

УДК 621.396.677.4

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ СВОЙСТВ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН

Лобкова Л.М., Головин В.В.

Представлены результаты теоретического и экспериментального исследования зависимости частотных свойств эллиптических спиральных антенн от степени сжатия проводника спирали.

В последнее время к современным системам связи с подвижными объектами предъявляются повышенные требования к обеспечению высокого качества работы, в том числе - к применяемым в них антеннам. Для данного класса антенн необходимо использование эллиптической поляризации поля излучения (или приема), включая круговую и линейную поляризацию. Поэтому перспективными для использования в данных системах являются спиральные антенны, формирующие электромагнитное поле вращающейся поляризации. По сравнению с антеннами линейной поляризации это позволяет повысить качество приема сигнала при сложных электродинамических условиях на трассе, т.е. при изменении ориентации плоскости линейно поляризованного сигнала абонентской станции. Каналы связи современных систем могут размещаться в различных частотных диапазонах. Так производителями системы Smart Trank выпускается оборудование для организации работы на частотах 330...344,403...470 и в диапазоне 800 МГц [1], для чего требуются антенные системы с разными габаритными размерами. Поэтому важным является разработка антенн, способных при постоянных геометрических размерах, без существенного усложнения конструкции работать в различных частотных диапазонах.

В целях решения рассмотренной проблемы проведем исследование направленных свойств эллиптических спиральных антенн (ЭСА) с различным сжатием провода спирали вдоль эллиптической образующей.

Основываясь на полученных ранее соотношениях для поля излучения эллиптической спирали [2], рассмотрим осевое направление, когда

$$\theta = 0, \varphi = \frac{\pi}{2} :$$

$$E_{\theta} = -j\overline{\omega} A_{\theta} = -j\overline{\omega} A_y = -j30k \frac{\exp(-jkR)}{R} b \int_0^{2\pi n} I(s) \exp(jkz) \cos \alpha \, d\alpha, \quad (1)$$

$$E_{\varphi} = -j\overline{\omega} A_{\varphi} = -j\overline{\omega} A_x = -j30k \frac{\exp(-jkR)}{R} b \sqrt{1 - e_0^2} \int_0^{2\pi n} I(s) \exp(jkz) \sin \alpha \, d\alpha, \quad (2)$$

где $z = b \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot E(e_0, \alpha)$; $s = b \cdot \sec \beta \cdot E(e_0, \alpha)$; b, e_0, β, n - соответственно, большая полуось, эксцентриситет, угол намотки, количество витков;

$E(e_0, \alpha)$ - неполный эллиптический интеграл второго рода; k - волновое число; $I(s) = \exp(-jks)$ - нормированный закон распределения тока, аппроксимированный бегущей волной. Тогда согласно (1) и (2) запишем выражения для составляющих поля излучения ЭСА

$$E_{\theta} = -j30k \frac{\exp(-jkR)}{R} b \int_0^{2\pi n} \exp(-j\xi E(e_0, \alpha)) \cos \alpha \, d\alpha, \\ E_{\varphi} = -j30k \frac{\exp(-jkR)}{R} b \sqrt{1-e_0^2} \int_0^{2\pi n} \exp(j\xi E(e_0, \alpha)) \sin \alpha \, d\alpha, \quad (3)$$

где $\xi = kb(\sec \beta - \tan \beta)$ - коэффициент, имеющий смысл обобщенного геометрического параметра, объединяющий радиус поперечного сечения цилиндрической спирали и угол ее намотки к секущей плоскости.

Неполный эллиптический интеграл второго рода, входящий в (3), можно заменить усредненным значением, которое при количестве витков спирали, кратном четверти витка [3], описывает данный интеграл с погрешностью не более 0,2%

$$E(e_0, \alpha) \approx g(e_0) \cdot \alpha, \quad (4)$$

где

$$g(e_0) = \frac{(1 + \sqrt{1-e_0^2}) \cdot (64 \cdot (1 + \sqrt{1-e_0^2})^4 + 3 \cdot (1 - \sqrt{1-e_0^2})^4)}{128 \cdot (1 + \sqrt{1-e_0^2})^4 - 32 \cdot (1 - \sqrt{1-e_0^2})^4}.$$

