

УДК 621.396.67

## **ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МНОГОЗАХОДНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН**

**Головин В.В., Афонин Ф.И., Редин М.М.**

Севастопольский национальный технический университет

99053, г. Севастополь, Стрелецкая балка, Студгородок кафедры радиотехники

E-mail: [rt.sevgtu@stel.sebastopol.ua](mailto:rt.sevgtu@stel.sebastopol.ua)

*Найдены выражения для определения характеристик многозаходных цилиндрических спиральных антенн, проведен анализ направленных и поляризационных свойств антенн в зависимости от фазировки входов.*

Управление поляризацией осуществляют, как правило, с помощью механических поворотных устройств, различных типов поляризаторов за счет использования турникетных излучателей и, наконец, электрическими методами при создании требуемого амплитудно-фазового распределения тока.

Типичным примером диапазонной антенны с управляемой поляризацией излучения, реализующей пространственное сложение полей, является антенна, состоящая из двух однозаходных спиральных излучателей, расположенных над проводящим экраном и разнесенных в пространстве [1]. Для реализации требуемых характеристик излучения выбрано встречное направление намотки спиральных структур. Однако данная антенная система обладает значительными габаритными размерами, так как предполагается разнос излучателей на расстояние более 1,2 от длины волны излучателя. При этом диапазонные свойства антенны ограничиваются низкочастотной областью взаимным влиянием излучателей, что приводит к асимметричному сложению полей и ухудшает направленные свойства антенны в осевом направлении. Поэтому подобный способ формирования требуемой поляризационной структуры поля затрудняет практическое использование данной антенны.

Освободиться от указанных недостатков можно, применив в качестве излучающего элемента двухзаходную совмещенную цилиндрическую спиральную антенну (ЦСА) [2].

**Основные соотношения для поля излучения антенны.** Для анализа электродинамических характеристик поля излучения, создаваемого совмещенной спиральной антенной, учитывая принцип суперпозиции электромагнитных полей различных источников, воспользуемся методом декомпозиции. При этом совмещенную спиральную антенну можно

представить в виде набора дискретных излучателей, в качестве которых используются отдельные заходы спирали. Излучатели могут иметь произвольную форму и возбуждаться токами с различными амплитудно-фазовыми соотношениями

Результатирующее поле такой антенной системы можно найти как сумму полей от всех излучателей, образующих антенну. Параметрическое представление геометрии и математическая модель поля излучения одиночной спиральной структуры представлены в [3,4].

Рассматриваемая двухзаходная цилиндрическая спиральная антенна

конструктивно состоит из двух совмещенных спиральных структур

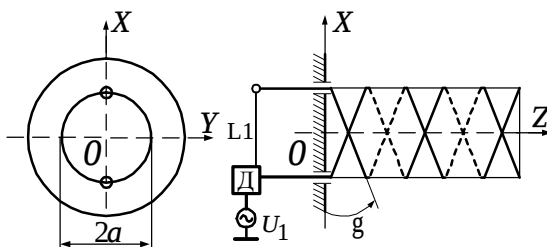


Рисунок 1 – Двухзаходная цилиндрическая спиральная антенна

имеющих встречную  
намотку и  
расположенных  
ортогонально над  
плоским проводящим

экраном. Геометрические параметры спиральных излучателей одинаковы

Совместим ось антенны с осью  $Z$  декартовой системы координат тогда экран будет располагаться в плоскости  $XOY$ , как показано на рисунке 1.

Точки возбуждения первого и второго спирального захода расположим в плоскости экрана, например, на оси  $X$ , равноудаленно от центра. Направление намотки первого спирального захода выберем правостороннее, соответствующее осевому приращению спирали в положительном направлении оси  $Z$  при обходе спирали по часовой стрелке. Тогда направление намотки второго спирального захода соответственно левостороннее. Будем также считать, что спирали являются регулярными и характеризуются следующими геометрическими параметрами:  $a$  – радиусом цилиндрической поверхности, на которую навит спиральный излучатель;  $\gamma$  – углом наклона витка спирали относительно плоскости, ортогональной оси цилиндрической поверхности (плоскость экрана);  $n$  – количеством витков спирали. В качестве параметра, описывающего геометрию спирали, выберем угол  $\alpha$ , изменяющийся в пределах от 0 до  $2\pi l$ . Для обеспечения требуемого равноамплитудного возбуждения входов токами с требуемой разностью фаз

используем стандартный делитель мощности  $D$  и дополнительный отрезок питающего кабеля  $L1$  (рисунки 1).

