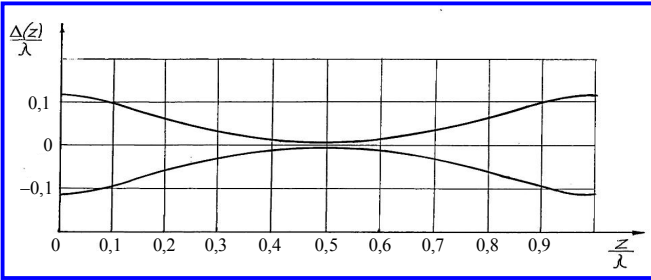


Рис. 3. Функция волны изменения ширины полоска

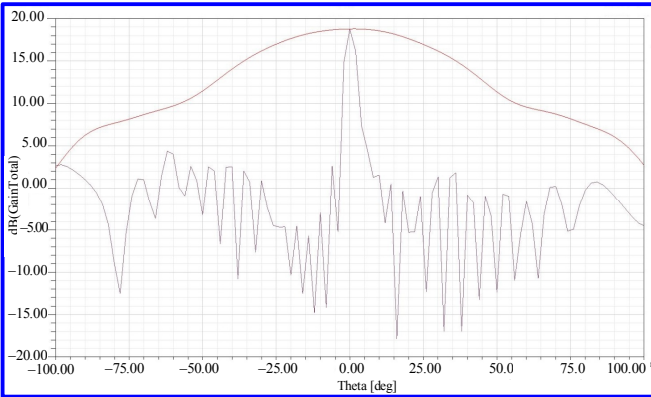


Рис. 4. Диаграмма направленности полосковой линии

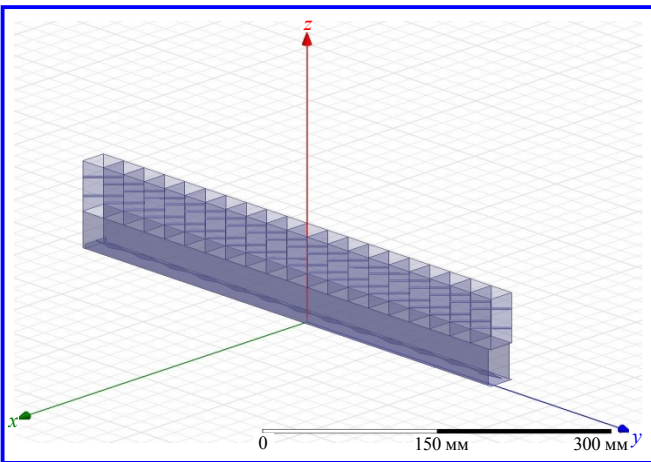


Рис. 5. Общий вид антенны

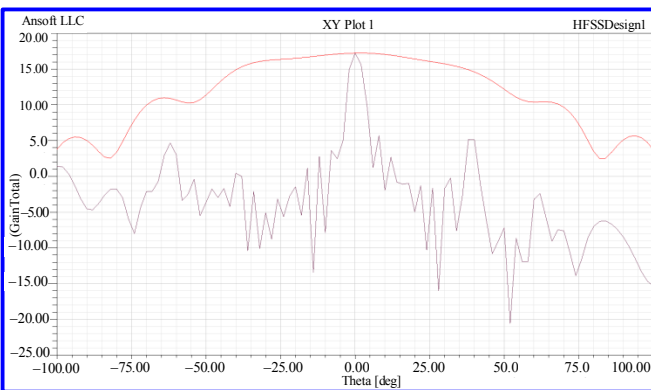


Рис. 6. Диаграмма направленности антенной решётки

электромагнитного поля вдоль линии. Требуемое излучение волнового сопротивления $W(z)$ реализуется соответствующим изменением ширины полоска $\Delta(z)$. Параметр m определяется из равенства:

$$\frac{m^2}{(1-m^2)(2+m)} = \frac{4W_M \cdot \alpha \rho}{15 \cdot 9Q};$$

$$Q = \frac{\frac{2}{\pi v \rho} + J_0(2vh) \cdot N_1(v\rho) - N_0(2vh) \cdot J_1(v\rho)}{N_1^2(v\rho) + J_1^2(v\rho)}.$$

$J_1(x)$, $N_x(x)$ – цилиндрические функции Бесселя и Неймана, соответственно

$$\alpha = \frac{1}{L}, \quad v = \sqrt{k^2 - \alpha^2}, \quad \rho = \frac{\Delta_m}{\pi},$$

где Δ_m – минимальное значение ширины полоска, L – длина антенны.

$$W_O = W_M \exp\left(\frac{5}{4}m\right).$$

h – высота полосковой линии, W_M – максимальное значение $W_{\pi}(z)$ при изменении z .

L , h , W_m являются исходными данными для расчёта конструктивных параметров устройства.

Исходными данными для расчёта отрезка излучающей нормали модулированной полосковой линии являются следующие геометрические параметры: L – длина, h – высота, Δ_m – минимальная ширина полоска, λ – длина волны.

На рис. 3 представлена функция волны изменения ширины полоска Δ в пределах периода $T = \lambda$ для следующих исходных данных: $L = 500$ мм; $h = 5$ мм, $\Delta_m = 1$ мм; $\lambda = 36$ мм.

