

1 Назначение и область применения спиральной антенны

Антенна является одним из самых важных элементов любой радиотехнической системы, связанной с излучением и приёмом радиоволн. К таким системам относят системы радиосвязи, радиовещания, телевидения, радиоуправления, радиолокации, радиорелейной связи, радиоастрономии, радионавигации [1].

Антенной называется радиотехническое устройство для излучения и приёма радиоволн. В режиме передачи антенна преобразует энергию электромагнитных колебаний высокой частоты в энергию излучаемых радиоволн. В режиме приёма антенна выполняет обратную функцию - преобразование энергии распространяющихся радиоволн в энергию электромагнитных колебаний.

Стремительное развитие систем телекоммуникаций вызвало практическую потребность в антеннах, способных обеспечить излучение и приём поля с круговой или близкой к ней эллиптической поляризацией в широком диапазоне частот. Для создания поля с подобной поляризацией в диапазоне метровых и дециметровых волн широкое применение находят спиральные антенны, относящиеся к типу антенн бегущих волн. Спиральные антенны находят применение в качестве самостоятельных антенн или в качестве облучателей зеркальных и линзовых антенн. В настоящее время цилиндрические многовитковые спирали традиционно применяются для переносных нелинейных радиолокаторов. Широкое распространение антенны данного типа получили в устройствах личной связи: значительная часть сотовых телефонов и мобильных

станций содержат в своей конструкции спиральные антенны, работающие в режиме осевого излучения. Наиболее популярным представителем этого класса антенн являются цилиндрические спиральные антенны.

2 Конструкция, геометрические параметры и режимы излучения цилиндрической спиральной антенны

Цилиндрическая спиральная антенна состоит из проволочной спирали (направитель) и плоского металлического экрана (фланец). Для питания спирали используется коаксиальный фидер, центральная жила которого подключается к проводу спирали, а наружная оболочка присоединяется к экрану. Металлический экран препятствует затеканию тока на внешнюю поверхность коаксиального фидера и, кроме того, выполняет роль рефлектора, ослабляющего излучение в заднюю полусферу [2].

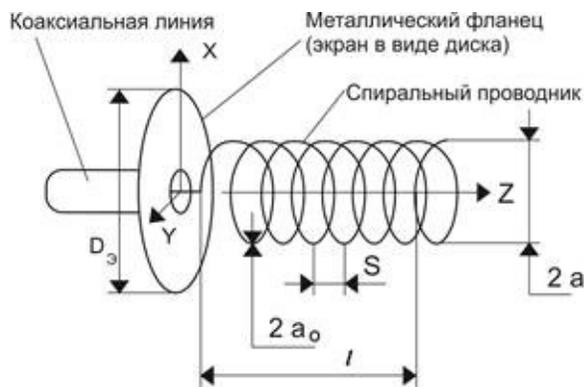


Рисунок 1.1 – Цилиндрическая спиральная антенна

Цилиндрическая спираль, показанная на рисунке 1.1, может быть охарактеризована следующими параметрами: длиной витка L , расстоянием между витками (шаг) S , осевой длиной l ($l = NS$, где N – число витков) и диаметром

витка $D = 2a$. Направленные свойства такой антенны зависят от соотношения между её геометрическими размерами и длиной волны.

Традиционно существует три режима излучения:

1. *Режим нормального излучения* при $\lambda > 6D$.

Диаграмма направленности антенны в этом режиме в плоскости, совпадающей с осью спирали, имеет вид восьмерки, а в плоскости, перпендикулярной оси спирали, представляет собой окружность. По причине того, что сопротивление излучения оказывается весьма малым и коэффициент полезного действия оказывается низким, спиральные антенны в этом режиме на практике практически не используются [2].

По мере укорочения волны направленные свойства антенны и характер излучаемого поля меняются.

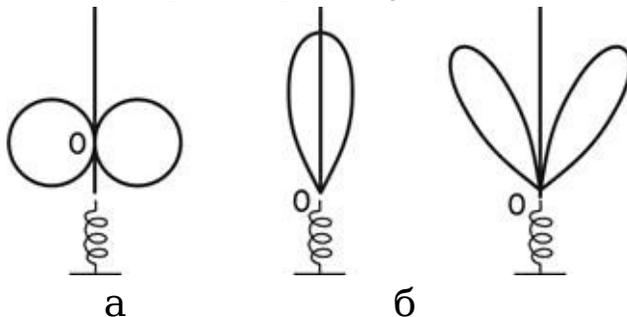


Рисунок 1.2 - Диаграммы направленности спиральной антенны:

а - при $\lambda > 6D$; б - при $\lambda \cong \pi D$ или $(\lambda \cong L)$; в - при $\lambda < 2D$.

2. Когда длина волны становится соизмеримой с длиной витка ($\lambda \cong L$), фазовая скорость распространения волны v_ϕ , ранее примерно равная скорости света c , резко падает до значения $(0,7 \div 0,8)c$, а при дальнейшем

укорочении волны плавно растёт, снова приближаясь к скорости света. При достаточно большой длине антенны в проводе спирали возникает режим, близкий к режиму бегущих волн. Если при этом шаг спирали лежит в пределах от $0,15 < \frac{s}{\lambda} < 0,3$, то максимум диаграммы направленности оказывается ориентированным вдоль оси спирали, поле в направлении оси спирали будет обладать поляризацией, близкой к круговой, а в других направлениях поляризация поля получается эллиптической [2].

Такой режим работы называется *режимом осевого излучения* и имеет место в весьма широкой полосе частот

$\left(\frac{f_{\text{макс}}}{f_{\text{мин}}} \approx 1,7\right)$. Спирали в режиме осевого излучения находят широкое применение в качестве антенн с переменной или вращающейся поляризацией.

