

УДК 621.396.674.1

А.В. Лукьянчиков, канд. техн. наук,**А.А. Колпенский, студент****А.В. Могилевский, студент***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 99053**E-mail: brain75@mail.ru***ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ
ДВУХЗАХОДНОЙ КОНИЧЕСКОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ**

Представлены результаты исследования поляризационной структуры поля излучения двухзаходной конической спиральной антенны и определены оптимальные значения фазы тока и углового положения заходов антенны.

Ключевые слова: *проволочная антенна, коническая спиральная антенна.*

В настоящее время опубликовано большое количество теоретических и экспериментальных работ, посвященных однозаходным коническим спиральным антеннам (КСА) [1, 2, 3]. В работе [3] предложены методы исследования многозаходных КСА, однако практического использования эти методы не нашли.

Дальнейшее развитие КСА пошло по пути применения двухзаходных КСА, заходы которых располагались на расстоянии диаметра большого кольца КСА и возбуждались по принципу возбуждения симметричного вибратора. Однако анализ поля излучения КСА показал, что и при двух заходах КСА необходимо провести оптимизацию, как углового положения второго захода, так и фазу возбуждающего его тока.

Поэтому целью работы является оптимизация характеристик излучения двухзаходной КСА как по требуемой форме диаграммы направленности, так и по виду поляризации излучения.

В качестве примера рассмотрим равношаговую спираль с правосторонней намоткой на круговом конусе с углом $\theta_0 = 10^\circ$ при вершине конуса. Будем полагать, что КСА работает в частотном диапазоне от 2 до 3 ГГц, число витков спирали $n = 7$, начальный радиус витка спирали вблизи вершины конуса $\rho_0 = 1,4$ см, а конечный радиус спирали в основании конуса — $\rho_k = 2,4$ см. Размеры экрана излучения двухзаходной КСА были рассчитаны на частоте $f = 2,5$ ГГц. Для удобства анализа на рисунке 1, а показан первый заход КСА, а на рисунке 1, б — второй заход КСА, расположение которого относительно первого захода определяется углом $\varphi_{пол}$. При этом будем считать угол $\varphi_{пол}$ при повороте вправо от первого захода положительным (со знаком «+»), а при повороте влево — отрицательным (со знаком «-»), что позволяет представить направление вращения вектора электрической напряженности \vec{E} .

Для исследования характеристик излучения двухзаходной КСА был выбран метод векторного потенциала \vec{A} , согласно которому вектор \vec{E} в зоне излучения определяется соотношением

$$\vec{E}_i = -j\omega\vec{A}_i,$$

где

$$\vec{A}_i = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{S_i} I_i(S_i) \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{dS}_i; \quad (1)$$

при $i = 1$ — для первого захода; $i = 2$ — для второго захода.

$$I_i(S_i) = I_0 e^{j\varphi_{Ti}} e^{-jkS_i};$$

при $i = 1$, $\varphi_{тока} = 0$; при $i = 2$, $\varphi_{тока} \neq 0$.

Таким образом, результирующий вектор \vec{E} в точке $M(x, y, z)$ будет определяться соотношением

$$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = -j\omega(\vec{A}_1 + \vec{A}_2), \quad (2)$$

либо

$$E_\theta = A_{1\theta} + A_{2\theta} \quad \text{и} \quad E_\varphi = A_{1\varphi} + A_{2\varphi}. \quad (3)$$