Учитывая условия формирования круговой поляризации поля излучения в осевом направлении [3], получаем выражение, описывающее ξ для однозаходной эллиптической спирали:

$$\xi_{opt} = \frac{\sqrt{1-e_0^2}}{g(e_0)}. \quad (5)$$

На основе (5) построены зависимости $kb(\beta)$ для значений коэффициента сжатия $a/b = 0,9; 0,7; 0,5; 0,3$ (см. рисунок 1). Анализ полученных результатов показал, что при уменьшении параметра a/b , при неизменных других геометрических параметрах спирали увеличивается оптимальная длина волны, удовлетворяющая условиям формирования круговой поляризации поля из-

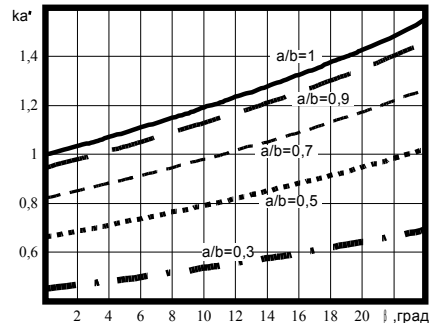


Рисунок 1 - Оптимальные зависимости геометрических параметров эллиптической однозаходной спиральной антенны

лучения в осевом направлении, т.е. диапазон рабочих частот антенны смещается в область более длинных волн при сохранении направленных свойств антенны.

Для подтверждения этого предположения проведены экспериментальные исследования направленных свойств ЭСА с геометрическими параметрами спирали: $\beta = 14^0$; $n=10$; $a/b=0,9$; $0,7$; $0,5$; $0,3$.

Экспериментальные исследования характеристик излучения проведены в условиях открытого полигона по традиционной методике полигонных измерений в дальней зоне [4]. Измерения диаграмм направленности проводились в плоскостях XOZ и YOZ, соответствующих большей и меньшей полуосям поляризованного эллипса, описываемого в пространстве концом вектора E поля излучения ЭСА.

Результаты экспериментальных исследований направленных свойств ЭСА приведены в таблице 1. Анализ представленных результатов показал, что при увеличении сжатия спирали ЭСА центральная частота $F_{ц}$ и рабочая полоса частот, границы которой выбирались по критерию допустимых значений уровня бокового и заднего излучений, смещаются в область более длинных волн, что сопровождается изменениями направленных свойств излучающих структур.

Таблица 1 - Характеристики направленных свойств ЭСА

a/b	$F_{ц}$, МГц	ΔF , МГц	$\Delta\theta_{-10дБ}$, град	$\Delta\varphi_{-10дБ}$, град	УБИ $_{\theta}$, дБ	УБИ $_{\varphi}$, дБ	УЗИ $_{\theta}$, дБ	УЗИ $_{\varphi}$, дБ
0,9	774	736...795	73...102	81...107	-17...-9	-8...-6	-12...-10	-14,6...-11
0,7	715	618...725	55...82	45...118	-20...-10,2	-15,6...-5	-18...-10,2	-19...-11,4
0,5	656	600...710	59...72	54...120	-19...-11,7	-19...-7,7	-14...-9	-17...-9,5
0,3	649	590...680	54...89	60...138	-19...-9	-12...-5,7	-14,6...-6	-19...-8,5

ЭСА в диапазонах частот, указанных в таблице 1, формируют поле излучения с наибольшей интенсивностью в осевом направлении. Ширина диаграмм направленности (ДН) по уровню минус 10 дБ изменяется в пределах от 138^0 до 45^0 для макетов ЭСА с различным сжатием, а уровень бокового (УБИ) и заднего излучения (УЗИ) не превышают минус 6 дБ. Проведем более подробный анализ ДН спиральных антенн, чтобы оценить влияние сжатия спирали на ее направленные свойства.

Увеличение сжатия спирали вдоль эллиптической образующей сопровождается уменьшением ширины ДН по E_θ составляющей во всей рабочей полосе частот, по E_ϕ составляющей - на центральной частоте $F_{\text{ц}}$. Так, при $a/b=0,9$ на $F_{\text{ц}}$ $\Delta\theta_{-10\text{дБ}} = 86^\circ$ и $\Delta\phi_{-10\text{дБ}} = 81^\circ$, а при $a/b=0,7$ $\Delta\theta_{-10\text{дБ}}$ и $\Delta\phi_{-10\text{дБ}}$ составляют 77° и 45° соответственно. При этом снижается стабильность ширины ДН по составляющей E_ϕ в диапазоне частот. Для ортогональных составляющих в плоскости XOZ шири-