3. Дальнейшее укорочение волны ($\lambda < 2D$) вызывает падение излучения вдоль оси спирали, в результате чего возникают два максимума под острыми углами к оси спирали [2]. Этот режим называют *наклонным режимом излучения антенны*.

3 Принцип действия цилиндрической спиральной антенны в режиме осевого излучения

Так как цилиндрические спиральные антенны используются в основном только в режиме осевого излучения, то и принцип действия логично будет рассматривать в этом режиме. Для этого воспользуемся работой [2] и представим спиральную антенну как совокупность плоских круглых витков и линейных

электрических вибраторов длиной S . Вибраторы вдоль оси спирали не излучают, а их излучением в других направлениях в первом приближении можно пренебречь по сравнению с излучением витков: так как длина плоского витка $L \approx \lambda$, а длина линейного вибратора $S = \frac{\lambda}{4}$, то очевидно, что излучение витка будет значительно более интенсивным.

Рассмотрим излучение одного витка, полагая при этом, что ток вдоль витка распределяется по закону:

$$\dot{I}_l = I_{\Pi} \cdot e^{j\varphi_l} \cdot e^{-jkl} \quad (1.1)$$

где $I_{\Pi} \cdot e^{j\varphi_l} = \dot{I}_{\Pi}$, φ_l - начальная фаза тока. При $\varphi_l = 0^\circ$ ток определяется выражением:

$$\dot{I}_l = \dot{I}_{\Pi} e^{-jkl} \quad (1.2)$$

где l - расстояние, отсчитываемое вдоль витка. Это выражение, соответствующее бегущей волне, можно представить двумя стоячими волнами, сдвинутыми по фазе на $\frac{\pi}{2}$, в виде:

$$\dot{I}_l = I_{\Pi} \cos kl - jI_{\Pi} \sin kl. \quad (1.3)$$

Амплитуда первой из этих волн меняется вдоль витка по закону косинуса, а второй - по закону синуса (рисунок 1.3). Это позволяет рассматривать виток как четыре изогнутых полуволновых вибратора.

Поля, излучаемые верхним и нижним вибраторами

(рисунок 1.3, а), складываются синфазно в плоскости YOZ . Так как, помимо этого, максимум излучения каждого из вибраторов лежит в плоскости XOZ , то в направлении оси Z поле витка принимает максимальное значение. При этом суммарное поле оказывается горизонтально поляризованным.

Поля, излучаемые правым и левым вибраторами (рисунок 1.3, б), также дают максимум в направлении оси Z , но поляризация суммарного поля оказывается вертикальной. Так как между стоячими волнами (рисунок 1.3, а и б) имеет место сдвиг по фазе на $\frac{\pi}{2}$, то излучаемое в направлении оси Z плоским витком поле будет обладать круговой поляризацией. Под некоторым произвольным углом к оси Z поле будет иметь эллиптическую поляризацию, а в плоскости витка (плоскость XOY) поляризация будет линейной.

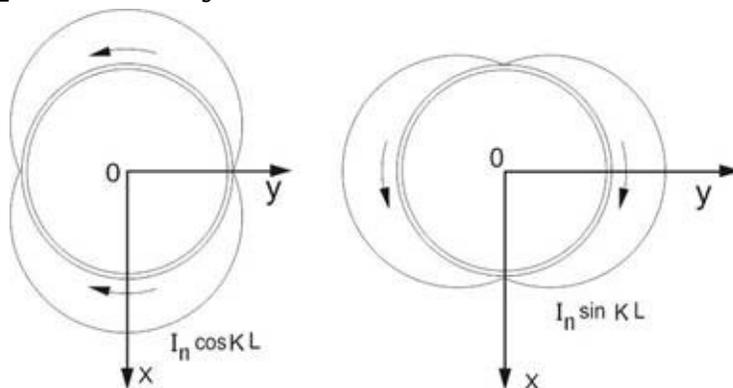


Рисунок 1.3 – Представление витка в виде:

а – двух полукруглых горизонтальных полуволновых вибраторов; б – двух полукруглых вертикальных полуволновых вибраторов.

Рассмотренная картина излучения витка спирали приближённо справедлива в случае, когда в проводе спирали устанавливается режим, близкий к режиму бегущих волн. Последнее может иметь место лишь при малых отражениях от конца спирали.

Исследования показали, что при большом числе витков ($N > 3$) отражённая от конца спирали волна мала и ею можно пренебречь. Интенсивное излучение энергии в окружающее пространство, сопровождающее движение волны вдоль провода спирали, приводит также и к ограничению максимального числа витков. Установлено, что увеличение числа витков сверх одиннадцати не приводит к сколько-нибудь существенному обострению диаграммы направленности: энергия волны расходуется на излучение в первых 11 витках и последующие витки «не питаются». Таким образом, число витков спирали N следует выбирать в пределах 4-11.

Полагая для приближённого анализа, что амплитуда бегущей волны вдоль провода спирали не меняется, диаграмму направленности спиральной антенны можно представить произведением диаграммы направленности одиночного витка на множитель решётки (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 - Представление спирали в виде решётки из n точечных источников

В области малых значений угла θ выражения для диаграмм направленности одиночного витка с бегущей волной можно приближённо записать в виде:

$$F_{1\theta}(\theta) \cong \cos \theta, \quad F_{1\varphi}(\theta) \cong 1, \quad (1.4)$$

где $F_{1\theta}(\theta)$ - нормированная диаграмма направленности меридиональной составляющей поля; $F_{1\varphi}(\theta)$ - нормированная диаграмма направленности азимутальной составляющей поля.

Из формул (1.4) видно, что одиночный виток характеризуется слабой направленностью и концентрация излучаемой энергии вдоль оси спирали получается, очевидно, за счёт близкого к синфазному сложения полей витков в этом направлении.