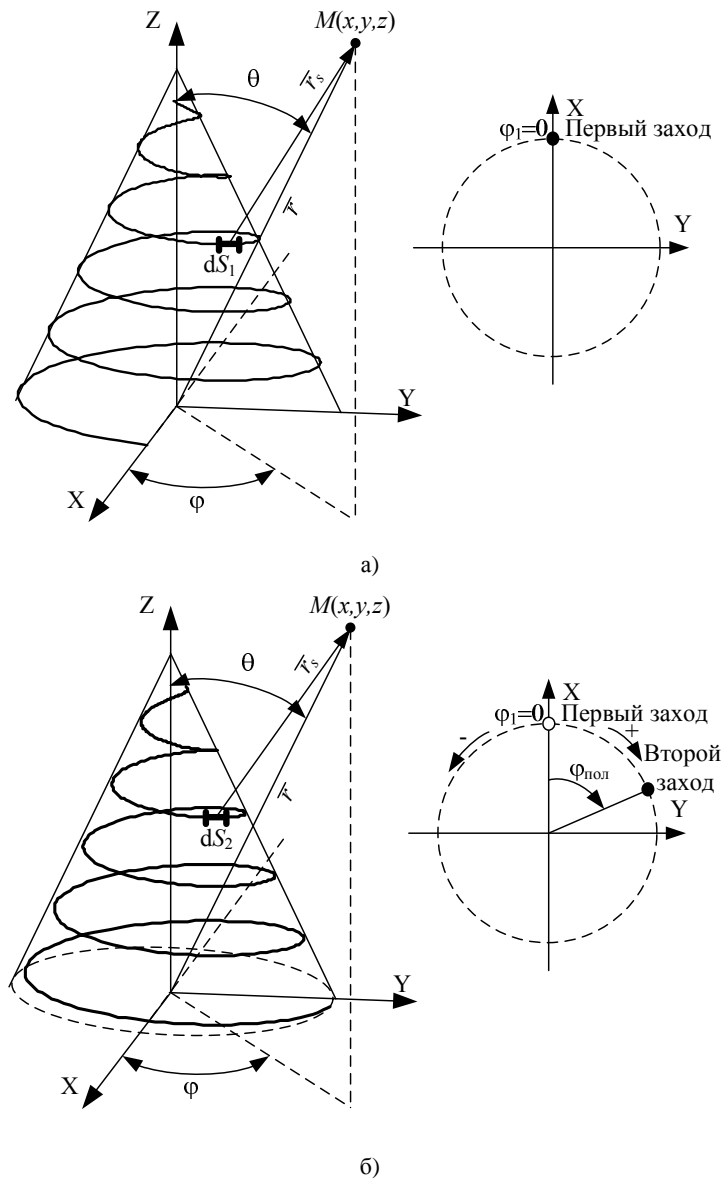


Рисунок 1 — Геометрическое расположение заходов конической спиральной антенны:
а) расположение первого захода, б) расположение второго захода

Для вычисления \vec{A}_1 и \vec{A}_2 необходимо задать декартовы координаты излучателя (x_1, y_1, z_1) для векторного потенциала \vec{A}_1 и (x_2, y_2, z_2) для векторного потенциала \vec{A}_2 . Запишем координаты излучателя для векторного потенциала \vec{A}_1 :

$$\begin{cases} x_1 = (h \sin(\theta_0 \alpha) + \rho_0) \cos \alpha; \\ y_1 = (h \sin(\theta_0 \alpha) + \rho_0) \sin \alpha; \\ z_1 = h \cos(\theta_0 \alpha), \end{cases} \quad (4)$$

где h — шаг спирали по образующей конуса, а также дифференциалы этих координат:

$$\begin{cases} dx_1 = [h \sin \theta_0 \cdot \cos \alpha - (h \sin(\theta_0 \alpha) + \rho_0) \sin \alpha] d\alpha; \\ dy_1 = [h \sin \theta_0 \cdot \sin \alpha + (h \sin(\theta_0 \alpha) + \rho_0) \cos \alpha] d\alpha; \\ dz_1 = -h \sin \theta_0 \cdot d\alpha. \end{cases} \quad (5)$$

Учитывая, что длины спиралей равны $S_1 = S_2$, определим их величину

$$S_1 = S_2 = 0,5 \left[\alpha \sqrt{h^2 (1 + \sin^2(\theta_0 \alpha)) + 4\rho_0^2} + (h \sin \theta_0)^{-1} (h^2 + 4\rho_0^2) \ln \left(h \sin(\theta_0 \alpha) + \sqrt{h^2 (1 + \sin^2(\theta_0 \alpha)) + 4\rho_0^2} \right) \right]. \quad (6)$$

По аналогії з формулами (4) і (5) і з урахуванням кута повороту $\varphi_{нов}$ можна записати аналогічні співвідношення і для другого заходу КСА.