Согласно представленному расположению спиральных излучателей и особенностям их намотки геометрию первого захода как излучателя в составе двухэлементной решетки при расстоянии между осями спиралей по осям  $X$  и  $Y$ , равном  $d1$  и  $d2$ , можно описать следующими параметрическими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} x_1(\alpha) &= a \cdot \cos \alpha + d1/2; \\ y_1(\alpha) &= a \cdot \sin \alpha + d2/2; \\ z_1(\alpha) &= a \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \alpha; \end{aligned} \right\} \quad \text{и} \quad \left. \begin{aligned} D_1^x(\alpha) &= -a \cdot \sin \alpha; \\ D_1^y(\alpha) &= a \cdot \cos \alpha; \\ D_1^z(\alpha) &= a \cdot \operatorname{tg} \gamma. \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Соответственно геометрия второго захода будет описываться параметрическими уравнениями вида:

$$\left. \begin{aligned} x_2(\alpha) &= -a \cdot \cos \alpha - d1/2; \\ y_2(\alpha) &= a \cdot \sin \alpha - d2/2; \\ z_2(\alpha) &= a \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \alpha; \end{aligned} \right\} \quad \text{и} \quad \left. \begin{aligned} D_2^x(\alpha) &= a \cdot \sin \alpha; \\ D_2^y(\alpha) &= a \cdot \cos \alpha; \\ D_2^z(\alpha) &= a \cdot \operatorname{tg} \gamma. \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Для учета влияния экрана на поле излучения антенны, воспользуемся методом зеркальных отображений [3]. На основании данного метода совмещенную спиральную антенну, состоящую из двух встречных заходов и расположенную над плоским проводящим экраном, можно заменить эквивалентной четырехзаходной спиралью. Причем третий и четвертый заходы, характеризующие влияние экрана, имеют аналогичные геометрические параметры, соответствующие первому и второму заходам, за исключением направления намотки. Так, при обходе этих заходов, начиная от точек возбуждения осевое приращение спиралей будет соответствовать отрицательному направлению оси  $Z$ .

Исходя из этого, геометрические параметры третьего и четвертого заходов, обозначив их соответственно индексами 13 и 23, будут определяться на основании следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} x_{13,23}(\alpha) &= x_{1,2}(\alpha); \\ y_{13,23}(\alpha) &= y_{1,2}(\alpha); \\ z_{13,23}(\alpha) &= -z_{1,2}(\alpha); \end{aligned} \right\} \quad \text{и} \quad \left. \begin{aligned} D_{13,23}^x(\alpha) &= D_{1,2}^x(\alpha); \\ D_{13,23}^y(\alpha) &= D_{1,2}^y(\alpha); \\ D_{13,23}^z(\alpha) &= -D_{1,2}^z(\alpha). \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Используя выражения (1) – (3) и математические соотношения для составляющих поля в линейном базисе [3,4], можно рассчитать характеристики поля излучения двухэлементной решетки из

цилиндрических спиралей со встречной намоткой при различных расстояниях между их центрами и с заданной разностью фаз равноамплитудного возбуждения входов антенны. Для качественного анализа направленных и поляризационных характеристик двухзаходных антенн расчеты проводились как для совмещенных, так и для разнесенных в пространстве спиральных излучателей.

Учитывая принцип электродинамического подобия, геометрия спиралей выбрана для диапазона частот 600..700 МГц. Для нее в диапазоне геометрических параметров спиральных излучателей при различных фазовых соотношениях между входами рассчитаны характеристики излучения. Это позволило выявить свойства структуры, показанной на рисунке 1, которые подтверждают возможность применения ее в качестве антенны с управляемой поляризацией поля излучения в диапазоне частот.