4 Направленные и поляризационные свойства цилиндрической спиральной антенны

1. *Амплитудная характеристика направленности (АХН) спиральной антенны* - это зависимость амплитуды напряженности электрического поля от направления на точку наблюдения в сферической системе координат [1].

Диаграммой направленности (ДН) спиральной антенны называют графическое изображение амплитудной характеристики направленности спиральной антенны [1].

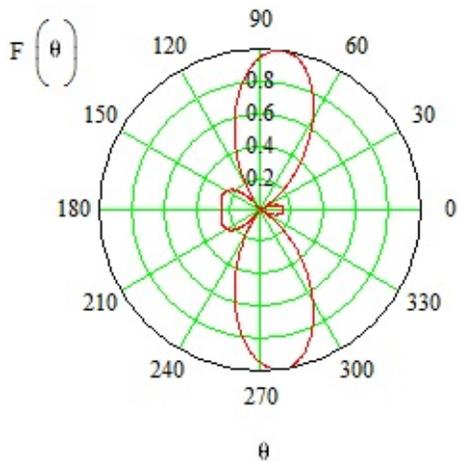


Рисунок 1.5 - Диаграмма направленности цилиндрической спиральной антенны в плоскости φ в нормальном режиме излучения.

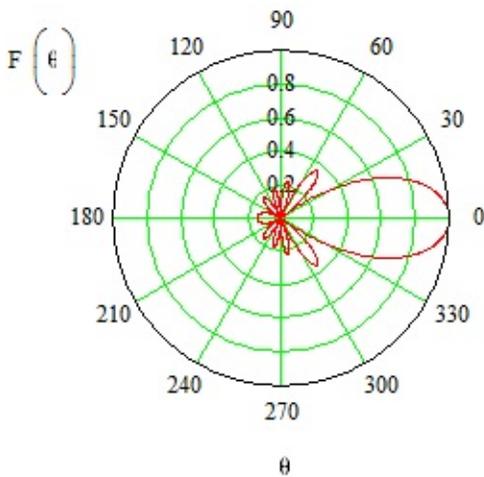


Рисунок 1.6 - Диаграмма направленности цилиндрической спиральной антенны в плоскости φ в осевом режиме излучения.

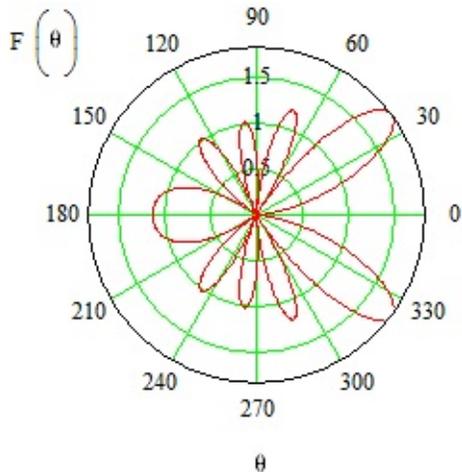


Рисунок 1.7 - Диаграмма направленности цилиндрической спиральной антенны в плоскости φ в наклонном режиме излучения.

2. *Ширина диаграммы направленности (ШДН) спиральной антенны* - это угол между такими направлениями в пространстве, на которых амплитуда напряженности электрического поля в главном лепестке в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитуды напряженности электрического поля в направлении главного излучения [1].

3. *Коэффициентом направленного действия (КНД) спиральной антенны* называют величину, показывающую, во сколько раз нужно увеличить мощность излучения антенны при переходе от направленной антенны к ненаправленной при условии сохранения одинаковой напряженности поля в месте приема [2].

4. *Относительный уровень боковых лепестков (УБЛ) спиральной антенны* - это отношение амплитуды напряженности поля в направлении максимального излучения в любом боковом лепестке к амплитуде напряженности поля в направлении максимального

излучения в главном лепестке [1].

5. *Поляризационной характеристикой спиральной антенны* называют линию, которую описывает конец вектора напряженности электрического поля в любой из плоскостей, перпендикулярных направлению переноса энергии [1].

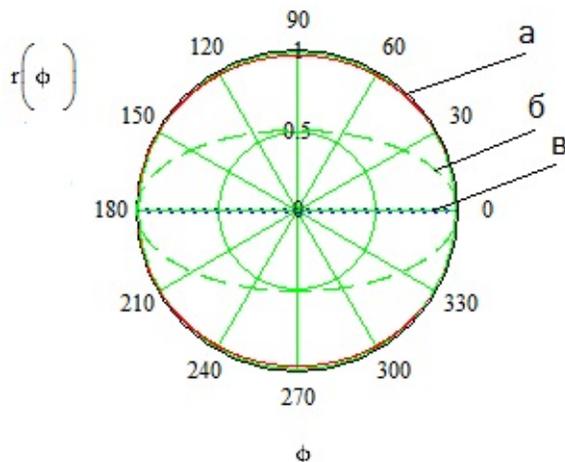


Рисунок 1.8 – Поляризационная характеристика спиральной антенны:

а - при $\theta = 10^\circ$, где имеем практически круговую поляризацию; б - при $\theta = 60^\circ$, где имеем эллиптическую поляризацию; в - при $\theta = 90^\circ$, где поляризация антенны практически линейна.

6. *Коэффициентом эллиптичности спиральной антенны* называют отношение величины малой полуоси к величине большой полуоси поляризационного эллипса [1].

5 Расчет основных параметров цилиндрической спиральной антенны и излучающей системы из спиральных антенн

Исследования многих авторов показывают, что при

расчёте характеристик излучения (диаграмм направленности, поляризационных и фазовых характеристик) реальная спиральная антенна, обычно имеющая небольшой экран, может быть заменена отрезком регулярной спирали без экрана с равномерным по амплитуде и линейным по фазе распределением тока вдоль оси захода [3].