По формулам (1)...(6) були проведені численні розрахунки при наступних умовах:

- положення другого заходу КСА визначалося кутом $\varphi_{пол}$, який змінювався від $22,5^\circ$ до $337,5^\circ$ з дискретним приращенням $22,5^\circ$;
- для кожного положення $\varphi_{пол}$ другого заходу КСА фаза току $\varphi_{тока}$ змінювалась від $22,5^\circ$ до $337,5^\circ$ з дискретним приращенням, також рівним $22,5^\circ$.

Аналіз отриманих численних результатів показав наступне:

1. Для двухазодної КСА, збудженої по схемі симетричного вібратора, тобто $\varphi_{пол} = 180^\circ$ і $\varphi_{тока} = 180^\circ$ має місце одностороннє осеве випромінювання з шириною діаграми направленості (ДН) для E_θ , рівної $\Delta\theta_{0,707} = 57^\circ$, а для E_φ рівної $\Delta\theta_{0,707} = 64^\circ$ відповідно. Частичне значення коефіцієнта направленої дії (КНД) D для E_θ склало $D_\theta = 6$ дБ, а для E_φ — $D_\varphi = 8,5$ дБ.

Оскільки рівень бічного випромінювання для даної КСА менше -38 дБ, тобто бічні лепістки достатньо малі, то їх вплив можна не враховувати. Особливу увагу було приділено дослідженню поляризаційної структури поля випромінювання КСА, для чого був виконаний розрахунок осевого коефіцієнта еліптичності $|P| = \frac{E_\theta}{E_\varphi}$ при $\theta = 0$, $\varphi = 0$. По значенню модуля P , який для двухазодної КСА

приймає значення більше $0,5$ можна судити про те, що поле випромінювання еліптично поляризоване. В цьому випадку передбачається, що значення $|P|$ близько до одиниці, якщо різниця фаз $\psi_\theta - \psi_\varphi = \pi/2$.

2. При оптимізації характеристик випромінювання КСА був розглянутий варіант синфазного положення заходів, коли змінювалось кутове положення другого заходу $\varphi_{пол}$ від $22,5^\circ$ до $337,5^\circ$.

Проаналізуємо випадки, коли $\varphi_{нов} = 90^\circ$ і $\varphi_{нов} = -90^\circ$. З фізичної точки зору це означає, що другий захід розташований або після першого при $\varphi_{нов} = 90^\circ$, або перед першим при $\varphi_{нов} = -90^\circ$.

Результати численних розрахунків характеристик випромінювання показані на рисунку 2.

Із рисунків 2, а і 2, б випливає, що при $\varphi_{нов} = 90^\circ$ основну роль в випромінюванні поля грає складова електричної напруги E_θ при цьому. При цьому максимум випромінювання направлено вздовж осі КСА, ширина ДН і КНД складають $\Delta\theta_{0,707} = 60^\circ$ $D_\theta = 9$ дБ відповідно. Отриманий результат свідчить про наявність лінійно-поляризованого поля з вертикальною поляризацією, при $|P| \leq 0,05$.

Розглянемо випадок, коли другий захід КСА розташований перед першим, тобто $\varphi_{нов} = -90^\circ$. В даному випадку, як випливає з рисунків 2, в і 2, г, основну роль грає складова електричної напруги E_φ . При цьому основні параметри антени мають такі ж значення: $|P| \leq 0,05$, $\Delta\theta_{0,707} = 60^\circ$ $D_\varphi = 9$, що і в попередньому випадку, і поле також лінійно-поляризоване, але тільки в горизонтальній площині.

Таким чином, при $\varphi_{нов} = \pm 90^\circ$ можна перейти від вертикальної поляризації (E_θ) до горизонтальної поляризації (E_φ) при цьому змінюється напрямлення обертання \vec{E} від правостороннього, збігаючого з напрямком намотки спіралі, до лівостороннього.

