



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Радиоэлектроника»

РУКОВОДСТВО

к выполнению курсовой работы
по дисциплине

«Электродинамика и распространение радиоволн»

Авторы

Звездина М.Ю.

Шокова Ю.А.

Шоков А.В.

Ростов-на-Дону, 2014



Аннотация

Методические указания предназначены для студентов направления 210400 очной и заочной форм обучения.

Авторы



Зав. кафедрой «Радиоэлектроника»
доктор физико-математических наук,
доцент

Звезда М.Ю.



Старший преподаватель кафедры
«Радиоэлектроника»

Кандидат физико-математических наук
Шокова Ю.А.



Ассистент кафедры «Радиоэлектроника»

Шоков А.В.





ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Задание и исходные данные к курсовой работе	5
1.1 Задание.....	5
1.2 Исходные данные.....	6
2 Содержание пояснительной записки	7
3 Рекомендации по оформлению пояснительной записки	8
4 Методические указания	9
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	19



ВВЕДЕНИЕ

Главной целью курсовой работы является закрепление теоретического материала по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн», а также приложение полученных теоретических основ к задачам, имеющим практическое использование.

Интерес к данной теме обусловлен тем, что излучатели в виде открытых концов волноводов широко используются в фазированных антенных решетках сантиметрового диапазона благодаря простому способу возбуждения излучающих элементов питающей линией, удобству сопряжения с волноводными фазовращателями и делителями мощности, высокому уровню передаваемой мощности, малым потерям в фидерном тракте, относительной широкополосности. Заполнение волноводов диэлектрическим материалом позволяет решать две задачи: уменьшать линейные размеры раскрыва; обеспечивать согласование линии.

1 ЗАДАНИЕ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

1.1 Задание

Для заполненного диэлектрическим материалом без потерь с относительной диэлектрической проницаемостью ε прямоугольного волновода, ориентированного широкой стенкой вдоль оси Oy (см. рисунок 1), в котором на частоте f распространяется волна H_{10} определить:

- 1) интервал изменения поперечных размеров волновода;
- 2) параметры волны в волноводе (длину волны, коэффициент фазы, волновое сопротивление, модуль коэффициента отражения, коэффициент полезного действия, величину предельной мощности, пропускаемой волноводом);
- 3) определить распределение напряженности электрического поля в волноводе и построить эпюру напряженности поля в раскрытии волновода;

4) построить главные сечения θ – и φ – компонент характеристики направленности открытого конца волновода, расположенного в идеально проводящем экране.

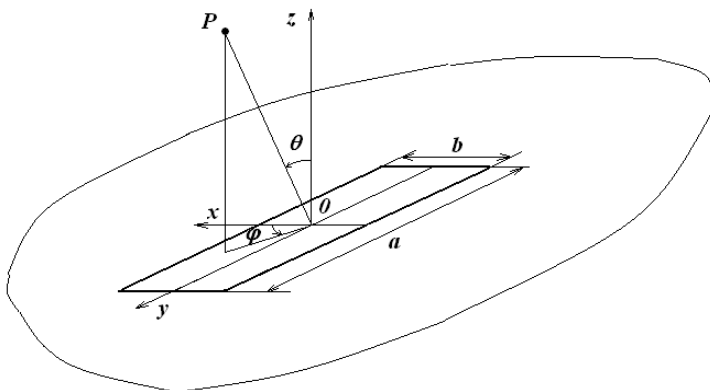


Рисунок 1 – Геометрия задачи

1.2 Исходные данные

Параметры материала заполнения, а также частота генератора выбираются в соответствии с вариантом, приведенным в таблице 1. Номер варианта соответствует порядковому номеру в журнале.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