В настоящее время существует много теоретических работ, посвящённых расчёту спиральных антенн [4,5]. Однако простые, но достаточно точные для практических целей формулы получены опытным путём [6].

Рассмотрим порядок расчёта цилиндрической спирали [7].

Исходными данными обычно являются угол раствора диаграммы направленности по половинной мощности $2\theta_{0,5}$ и диапазон рабочих волн $\lambda_{\text{макс}}$ и $\lambda_{\text{мин}}$. Расчёт ведётся по приближённым эмпирическим формулам, которые приведены ниже. Эти формулы пригодны для цилиндрических спиралей с числом витков $N > 3$, при длине витка, лежащей в пределах $1,3 > \frac{L}{\lambda} > 0,75$, и при угле подъёма спирали $\alpha = \arctg \frac{s}{\pi D}$ в пределах $12^\circ < \alpha < 16^\circ$. Порядок расчёта следующий:

1. Определяется длина витка спирали. Длина витка принимается равной средней длине волны заданного диапазона:

$$L = \lambda_{\text{ср}} = \frac{\lambda_{\text{макс}} + \lambda_{\text{мин}}}{2} \quad (1.5)$$

2. Задаются значением угла подъёма спирали:

$$\alpha = 12^\circ \div 16^\circ \quad (1.6)$$

3. Рассчитываются шаг S и радиус a спирали:

$$S = L \sin \alpha \quad (1.7)$$

$$a = \frac{L}{2\pi} \cos \alpha \quad (1.8)$$

4. Исходя из заданного угла раствора диаграммы направленности, определяется необходимое число витков N спирали по формуле:

$$N = \left[\frac{52}{(2\theta_{0,5})^0} \right]^2 \operatorname{csc} \alpha . \quad (1.9)$$

Полученное значение N округляется до целого числа, если это необходимо в рамках поставленной задачи.

5. Проверяется угол раствора диаграммы направленности по половинной мощности на крайних волнах рабочего диапазона по формуле:

$$(2\theta_{0,5})^0 = \frac{52}{\frac{L}{\lambda} \sqrt{N \frac{S}{\lambda}}} \quad (1.10)$$

При необходимости уточняются принятые значения N или S .

6. Рассчитываются диаграммы направленности каждой из составляющих поля на средней и крайних волнах диапазона по следующим приближённым формулам:

$$f_{\theta}(\theta) = \cos \theta \frac{\sin \left[N\pi \left(\xi \frac{L}{\lambda} - \frac{S}{\lambda} \cos \theta \right) \right]}{N \sin \left[\pi \left(\xi \frac{L}{\lambda} - \frac{S}{\lambda} \cos \theta \right) \right]}; \quad (1.11)$$

$$f_{\varphi}(\theta) = \frac{\sin \left[N\pi \left(\xi \frac{L}{\lambda} - \frac{S}{\lambda} \cos \theta \right) \right]}{N \sin \left[\pi \left(\xi \frac{L}{\lambda} - \frac{S}{\lambda} \cos \theta \right) \right]}. \quad (1.12)$$

Здесь ξ – коэффициент укорочения волны, равный отношению скорости света c к фазовой скорости v_{ϕ} волны тока, распространяющейся вдоль витков спирали.

При различных значениях величины ξ в диапазоне режима осевого излучения диаграмма направленности (ДН) антенны ведет себя по-разному [1].

6.1. Для начала осевого режима коэффициент укорочения рассчитывается из условия $\xi \geq \frac{S}{\lambda}$, а с учетом $S = l \sin \alpha$ получаем итоговое выражение:

$$\xi \geq \sin \alpha \quad (1.13)$$

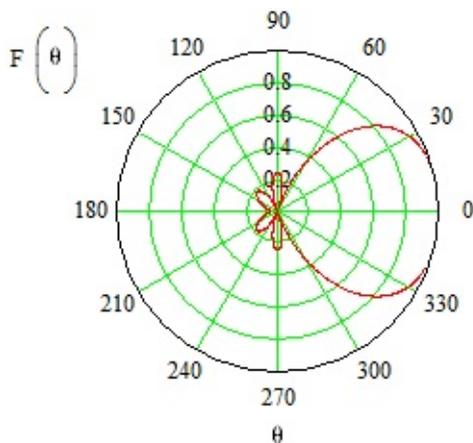


Рисунок 1.9 - Диаграммы направленности цилиндрической спиральной антенны в плоскости φ в

начальном осевом режиме излучения.

6.2. Оптимальный осевой режим наступает при:

$$\xi_{opt} = 1 + \frac{1}{2N} + \sin \alpha. \quad (1.14)$$

Тогда имеем максимальный коэффициент направленного действия (КНД) и минимальный относительный уровень боковых лепестков (УБЛ).

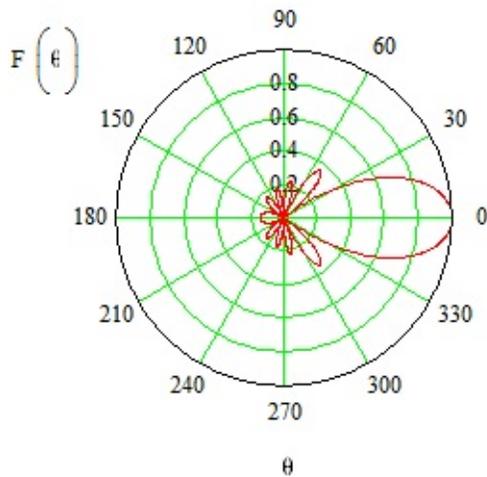


Рисунок 1.10 - Диаграммы направленности цилиндрической спиральной антенны в плоскости φ в оптимальном осевом режиме излучения.