3. Особливий інтерес представляють варіанти оптимізації фази току $\varphi_{тока}$ другого заходу і його кутового переміщення $\varphi_{нов}$.

Одностороннє випромінювання отримано для випадків:

- $\varphi_{тока} = 22,5^\circ$ і $\varphi_{нов} = 45^\circ$;
- $\varphi_{тока} = 90^\circ$ і $\varphi_{нов} = 90^\circ$.

На рисунках. 2, д и 2, е показаны ДН для первого и второго случая, и значения КНД: D_θ и D_φ . Данный результат свидетельствует о том случае, что когда $|P| \geq 0,9$, поле излучения КСА близко к круговой поляризации, при этом значения КНД и ширина ДН сохраняются во всех вышеперечисленных случаях.

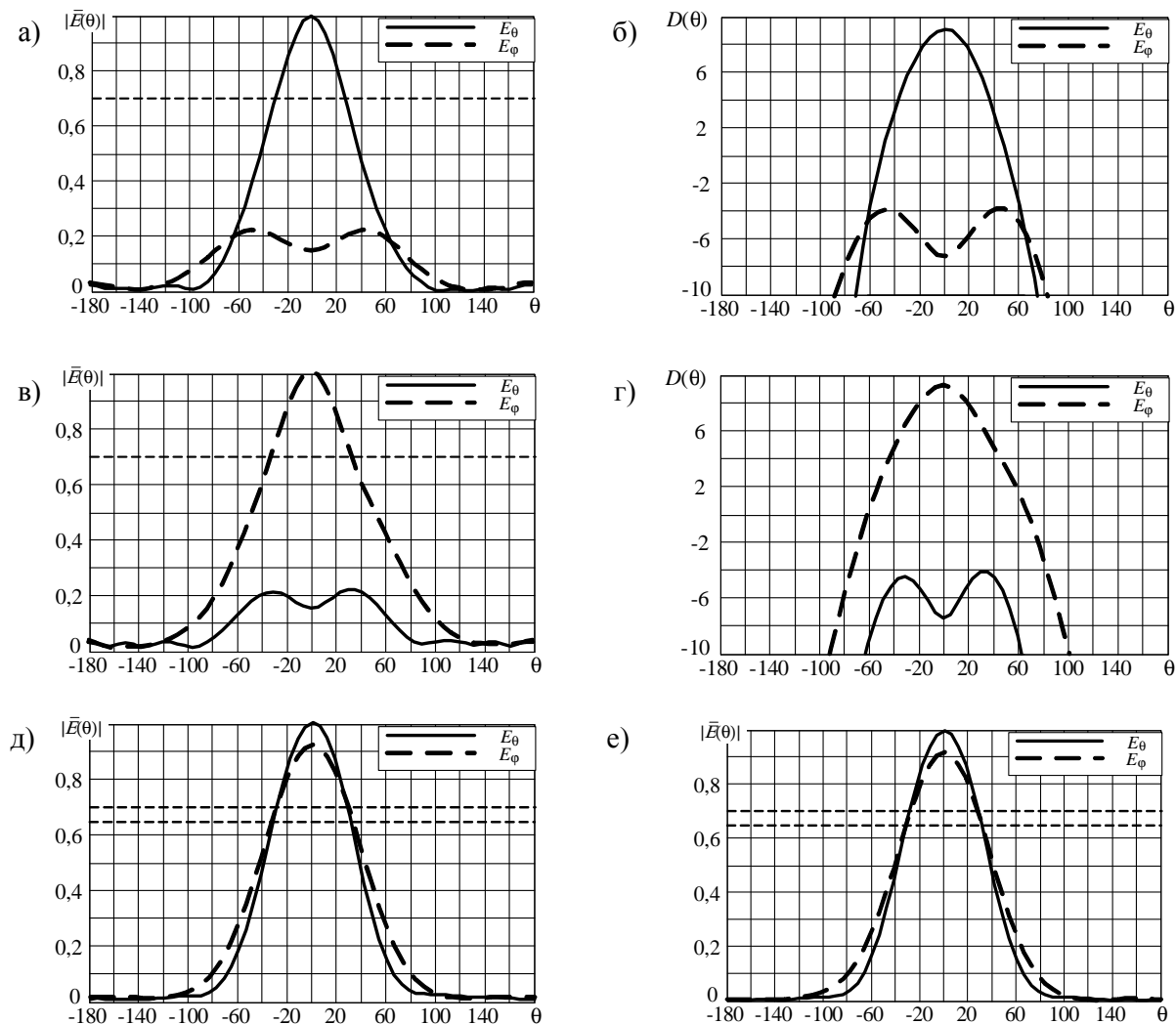


Рисунок 2 — Теоретически рассчитанные характеристики излучения двухзаходного конического спирального излучателя:

- а) ДН при синфазном возбуждении ($\varphi_{\text{тока}} = 0^\circ$, $\varphi_{\text{пов}} = 90^\circ$);
- б) угловая зависимость КНД при синфазном возбуждении ($\varphi_{\text{тока}} = 0^\circ$, $\varphi_{\text{пов}} = 90^\circ$);
- в) ДН при синфазном возбуждении ($\varphi_{\text{тока}} = 0^\circ$, $\varphi_{\text{пов}} = 270^\circ$);
- г) угловая зависимость КНД при синфазном возбуждении ($\varphi_{\text{тока}} = 0^\circ$, $\varphi_{\text{пов}} = 270^\circ$);
- д) ДН при прогрессивном возбуждении ($\varphi_{\text{тока}} = 22,5^\circ$, $\varphi_{\text{пов}} = 45^\circ$);
- е) ДН при прогрессивном возбуждении ($\varphi_{\text{тока}} = 90^\circ$, $\varphi_{\text{пов}} = 90^\circ$).

Таким образом, на основании проведенного исследования было установлено следующее.

1. Поляризационная структура поля излучения двухзаходной КСА зависит как от фазы тока, так и от расположения второго захода. При этом можно получить поле излучения с поляризацией, изменяющейся от линейной до круговой.