№ варианта	f_i , ГГц	ε	k_{np}	№ варианта	f_i , ГГц	ε	k_{np}
1	0,8	2	0,67	31	0,7	2	0,68
2	0,9	2,28	0,63	32	0,9	2	0,7
3	1,12	2	0,64	33	1	2,28	0,61
4	1,3	2,28	0,64	34	14	2,55	0,61
5	1,5	2,55	0,63	35	1,62	2,55	0,6
6	1,8	2,55	0,62	36	2,2	2,26	0,66
7	2,7	2,26	0,66	37	2,8	2,26	0,62
8	3	2,26	0,64	38	3,4	2,55	0,64
9	3,6	2,55	0,6	39	3,9	2,55	0,6
10	4,2	2,55	0,61	40	4,8	2,26	0,64
11	5	2,61	0,63	41	5,6	2,61	0,61
12	6,3	2,61	0,63	42	6,8	2,61	0,62
13	7,5	2,08	0,67	43	8	2,08	0,68
14	9	2,55	0,64	44	9,5	2,61	0,63
15	10	2,61	0,62	45	12	2,26	0,66
16	0,79	2	0,65	46	0,96	2	0,66
17	0,9	2,55	0,63	47	1,7	2,28	0,65
18	1,12	2,28	0,66	48	2	2,55	0,6
19	1,25	2,28	0,62	49	2,5	2,28	0,64
20	1,6	2,55	0,64	50	2,8	2	0,67
21	2	2,55	0,6	51	3,3	2,26	0,65
22	2,7	2,26	0,6	52	3,5	2,26	0,66
23	3,1	2,55	0,62	53	4	2,55	0,63
24	3,8	2,55	0,61	54	4,6	2,55	0,62
25	4,5	2,55	0,62	55	6	2,61	0,61
26	5,2	2,61	0,6	56	7	2,26	0,65
27	6,5	2,61	0,63	57	8,3	2,55	0,62
28	7,8	2,08	0,69	58	9,8	2,61	0,6
29	9,2	2,55	0,63	59	10,5	2,08	0,68
30	10	2,55	0,64	60	11	2,55	0,61



2 СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Структура пояснительной записки к курсовой работе и последовательность изложения должны быть следующими.

1. Введение.
2. Содержание пояснительной записки с указанием страниц.
3. Задание исходных данных с рисунком, поясняющим геометрию задачи.
4. Расчет размера раскрыва волновода.
5. Расчет параметров волны в волноводе.
6. Вычисление компонент вектора напряженности электрического поля в раскрыве волновода и построение эпюры распределения напряженности электрического поля в раскрыве волновода.
7. Вычисление характеристик направленности открытого конца прямоугольного волновода: вывод основных соотношений для характеристики направленности, выражения в замкнутой форме для главных сечений диаграммы направленности.
8. Построение диаграмм направленности по полю и по мощности в главных сечениях. Анализ полученных результатов.
9. Заключение.
10. Список использованных источников.



3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

При оформлении пояснительной записки необходимо пользоваться ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления» [1].

В пояснительной записке все пункты выполнения курсовой работы должны располагаться в той же последовательности, которая приведена в п.2, иметь ту же нумерацию и те же заголовки.

Все выкладки должны подкрепляться расчетами. Результаты расчетов оформляются в виде таблиц, рисунков и чертежей. Таблицы и рисунки должны нумероваться и иметь соответствующие названия в соответствии со стандартом, на графиках должны быть четко обозначены координатные оси и указаны масштабы. Численные значения параметров электромагнитного поля должны быть выражены в международной системе единиц СИ.

В пояснительной записке должны присутствовать введение и заключение. Во введении формулируются цели курсовой работы с учетом ее содержания. Заключение должно содержать краткое обсуждение полученных расчетных соотношений, графиков и т.д., сопоставление результатов расчетов с теоретическими положениями и суждения по поводу соответствия результатов исходным данным.

Список использованных источников оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. В тексте работы должны быть ссылки на приводимую в списке литературу.

Курсовая работа оформляется на стандартных листах А4. Текст располагается на одной стороне листа. Страницы должны быть пронумерованы.

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При нахождении критической длины волны прямоугольного волновода необходимо учитывать влияние материала заполнения. Линейные размеры волновода будут в $\sqrt{\varepsilon}$ раз меньше, чем аналогичные параметры полого волновода.

При записи распределения поля в раскрыве волновода следует учитывать отличия геометрии, приведенной на рисунке 1, от традиционно используемой при описании полей в волноводах. Критерием правильности записи выражений для описания компонент поля должны быть граничные условия для тангенциальных и нормальных компоненты поля на стенках волновода.