6.3. При критическом коэффициенте замедления пропадает излучение в направлении главного лепестка. Расчетная формула выглядит следующим образом:

$$\xi_{кр} = \sin \alpha + \frac{1}{N} \quad (1.15)$$

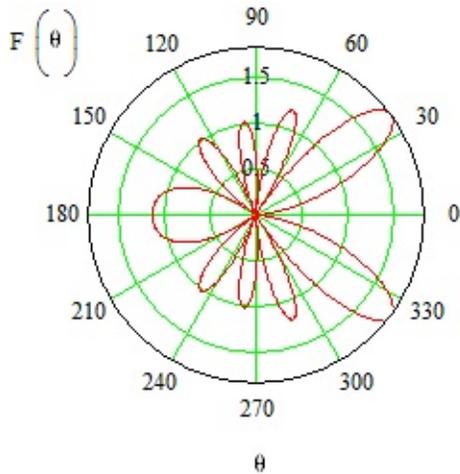


Рисунок 1.11 - Диаграммы направленности цилиндрической спиральной антенны в плоскости φ в критическом осевом режиме излучения.

Величина коэффициента укорочения меняется приблизительно от значения $\xi = 1,02 \div 1,10$ на $\lambda_{\text{мин}}$ до $\xi = 1,60 \div 1,65$ на $\lambda_{\text{макс}}$. Для каждой волны, на которой рассчитывается диаграмма направленности, необходимо вычислить соответствующее значение ξ .

При расчёте диаграммы направленности кроме построения главного лепестка и определения его угла раствора следует найти направления, вдоль которых $f(\theta) = 0$, а также вычислить уровень боковых лепестков.

7. Определяется коэффициент направленного действия на средней и крайних волнах диапазона:

$$\text{КНД} = 15 \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 N \frac{S}{\lambda} \quad (1.16)$$

8. Рассчитывается входное сопротивление спирали:

$$Z_{\text{вх}} = R_{\text{вх}} = 140 \frac{L}{\lambda} \text{ (Ом)} . \quad (1.17)$$

9. Вычисляется коэффициент эллиптичности r поляризационного эллипса для двух-трёх значений угла θ :

$$r = \frac{f_{\theta}(\theta)}{f_{\varphi}(\theta)} \quad (1.18)$$

10. Определяется диаметр D_3 экрана. Величина D_3 обычно берётся в пределах $D_3 = (0,7 \div 0,85)\lambda$.

В работе [8] приведены несколько иные значения диаметра экрана: $D_3 \approx (0,5 - 0,7)\lambda_{\text{ср}}$, где $\lambda_{\text{ср}}$ - средняя длина волны рабочего диапазона.

Дальнейший расчёт спиральной антенны не содержит специфических особенностей, присущих спиральям. Выбирается тип питающего коаксиального кабеля, рассчитывается широкополосное согласующее устройство (если оно необходимо) и т.д.

Как известно, одиночная спиральная антенна не может иметь более острой диаграммы направленности по мощности, чем диаграмма с углом раствора $2\theta_{0,5} = 40^\circ \div 45^\circ$ [7]. Если необходима более острая диаграмма, применяют решетку из нескольких идентичных спиральных антенн, питаемых в фазе.

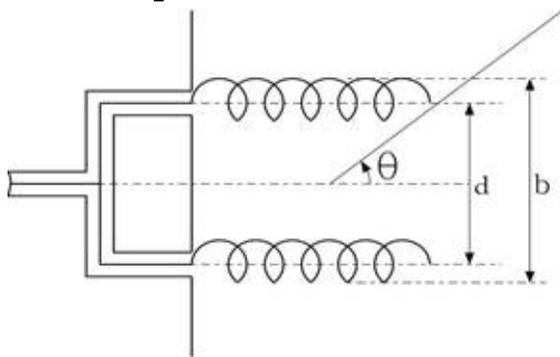


Рисунок 1.12 - Излучающая система из спиральных

антенн (антенная решетка)

Антенная решетка, изображенная на рисунке 1.12, может быть охарактеризована следующими параметрами: d - расстояние между осями соседних элементов (шаг решетки); b - ширина всей антенной системы; θ - угол, отсчитываемый от оси решетки; N - число витков в спирали; M - число элементов решетки (число спиралей).

Расчет таких антенных систем можно выполнить в следующем порядке [7].

1. Число витков в спирали выбирается:

$$N = 4 \div 8 \tag{1.19}$$

2. Ориентировочно определяется ширина всей антенной системы:

$$b = Md + D \cong 51 \cdot \frac{\lambda_{\text{ср}}}{(2\theta_{0,5})^0} \tag{1.20}$$

где $(2\theta_{0,5})^0$ - заданный угол раствора диаграммы направленности для антенной системы;

M - число спиралей в ряду;

d - расстояние между осями соседних спиралей, которое обычно принимается равным $(1,4 \div 1,5)\lambda_{\text{ср}}$;

D - диаметр спирали.

3. Определяется число спиралей в ряду:

$$M = \frac{b-D}{d}$$

(1.21)

Значение M округляется до целого числа.

Если в разных плоскостях задана различная ширина диаграммы направленности, то и число спиралей в этих плоскостях будет различным.

4. Рассчитывается диаграмма направленности антенны как системы из M направленных излучателей:

$$F(\theta) = F_1(\theta) \cdot F_M(\theta) \quad (1.22)$$

где $F_1(\theta)$ - диаграмма одной спирали;

$F_M(\theta)$ - диаграмма линейной системы из m ненаправленных синфазных излучателей, расположенных на расстоянии a друг от друга.

Как известно,

$$F_M(\theta) = \frac{\sin\left[\frac{M}{2}kd \sin \theta\right]}{M \sin\left[\frac{1}{2}kd \sin \theta\right]} \quad (1.23)$$

Рассчитав по формуле (1.22) диаграмму направленности спиральной решетки, определяют угол раствора этой диаграммы и сравнивают его с заданным. При необходимости вносят соответствующие коррективы в принятые при расчете значения числа спиралей или расстояния между ними.