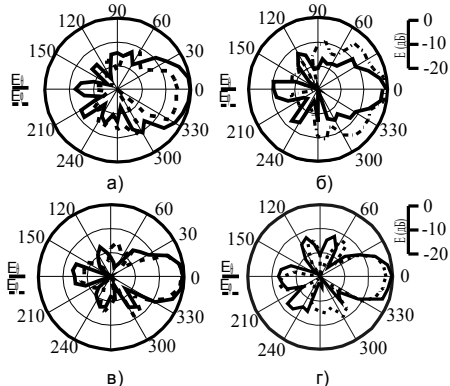


Рисунок 2 - Нормированные диаграммы направленности ЭСА на $F_{\text{центр}}$:

- а - плоскость XOZ; $a/b=0,9$; $F=774$ МГц;
- б - плоскость YOZ; $a/b=0,7$; $F=715$ МГц;
- в - плоскость XOZ; $a/b=0,5$; $F=656$ МГц;
- г - плоскость YOZ; $a/b=0,3$; $F=649$ МГц

на и уровень E_θ больше E_ϕ , в плоскости YOZ это соотношение - обратное (см. рисунок 2).

Для структур с $a/b=0,9$ и $0,5$ наибольшая направленность по E_θ и E_ϕ составляющим поля излучения в обеих плоскостях достигается на $F_{\text{ц}}$, при $a/b=0,7$ и $0,3$ - на частотах, смещенных друг относительно друга. Для каждой ЭСА при отклонении от центральной частоты характер изменения ширины ДН составляющих поля излучения совпадает, а боковое излучение возрастает быстрее заднего, при этом по E_ϕ составляющей УБИ выше, чем по

E_θ .

Сжатие спиральной структуры приводит к увеличению боковых лепестков ДН на границах частотного диапазона, а уровень заднего излучения существенно не изменяется и для структур с $a/b = 0,9...0,5$ не превосходит минус 9 дБ в диапазоне частот. Для случая сильного сжатия ($a/b=0,3$) УЗИ достигает минус 6 дБ на нижнем краю рабочей полосы частот, где форма ДН приближается к гантелеобразной. Так как при отклонении от центральной частоты на $30...60$ МГц УБИ для всех, а УЗИ - для сильно сжатых структур достигают больших значений, то эллиптические спиральные антенны - узкополосные структуры.

При изменении a/b от $0,9$ до $0,3$ коэффициент перекрытия $K_{\text{п}}$ по частоте изменяется от $1,08$ до $1,18$. Полная полоса частот, перекрытая рассмотренными ЭСА, составляет $590...795$ МГц, что соответствует $K_{\text{п}} = 1,35$.

На основании проведенного анализа направленных свойств ЭСА можно сделать вывод о том, что сильное сжатие спирального проводника не нарушает режима излучения с наибольшей интенсивностью в осевом направлении, характерного для слабосжатых структур. При этом отмеченный эф-

фekt смещения рабочего диапазона частот в область длинных волн с уменьшением параметра a/b позволяет разработать на базе эллиптических спиральных структур однотипные, простые по конструкции и надежные в эксплуатации антенны, которые при сохранении габаритных размеров могут быть использованы для работы в каналах связи в различных частотных диапазонах.

Библиография

1 Корпоративные системы спутниковой и КВ связи / Под. ред. А.А. Смирнова. — М.: Изд-во «Эко-Трендз», 1997. — 96 с.

2 Лобкова Л.М. Математическое моделирование и результаты исследований поляризационных характеристик поля излучения спиральных структур, расположенных на эллиптическом цилиндре/ Л.М. Лобкова., М.Б. Проценко, М.В. Ивашина // СВЧ техника и телекоммуникационные технологии: Материалы VIII Междунар. Крым. науч. техн. конф. (КрыМиКо 98), Севастополь, 16-19 сент. 1998 г. — Севастополь, 1998. — Т. 2. — С. 486 – 487.

3 Лобкова Л.М. Математическая модель поля излучения эллиптических спиральных антенн и оптимизация их параметров/ Л.М. Лобкова, М.Б. Проценко, М.В. Ивашина // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. — 1999. — Т. 42. — №1. — С. 27 – 32.

4 Айзенберг Г.З. Антенны УКВ / Г.З. Айзенберг, В.Г. Ямпольский, О.Н. Терешин. — 2-е изд., перераб. — М.: Связь, 1977. — Т.2. — 285 с.

Поступила в редакцию 17.11.2000 г.