При нахождении компонент вектора напряженности электрического поля, возбуждаемого элементом тока в раскрыве волновода, использовать интеграл Кирхгофа, количественно выражающий принцип Гюйгенса:

$$E_i(p) = -\frac{1}{4\pi} \int_S \left\{ \frac{\partial E_i}{\partial n} G - E_i \frac{\partial G}{\partial n} \right\} dS_q. \quad (1)$$

В данном соотношении E_i - i -я компонента вектора напряженности (в декартовой системе координат $i = x, y, z$);

$G = \frac{\exp(-ikR)}{R}$ - функция Грина неограниченного однородного

трехмерного пространства.

Характеристики направленности (распределение поля в дальней зоне в сферической системе координат) находятся с использованием соотношений, описывающих связь между системами координат:

$$\begin{aligned} A_R &= A_x \cos \varphi \sin \theta + A_y \sin \varphi \sin \theta + A_z \cos \theta, \\ A_\theta &= A_x \cos \varphi \cos \theta + A_y \sin \varphi \cos \theta - A_z \sin \theta, \\ A_\varphi &= -A_x \sin \varphi + A_y \cos \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

Рассмотрим пример расчет задания. При этом будем полагать, что генератор работает на частоте $f = 3$ ГГц, а материал заполнения волновода имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 2.56$.



Электродинамика и распространение радиоволн

1. Вычисление размера раскрыва волновода. При выборе поперечных размеров волновода с основной волной H_{10} будем исходить из условий, что волна H_{10} будет находиться в докритическом режиме, а высшие типы волн, в частности, H_{20} и H_{01} , находятся в закритическом режиме.

Прежде, чем определять параметры волны в волноводе, вычислим данные параметры в свободном пространстве.

Длина волны составляет величину

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{3 \cdot 10^9 \text{ 1/с}} = 0.1 \text{ м}.$$

Волновое число при этом равно $k = \frac{2\pi}{\lambda_0} = 62.832 \text{ м}^{-1}$.

Волновое сопротивление $W_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \text{ Ом}$.

В приведенных выше формулах использовались следующие обозначения:

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость света в свободном пространстве;

$\epsilon_0 = 10^{-9} / (36\pi) \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная.

Длина волны в диэлектрике составляет величину $\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon} = 0.063 \text{ м}$.

Запишем выражения для критических длин волн H_{10} , H_{20} и H_{01} :

$$\lambda_{\text{кр}}^{10} = 2a; \quad \lambda_{\text{кр}}^{01} = 2b; \quad \lambda_{\text{кр}}^{20} = a.$$

По условиям режимов волновода можно записать следующие неравенства, определяющие распространяющиеся и не распространяющиеся типы волн:

$$a < \lambda; \quad 2a > \lambda; \quad b < 0.5\lambda.$$

Объединяя данные неравенства, получаем:

$$0.5\lambda < a < \lambda \quad \text{и} \quad b < 0.5\lambda$$

$$\text{или} \quad 0.5\lambda_0 / \sqrt{\epsilon} < a < \lambda_0 / \sqrt{\epsilon} \quad \text{и} \quad b < 0.5\lambda_0 / \sqrt{\epsilon}.$$

Таким образом, интервал изменения параметров раскрыва



Электродинамика и распространение радиоволн

волновода ограничен. На практике данный интервал еще сужается:

$$0.6\lambda_0/\sqrt{\varepsilon} < a < 0.9\lambda_0/\sqrt{\varepsilon} \quad \text{и} \quad b \cong 0.5a.$$

В соответствии с вариантом задания в качестве коэффициента $k_{\text{пр}} = 1$, определяющего величину параметра a относительно нижней границы интервала, получаем

$$a = a_{\text{н}} k_{\text{пр}} = 0.6\lambda_0/\sqrt{\varepsilon} = 0.038 \text{ м};$$

$$b = 0.5a = 0.019 \text{ м}.$$

2. Вычисление параметров волны в волноводе.

Критическая длина волны в волноводе с учетом материала заполнения составляет величину

$$\lambda_{\text{кр}} = 2a\sqrt{\varepsilon} = 0.122 \text{ м}.$$

Длина волны в волноводе

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{\lambda_0/\sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}} = 0.109 \text{ м}.$$

Длина волны в волноводе меньше критической длины волны, поэтому данная волна будет распространяющейся.