5. Вычисляется коэффициент направленного действия:

$$\text{КНД} = \frac{33000}{(2\theta_{0,5})^0} \quad (1.24)$$

6. Определяется коэффициент эллиптичности

поляризационного эллипса по формуле (1.18).

Дальнейший расчет аналогичен расчету спиральной антенны.

Литература.

1. Кочержевский Г. Н. и др. Антенно-фидерные устройства: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1989 – 352 с.: ил.
2. Драбкин А. Л. И др. Антенно-фидерные устройства. Изд. 2-е, доп. и переработ. М., «Сов. радио», 1974.
3. Юрцев О. А., Рунов А. В., Казарин А. Н. Спиральные антенны. М., «Сов. радио», 1974, 224 с.
4. Антенны эллиптической поляризации. Теория и практика. Сборник статей, Изд. иностр. лит., М., 1961.
5. Рамзей В., Частотно-независимые антенны, «Мир», М., 1968.
6. Краус Дж., Глазер О., Браун Дж., Вудворд О., Спиральные антенны
7. Зузенко В.Л., Кислов А.Г., Цыган Н.Я. Расчет и проектирование антенн. Пособие для курсового и дипломного проектирования / ЛВИКА имени А.Ф.Можайского, 1969. 161 с.
8. Юрцев О. А. Антенны бегущей волны, антенные решетки, антенны коротких, средних и длинных волн. В 3 ч. – Ч.3: Методическое пособие по курсу «Антенны и устройства СВЧ» для студентов специальности «Радиотехника». - Мн.: БГУИР, 2001. – 72 с., ил.

Задание на самостоятельную подготовку

1. Произвести расчет конструктивных параметров СА в осевом режиме:

а) длина витка $L = \lambda$

б) шаг спирали $S = L \sin \alpha$

в) радиус спирали $a = \frac{L}{2\pi} \cos \alpha$

Исходные данные к расчету выбрать из таблицы 1:

Таблица 1 - Исходные данные к расчету основных параметров антенн

№ бригады	1	2	3	4
Угол подъема спирали α , град	12	14	15	16
Число витков N	3, 7, 11	4, 8, 10	5, 9, 11	4, 6, 10
Угол θ , град	1, 50, 89	2, 55, 87	3, 60, 88	5, 45, 86
Число элементов (спиралей) M	3	5	7	9
Рабочая частота, МГц	400	600	800	1000

2. Оценить ширину ДН одиночной спиральной

антенны по половинной мощности в зависимости от числа витков спирали (N).

3. Рассчитать значение КНД одиночной спиральной антенны в зависимости от числа витков спирали (N).

4. Произвести расчет расстояния между осями соседних спиралей в соответствии с выражением $d = (1,4 \div 1,5)\lambda$.

5. Оценить ширину линейной антенной решетки из одиночных спиральных антенн в соответствие с выражением $b = Md + 2a$.

6. Рассчитать ширину диаграммы направленности линейной антенной решетки из одиночных спиральных антенн в соответствие с выражением $(2\theta_{0,5})^0 = \frac{51\lambda}{b}$.

7. Рассчитать КНД линейной антенной решетки из одиночных спиралей в соответствие с выражением

$$\text{КНД} = \frac{33000}{(2\theta_{0,5})^6}$$

8. Рассчитать коэффициент эллиптичности для заданных углов θ при значении коэффициента замедления

$\xi_{opt}(\alpha, N) = 1 + \frac{1}{2N} + \sin \alpha$, соответствующем оптимальному осевому режиму. Расчет произвести для одиночной спиральной антенны и для линейной антенной решетки из одиночных спиральных антенн.

Рекомендации в методические указания по проведению виртуальной лабораторной работы

1 Цель работы

Ознакомиться с основными характеристиками и параметрами спиральных антенн (СА) и линейных антенных решеток из спиральных антенн (ЛАР из СА), в ходе компьютерного моделирования произвести оценку поляризационной характеристики и характеристик излучения СА и ЛАР из СА в осевом режиме работы.

2 Лабораторное задание

2.1 Исследование характеристик излучения СА в осевом режиме работы в плоскости, перпендикулярной виткам

1. Провести анализ нормированных диаграмм направленности СА при фиксированном числе витков (N) и заданном угле подъема спирали (α) в зависимости от величины коэффициента замедления: оценить угол раствора главного лепестка, количество пар боковых лепестков и относительный УБЛ первой пары боковых. Исходные данные выбрать из таблицы 1.1.

Таблица 1.1 - Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4

N	7	8	9	11
α , град	12	14	15	16
f, МГц	400	600	800	1000

Выражения для значений коэффициентов замедления:

а) $\xi(\alpha) = \sin \alpha$;

б) $\xi_{opt}(\alpha, N) = 1 + \frac{1}{2N} + \sin \alpha$, соответствующий оптимальному осевому режиму;

в) $\xi_{кр}(\alpha, N) = \sin \alpha + \frac{1}{N}$, соответствующий критическому режиму.

2. Сделать вывод о влиянии коэффициента замедления на ДН. Выбрать коэффициент замедления, обеспечивающий наилучшие характеристики излучения СА. В дальнейшем проводить анализ *при выбранном значении коэффициента замедления*.

3. Провести анализ нормированных диаграмм направленности СА в зависимости от числа витков (N) с шагом в 1 виток при заданном угле подъема спирали (α), оптимальном значении коэффициента замедления на заданной рабочей частоте. Исходные данные выбрать из таблицы 1.2.