Введение второго захода изменяет поляризационную структуру поля из круговой в линейную. Линейная поляризация поля сохраняется независимо от выбора геометрии излучателей, их взаимного положения и амплитудно-фазового распределения тока на них.

Количество витков влияет на направленные свойства одиночной структуры и двухзаходной антенны в целом, так с увеличением  $n$

происходит следующее: увеличивается стабильность ширины диаграмм направленности (ДН) в диапазоне частот; уменьшается отклонение максимума излучения от осевого направления, но возрастает уровень бокового излучения на верхних частотах; увеличивается КНД; осевой коэффициент эллиптичности одиночного излучателя уменьшается; поляризационные характеристики двухзаходной антенны не зависят от  $n$ .

Пространственное разнесение синфазно возбуждаемых излучателей ( $d_1$  или  $d_2 > 0$ ) не приводит к изменениям поляризационных характеристик, но сказывается на направленных свойствах, когда с увеличением расстояния между спиралями от 0 до 1 длины волны излучателя ширина ДН уменьшается, изменяется уровень бокового излучения, принимающий наименьшие значения при  $d = 0,5 \dots 1\lambda$ , а при большем разнесении спиралей – резко возрастает, так как начинают проявляться дифракционные максимумы. Одновременно с ростом  $d$  увеличивается уровень побочных составляющих поля в направлениях, отличных от осевого, который при  $d = \lambda$  вблизи верхней границы рабочей полосы частот превосходит излучение на основной поляризации. При совмещении излучателей развязка между

компонентами поля в полосе частот составляет не менее минус 15...20 дБ.

Проанализируем потенциальные возможности двухзаходной структуры в управлении поляризацией поля излучения. Для этого входы спиралей будем возбуждать с разностью фаз от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

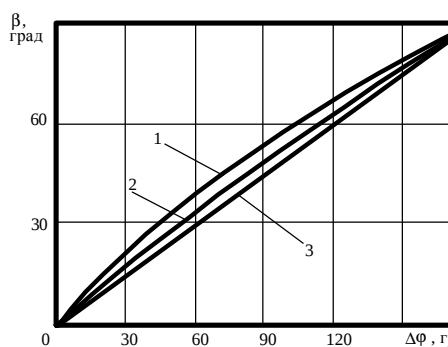


Рисунок 2 – Зависимость угла поворота плоскости поляризации поля излучения двухзаходной ЦСА от разности фаз возбуждения входов при различных углах подъема витков спиралей: 1–  $\gamma=10^\circ$ ; 2–  $\gamma=22^\circ$ ; 3–  $\gamma=25^\circ$

На частоте 600 МГц для совмещенных спиральных излучателей при изменении разности фаз возбуждения входов угол наклона плоскости поляризации изменяется, как показано на рисунке 2.

Зависимость угла наклона плоскости поляризации от разности фаз  $\beta(\Delta\phi)$  нелинейная. При этом следует отметить влияние угла наклона витков спирали  $\gamma$  на

поляризационные характеристики. Увеличивая  $\gamma$ , тем самым увеличиваем линейность зависимости угла наклона плоскости

поляризации  $\beta$  от разности фаз между входами излучателей  $\Delta\varphi$  (см. рисунок 2), однако следует учитывать, что с увеличением  $\gamma$  (от  $15^\circ$  до  $25^\circ$ ) рабочая полоса частот смещается в область длинных волн, ДН сужается (на  $10^\circ \dots 30^\circ$ ) и при  $\gamma > 25^\circ$  существенно возрастает уровень бокового излучения (УБИ). В целях обеспечения большей линейности зависимости  $\beta(\Delta\varphi)$  ограничимся величиной  $\gamma = 22^\circ$ .