Характеристическое сопротивление волны H_{10} в рассматриваемом волноводе будет составлять величину

$$Z_{H_{10}} = \frac{W_0/\sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}} = 411.323 \text{ Ом}.$$

Коэффициент фазы равен

$$\beta = k\sqrt{\varepsilon} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2} = 57.587 \text{ м}^{-1}.$$

Предельная мощность, пропускаемая волной H_{10} , составляет величину

$$P_{\text{max}} = \frac{abE_{\text{max}}^2}{4W} = 3.975 \cdot 10^6 \text{ В}.$$



Электродинамика и распространение радиоволн

В данной формуле величина $E_{\max} = 3 \cdot 10^6$ В/м – напряженность электрического поля, при котором наступает пробой в воздухе.

Модуль коэффициента отражения волны в волноводе определим с использованием метода эквивалентных схем. В соответствии с ним

$$|\Gamma| = \frac{W - W_0}{W + W_0} = 0.044.$$

Коэффициент полезного действия при этом составляет величину

$$k_{\text{пд}} = 1 - |\Gamma|^2 = 0.998.$$

В случае, когда в волноводе отсутствует диэлектрическое заполнение, характеристическое сопротивление равно

$$Z_{H10} = \frac{W_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2 \cdot \lambda_0 \cdot k_{\text{пп}} \cdot 0.6} \right)^2}} = 658.117 \text{ Ом.}$$

Модуль коэффициента отражения волны в волноводе и коэффициент полезного действия при этом будут равны

$$|\Gamma| = \frac{W - W_0}{W + W_0} = 0.272 \text{ и } k_{\text{пд}} = 1 - |\Gamma|^2 = 0.926.$$

Таким образом, заполнение волновода диэлектриком, во-первых, позволяет уменьшить в $\sqrt{\varepsilon}$ раз поперечные размеры раскрытия волновода. Во-вторых, позволяет уменьшить модуль коэффициента отражения волны, т.е. улучшить согласование открытого конца волновода со свободным пространством, а следовательно, повысить коэффициент полезного действия антенны.

3. Нахождение компонент вектора напряженности электрического поля в раскрытии волновода.

В прямоугольном волноводе, в котором основной волной является волна H_{10} , широкая стенка параллельна оси Ox , а ее начало совпадает с началом координат продольная компонента поля описывается выражением:

$$H_z = H_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp(-i\beta z). \quad E_z = 0.$$

С учетом геометрии задачи (раскрыв расположен

Электродинамика и распространение радиоволн

симметрично началу координат, а широкая стенка ориентирована вдоль оси Oy , а также граничных условий указанное соотношение преобразуется к виду:

$$H_z = -H_0 \sin\left(\frac{\pi y}{a}\right) \exp(-i\beta z).$$

Поперечные компоненты вектора напряженности электрического поля при этом будут определяться выражениями:

$$E_x = -\frac{i\omega\mu_0\mu}{\chi_{10}^{mn}} \frac{\partial H_z}{\partial x} = 0.$$

$$E_y = \frac{i\omega\mu_0\mu}{\chi_{10}^{mn}} \frac{\partial H_z}{\partial y} = -\frac{i2aWH_0}{\lambda} \cos\left(\frac{\pi y}{a}\right) \exp(-i\beta z).$$

Проверяем граничные условия:

На стенках волновода при $y = \pm 0.5a$ получаем, что $E_y = 0$. Таким образом, выражения, описывающие распределение напряженности электрического поля в раскрыве волновода получены верно.

Построим эпюру напряженности поля в раскрыве волновода. Поскольку зависимость y -компоненты вдоль широкой стенки волновода описывается множителем $\cos\left(\frac{\pi y}{a}\right)$, то в пределах раскрыва эпюра имеет вид, представленный на рисунке 2 (изобразите данную зависимость).

Таким образом, в раскрыве рассматриваемого волновода вектор напряженности электрического поля имеет только одну (y) компоненту.

4. Вычисление характеристик направленности открытого конца волновода.