Таблица 1.2 - Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4
α , град	12	14	15	16
f, МГц	400	600	800	1000

4. По нормированным ДН определить:

- 1) направление главного излучения $\theta_{гл}$, град;
- 2) ширину ДН по половинной мощности $2\Delta\theta_{0,5}$, град;
- 3) направления максимумов первой пары боковых лепестков θ_{max1} и $\theta_{max(-1)}$, град;
- 4) относительный уровень первой пары боковых лепестков $\xi_1 = \xi_{-1}$;
- 5) число боковых лепестков m ;
- 6) относительный уровень последней пары боковых лепестков $\xi_{\frac{m}{2}} = \xi_{-\frac{m}{2}}$.

Результаты измерений свести в таблицу.

5. Построить графические зависимости ширины ДН, относительного уровня первой пары боковых лепестков и числа боковых лепестков от числа витков СА (N).

6. Сделать вывод о влиянии числа витков спирали (N) на направленные свойства цилиндрической СА в плоскости, перпендикулярной виткам.

7. Провести анализ нормированных диаграмм направленности СА для различных углов подъема спирали (α) при фиксированном числе витков (N). Исходные данные выбрать из таблицы 1.3.

Таблица 1.3 - Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4
α , град	12, 13, 14, 15, 16			
N	5	7	9	11

-
8. По нормированным ДН определить:
- 1) направление главного излучения $\theta_{гл}$, град;
 - 2) ширину ДН по половинной мощности $2\Delta\theta_{0,5}$, град;
 - 3) направления максимумов первой пары боковых лепестков θ_{max1} и $\theta_{max(-1)}$, град;
 - 4) относительный уровень первой пары боковых лепестков $\xi_1 = \xi_{-1}$;
 - 5) число боковых лепестков m ;
 - 6) относительный уровень последней пары боковых лепестков $\xi_{\frac{m}{2}} = \xi_{-\frac{m}{2}}$.

Результаты измерений свести в таблицу.

9. Сделать вывод о влиянии величины угла подъема спирали (α) на направленные свойства СА в плоскости, перпендикулярной виткам.

2.2 Исследование характеристик излучения СА в осевом режиме работы в плоскости, содержащей витки

1. Провести анализ нормированных диаграмм направленности СА при различных значениях числа витков (N) с шагом в 1 виток при заданном угле подъема спирали (α). Исходные данные выбрать из таблицы 1.1.

2. По нормированным ДН определить:

- 1) направление главного излучения $\theta_{гл}$, град;
- 2) ширину ДН по половинной мощности $2\Delta\theta_{0,5}$, град;
- 3) направления максимумов первой пары боковых лепестков θ_{max1} и $\theta_{max(-1)}$, град;
- 4) относительный уровень первой пары боковых лепестков $\xi_1 = \xi_{-1}$;
- 5) число боковых лепестков m ;
- 6) относительный уровень последней пары боковых лепестков $\xi_{\frac{m}{2}} = \xi_{-\frac{m}{2}}$.

Результаты измерений свести в таблицу.

3. Построить графические зависимости ширины ДН, относительного уровня первой пары боковых лепестков и числа боковых лепестков от числа витков СА.

4. Сделать вывод о влиянии числа витков (N) на направленные свойства СА в плоскости, содержащей витки.

5. Провести анализ нормированных диаграмм направленности СА при различных углах подъема спирали (α) при фиксированном значении числа витков (N). Исходные данные выбрать из таблицы 1.3.

6. По нормированным ДН определить:

- 1) направление главного излучения $\theta_{гл}$, град;
- 2) ширину ДН по половинной мощности $2\Delta\theta_{0,5}$, град;
- 3) направления максимумов первой пары боковых лепестков θ_{max1} и $\theta_{max(-1)}$, град;
- 4) относительный уровень первой пары боковых лепестков

$$\xi_1 = \xi_{-1};$$

5) число боковых лепестков m ;

6) относительный уровень последней пары боковых

лепестков $\xi_{\frac{m}{2}} = \xi_{-\frac{m}{2}}$.

Результаты измерений свести в таблицу.

7. Сделать вывод о влиянии величины угла подъема спирали (α) на направленные свойства СА в плоскости, содержащей витки.

2.3 Исследование поляризационной характеристики СА в осевом режиме излучения

1. Провести анализ поляризационных эллипсов СА при различных значениях меридионального угла θ . Исходные данные выбрать из таблицы 1.4.

Таблица 1.4 – Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4
θ , град	1, 50, 89	2, 55, 87	3, 60, 88	5, 45, 86

2. По поляризационным эллипсам определить:

1) величины полуосей поляризационного эллипса a и b (в случае круговой и эллиптической поляризации);

2) коэффициент эллиптичности поляризационного эллипса

r ;

3) вид поляризации электромагнитной волны.

Результаты свести в таблицу.

3. Сделать вывод о влиянии меридионального угла θ на характер поляризации электромагнитной волны одиночной СА.

2.4 Исследование характеристик излучения линейной антенной решетки из одиночных СА в осевом режиме в плоскости, перпендикулярной виткам

1. Провести анализ нормированных диаграмм направленности ЛАР из одиночных СА в зависимости от рабочей частоты, изменяющейся в пределах от 400 МГц до 1 ГГц с шагом в 100 МГц при фиксированном числе витков (N) в одиночной СА и фиксированном значении угла подъема спирали (α). Исходные данные выбрать из таблицы 1.5.

Таблица 1.5 - Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4
N	4	5	6	8
M	2			
α , град	14			

2. По нормированным ДН определить:

- 1) направление главного излучения $\theta_{гл}$, град;
- 2) ширину ДН по половинной мощности $2\Delta\theta_{0,5}$, град;

- 3) направления максимального излучения наибольшего из боковых лепестков θ_{max1} и $\theta_{max(-1)}$, град;
- 4) относительный уровень наибольшего из боковых лепестков $УБЛ_{max}$;
- 5) число боковых лепестков m ;

Результаты измерений свести в таблицу.