Расчётное значение: $\rho = 0,32$ мм; $\lambda = 36$ мм.

На рис. 4 показана диаграмма направленности (ДН) антенны, из которой следует, что вдоль отрезка реализовано синфазное амплитудное распределение электромагнитного поля.

Для обеспечения стыковки отрезка излучающей полосковой линии с АР, полосок переменной ширины помещён в металлический прямоугольный жёлоб с размером раскрыва 500×25 мм, совпадающим с раскрывом АР. Глубина жёлоба равна 40 мм. Общий вид антенны представлен на рис. 5.

Из представленных на рис. 6 и 7 ДН и поляризационной характеристики следует, что коэффициент

эллиптичности $v(\theta)$ в секторе углов $\theta(-70^\circ, +70^\circ)$ более 0,7, которые мало отличаются от аналогичных параметров антенны, представленной в [1]. При этом габаритные размеры 500, 80, 25 мм значительно меньше габаритных размеров прототипа 520, 320, 25 мм.

Представленные выше расчётные данные подтверждают возможность создания линейной антенны с эллиптической поляризацией, имеющей поперечные размеры в 2 раза меньшие, чем у линейной антенны с рупорно-параболическим питающим устройством.

Литература

1. Двуреченский В. Д., Телепнёв П. П., Федотов А. Ю. Спутниковая антенна с эллиптической поляризацией / В. Д. Двуреченский, П. П. Телепнёв, А. Ю. Федотов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М. : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2013. – № 3. – Т. 134. – С. 27 – 30.

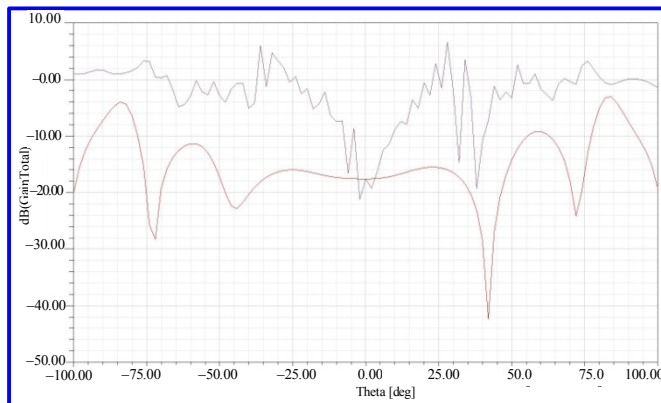


Рис. 7. Уровни основной и паразитной поляризации антенной решётки

2. Двуреченский В. Д., Федотов А. Ю. Антенны с импедансными периодическими структурами / В. Д. Двуреченский, А. Ю. Федотов. – М. : Горячая линия. – Телеком. – 2013. – 152 с. : ил.

Поступила в редакцию 11.12.2017

Виктор Дмитриевич Двуреченский, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник.

Павел Петрович Телепнёв, аспирант, младший научный сотрудник.

Александр Юрьевич Федотов, доктор технических наук, начальник лаборатории.

E-mail: vniiem@vniiem.ru

T. (495) 366-27-55.

LINEAR ELLIPTICALLY POLARIZED ANTENNA FOR SPACECRAFT

V. D. Dvurechenskii, P. P. Telepnev, A. Iu. Fedotov

Flyby spacecraft (SC) of Meteor-MP type use linear antenna arrays emitting elliptically polarized waves in combination with one-coordinate (azimuth) rotary mechanisms. These antenna arrays are used as part of satellite mission data radio systems operating in SHF band. One of the main challenges of SC designing is the minimization of weight and dimension parameters of its components. On the basis of mathematical modeling results the design of a small feed device of a linear antenna array consisting of waveguide radiators is suggested. The device is designed in the form of a piece of asymmetric stripline with variable wave impedance. This piece is located in a rectangular metal groove, and the wave impedance is periodically changed in such a way that the in-phase amplitude distribution of the electrical field is ensured in the groove aperture. The groove height of the order of the wave length is comparable to the length of a wave emitted by the linear antenna array. The use of this feed device allows significantly decreasing the lateral dimension of the antenna array.

Key words: antenna array, stripline, phase shifter, radiation pattern, signal polarization, wave impedance, electrodynamic modeling.

List of References

1. Dvurechenskii V. D., Telepnev P. P., Fedotov A. Iu. Satellite antenna with elliptical polarization / V. D. Dvurechenskii, P. P. Telepnev, A. Iu. Fedotov // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – М. : JSC «VNIIEEM Corporation», 2013. – No. 3. – Vol. 134. – Pp. 27 – 30.

2. Dvurechenskii V. D., Fedotov A. Iu. Antennas with periodic impedance structures / V. D. Dvurechenskii, A. Iu. Fedotov. – М. : Hot line – Telecom Publishing House. – 2013. – 152 p. : with figures.

Viktor Dmitrievich Dvurechenskii, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Leading Researcher.

Pavel Petrovich Telepnev, Ph.D. Student, Junior Researcher.

Aleksandr Iurevich Fedotov, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Head of Laboratory.

E-mail: vniiem@vniiem.ru

Tel.: +7 (495) 366-27-55.