Характеристика регулировки положения плоскости поляризации при изменении фаз

возбуждения является

частотно-зависимой

(рисунок 3). При

синфазном и

противофазном

возбуждении излучателей

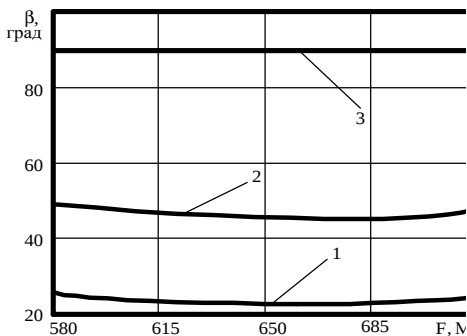
угол  $\beta$  сохраняет свое

значение в диапазоне частот, при других фазовых соотношениях между

входами спиралей  $\beta$  – изменяется, как показано на рисунке 3, в

пределах  $5^\circ$ . Так как вблизи максимума эллипса поляризации модуль

вектора напряженности изменяется медленно, то отклонения  $\beta$  от



фиксированного значения на небольшой угол практически не скажется на уровне поля излучения слабонаправленной антенны.

Изменение разности фаз возбуждения входов сказывается и на направленных свойствах антенны в целом. Здесь следует отметить

главное преимущество при

решении задачи управления

поляризации совмещенной

структуры перед

двухэлементной решеткой,

когда в последней при

изменении фазы возбуждения

входов происходит

сканирование главного луча

ДН в малом секторе углов и

существенно возрастает УБИ

побочной составляющей поля

(до 3 дБ при  $d = 0,5\lambda$  и выше, при увеличении  $d$ ). В совмещенной

структуре антенна формирует осевое излучение в диапазоне частот при

любых фазовых соотношениях токов спиралей. При этом изменение

разности фаз возбуждения приводит к незначительному уменьшению

ширины ДН в середине полосы частот и к уменьшению уровня

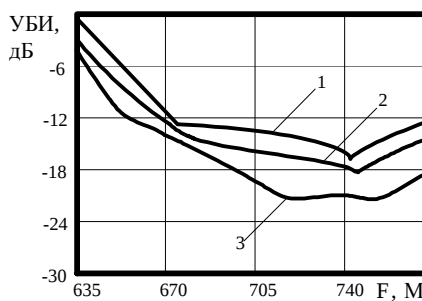


Рисунок 4 – Зависимость уровня бокового излучения двухзаходной совмещенной спиральной антенны от разности фаз возбуждения входов  $\Delta\varphi$  в диапазоне частот:

1–  $\Delta\varphi=90^\circ$ ; 2–  $\Delta\varphi=135^\circ$ ; 3–  $\Delta\varphi=180^\circ$

бокового излучения в пределах  $\pm 5$  дБ, который при синфазном возбуждении совпадает со значениями для однозаходной спиральной антенны. При этом УБИ побочной составляющей поля принимает значения не более минус 8...15 дБ.

Таким образом, проведенный анализ направленных и поляризационных характеристик совмещенных двухзаходных спиральных антенн подтверждает практическую ценность данной структуры для разработки антенны с управляемой линейной поляризацией излучения при сохранении энергетических характеристик в диапазоне частот.

### ***Библиографический список***

1. Пат. 2013830 РФ, МКИ Н 01 Q 11/08. Биспиральная антенна / А.И. Самусенко (РФ). — № 93025514/09; Заявлено 16.04.91; Оpubл. 30.05.93, Бюл. № 10. — 4 с.
2. Пономарев Л.И. Совмещенная двухдиапазонная цилиндрическая спиральная антенна / Л.И. Пономарев, М.Е. Розет // Радиотехника — 1996. — № 1. — С. 33–36.
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. — № 9. — С. 37–43.

4. Lobkova L.M. Generalized model of radiation field of elliptical helical antennas / L.M. Lobkova, M.B. Prozenko, M.V. Ivashina, V.V. Molchanov // Proc. Int. Symp. on Antenna Theory and Techniques. — Davos, Switzerland, 2000. — P. 76.

*Поступила в редакцию 31.01.2002 г.*