3. Сделать вывод о влиянии значения рабочей частоты на направленные свойства ЛАР из одиночных СА в плоскости, перпендикулярной виткам.

4. Провести анализ нормированных диаграмм направленности ЛАР из одиночных СА от числа спиралей (М) в диапазоне от 2 до 8, при фиксированных значениях числа витков (N) и угла подъема спирали (α). Исходные данные выбрать из таблицы 1.6.

Таблица 1.6 – Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4
N	3			
α , град	12	13	15	16

5. По нормированным ДН определить:

- 1) направление главного излучения $\theta_{гл}$, град;
- 2) ширину ДН по половинной мощности $2\Delta\theta_{0,5}$, град;
- 3) ширину главного лепестка ДН по уровню нулевого излучения $2\Delta\theta_0$, град;
- 4) направления максимального излучения наибольшего из

боковых лепестков θ_{max1} и $\theta_{max(-1)}$, град;

5) относительный уровень наибольшего из боковых лепестков $УБЛ_{max}$;

6) число боковых лепестков m ;

Результаты измерений свести в таблицу.

6. Сделать вывод о влиянии числа спиральных элементов (М) на направленные свойства ЛАР из одиночных СА в плоскости, перпендикулярной виткам.

2.5 Исследование характеристик излучения линейной антенной решетки из одиночных СА в осевом режиме в плоскости, содержащей витки

1. Провести анализ нормированных диаграмм направленности ЛАР из одиночных СА в зависимости от рабочей частоты, изменяющейся в пределах от 400 МГц до 1 ГГц с шагом в 100 МГц при фиксированном числе витков (N) в одиночной СА и фиксированном значении угла подъема спирали (α). Исходные данные выбрать из таблицы 1.7.

Таблица 1.7 - Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4
N	4	5	6	8
M	2			
α , град	14			

2. По нормированным ДН определить:

- 1) направление главного излучения $\theta_{гл}$, град;
 - 2) ширину ДН по половинной мощности $2\Delta\theta_{0,5}$, град;
 - 3) направления максимального излучения наибольшего из боковых лепестков θ_{max1} и $\theta_{max(-1)}$, град;
 - 4) относительный уровень наибольшего из боковых лепестков $УБЛ_{max}$;
 - 5) число боковых лепестков m ;
- Результаты измерений свести в таблицу.

3. Сделать вывод о влиянии значения рабочей частоты на направленные свойства ЛАР из одиночных СА в плоскости, содержащей витки.

4. Провести анализ нормированных диаграмм направленности ЛАР из одиночных СА в зависимости от числа спиралей (M) в диапазоне от 2 до 8, при фиксированных значениях числа витков (N) и угла подъема спирали (α). Исходные данные выбрать из таблицы 1.8.

Таблица 1.8 - Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4
N	3			
α , град	12	13	15	16

5. По нормированным ДН определить:

- 1) направление главного излучения $\theta_{гл}$, град;
- 2) ширину ДН по половинной мощности $2\Delta\theta_{0,5}$, град;

- 3) ширину главного лепестка ДН по уровню нулевого излучения $2\Delta\theta_0$, град;
- 4) направления максимального излучения наибольшего из боковых лепестков θ_{max1} и $\theta_{max(-1)}$, град;
- 5) относительный уровень наибольшего из боковых лепестков $УБЛ_{max}$;
- 6) число боковых лепестков m ;

Результаты измерений свести в таблицу.

6. Сделать вывод о влиянии числа спиральных элементов (М) на направленные свойства ЛАР из одиночных СА в плоскости, содержащей витки.

2.6 Исследование поляризационной характеристики линейной антенной решетки из одиночных СА в осевом режиме излучения

1. Построить поляризационные диаграммы ЛАР из одиночных СА при различных значениях меридионального угла θ . Исходные данные выбрать из таблицы 1.9.

Таблица 1.9 - Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4
θ , град	1, 50, 89	2, 55, 87	3, 60, 88	5, 45, 86

2. По построенным поляризационным эллипсам определить:

- 1) величины полуосей поляризационного эллипса a и b (в

случае круговой и эллиптической поляризации);

2) коэффициент эллиптичности поляризационного эллипса

r ;

3) вид поляризации электромагнитной волны.

Результаты свести в таблицу.

3. Сделать вывод о влиянии меридионального угла θ на характер поляризации электромагнитной волны ЛАР из одиночных СА в плоскости, содержащей витки.

Руководство пользователя

Данная программа предназначена для изучения направленных и поляризационных свойств спиральных антенн (СА) и линейных антенных решеток из одиночных спиральных антенн (ЛАР из СА).

Программа содержит три основные формы. Первая форма позволяет получить информацию о разработчике, руководителе и месте создания проекта. На второй форме пользователь имеет возможность получить краткие теоретические сведения об исследуемых антеннах и выполнить задание на самостоятельную подготовку.

После изучения теоретического материала пользователь должен верно ответить на двадцать пять тестовых вопросов, выбрать тип исследуемых антенн и перейти к практической части виртуальной лабораторной работы. Если же пользователь неверно отвечает на тестовые вопросы, то ему сообщается количество неверных ответов и программа принудительно возвращает пользователя к началу теста. Когда пользователь проходит тест верно, то он переходит на форму практической части.

Форма практической части позволяет пользователю изучить направленные и поляризационные свойства СА и ЛАР из СА в осевом режиме излучения. Пользователю предоставляется возможность открыть вкладки с краткими теоретическими сведениями и лабораторным заданием, расположенные на форме сверху, и приступить к выполнению лабораторной работы.

По окончании выполнения лабораторного задания

пользователь должен заполнить бланк отчета, в частности, заполнить все таблицы, прописать все выводы и построить необходимые графические зависимости, после чего должен предоставить заполненный бланк отчета на проверку преподавателю.