2. При смещении второго захода на угол $\varphi_{\text{пов}} = \pm 90^\circ$ и синфазном возбуждении поля, излучения КСА обладает линейной поляризацией. При $\varphi_{\text{пов}} = 90^\circ$ имеет место вертикальная поляризация, а при $\varphi_{\text{пов}} = -90^\circ$ — горизонтальная.

3. Во всех рассмотренных случаях возбуждения КСА и положения второго захода КНД и ширина ДН практически сохраняют свои значения.

В дальнейшем предполагается экспериментальное исследование характеристик КСА.

Библиографический список использованной литературы

1. Лобкова Л.М. Математическая модель поля излучения спиральных антенн и оптимизация их параметров / Л.М. Лобкова, М.Б. Проценко, М.В. Ивашина // Изв. вузов. Сер. Радиотехника. — 1999. — № 9. — С. 37–43.

2. Лобкова Л.М. Анализ поля излучения антенн с вращающейся поляризацией / Л.М. Лобкова, М.Б. Проценко // Изв. вузов. Радиоэлектроника. — 2002. — Т. 45. — № 5. — С. 14–20.

3. Юрцев О.А. Спиральные антенны / О.А. Юрцев, А.В. Рунов, А.Н. Казарин. — М: Сов. радио, 1974. — 224 с.

Поступила в редакцию 18.03.2013 г.

Лук'янчиков А.В., Колпенский А.А., Могилевский А.В. Оптимізація характеристик випромінювання двухзаходної конічної спіральної антени

Представлено результати дослідження поляризаційної структури поля випромінювання двухзаходної конічної спіральної антени і визначені умови для фази струму і кутової відстані між заходами.

Ключові слова: дротяна антена, конічна спіральна антена.

Lukjanchikov A.V., Kolkpensky A.A., Mogilevsky A.V. Two-branch conical spiral antenna radiation characteristics optimization

The results of the study of the polarization structure of the radiation field two-branches conical spiral antenna and the conditions for the phase current and the angular distance between branches.

Keywords: wire antenna, conical spiral antenna.