Для решения задачи об излучении электромагнитных волн открытый конец волновода представляется прямоугольным отвер-

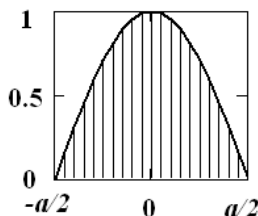


Рисунок 2 – Эпюра напряженности электрического поля в раскрыве волновода

Электродинамика и распространение радиоволн

стием в идеально проводящем экране. Отверстие со стороны полупространства $z < 0$ возбуждается, как было показано в п.3, однородной плоской волной с комплексной амплитудой $\vec{E} = \vec{i}_y E_0 \cos\left(\frac{\pi y}{a}\right) \exp(-ikz)$. Требуется найти распределение

поля в полупространстве $z > 0$ на расстоянии от экрана, намного большем по сравнению с длиной волны, а также поперечными размерами отверстия.

При решении воспользуемся интегралов Кирхгофа (1) относительно E_y компоненты поля. В точке наблюдения P имеем:

$$E_y(p) = -\frac{1}{4\pi} \int_S \left\{ \frac{\partial E_y}{\partial n} \frac{\exp(-ikR)}{R} - E_y \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{\exp(-ikR)}{R} \right) \right\} dS_q.$$

В данной формуле под поверхностью S понимается поверхность, на которой сосредоточены источники поля, т.е. в нашем случае поверхность S представляет собой раскрыв волновода; n - нормаль к поверхности раскрыва. В рассматриваемой геометрии задачи (см. рисунок 1), нормаль совпадает с осью Oz . Расстояние R между точкой наблюдения P и точкой на отверстии Q описывается выражением

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - 0)^2}.$$

Входящие в соотношения производные соответственно равны:

$$\left. \frac{\partial E_y}{\partial z} \right|_{z=0} = ikE_y;$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\exp(-ikR)}{R} \right) = \frac{\partial}{\partial R} \left(\frac{\exp(-ikR)}{R} \right) \frac{\partial R}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial R} \left(\frac{\exp(-ikR)}{R} \right) \frac{\partial R}{\partial z}.$$

Учитывая, что $\partial R / \partial z = \cos \theta$, где θ - угол между нормалью к поверхности и отрезком PQ , а также

$$\frac{\partial}{\partial R} \left(\frac{\exp(-ikR)}{R} \right) = -\left(\frac{ik}{R} + \frac{1}{R^2} \right) \exp(-ikR),$$

интеграл Кирхгофа

может быть преобразован к виду:

$$E_y(p) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left\{ ik \frac{\exp(-ikR)}{R} (1 + \cos \theta) + \frac{\cos \theta}{R^2} \exp(-ikR) \right\} E_y dS_q.$$

Электродинамика и распространение радиоволн

Для точек, расположенных в дальней зоне слагаемые, содержащие множитель R^{-2} , должны быть отброшены. Кроме того, на большом удалении от экрана величина $\cos \theta$ мало меняется от точки к точке. В результате имеем:

$$E_y(p) = \frac{ik}{4\pi} (1 + \cos \theta) \int_s E_y \frac{\exp(-ikR)}{R} dS_q.$$

Проведем дальнейшие преобразования полученного соотношения, в частности, преобразуем множитель $\frac{\exp(-ikR)}{R}$. Введем обозначение R_0 .

Описывающее расстояние от центра отверстия до точки наблюдения. Тогда, с учетом того, что точка наблюдения находится в дальней зоне, можно считать, что $1/R \approx 1/R_0$ и не экспоненциальном сомножителе соответствующем фазовому набегу, разложим R в ряд:

$$R = \sqrt{R_0^2 - 2(xx' + yy') + x'^2 + y'^2} = R_0 - \frac{xx' + yy'}{R_0}.$$

В итоге получаем:

$$\frac{\exp(-ikR)}{R} \approx \frac{\exp(-ikR_0)}{R_0} \exp\left(ik \frac{xx'}{R_0}\right) \exp\left(ik \frac{yy'}{R_0}\right).$$

Учитывая вид распределения поля в раскрытие волновода, а также выполненные преобразования, получаем следующее выражение для нахождения распределения поля в дальней зоне:

$$E_y(p) = \frac{ik}{4\pi} \frac{\exp(-ikR_0)}{R_0} (1 + \cos \theta) \times \\ \times \int_{-a/2}^{a/2} \cos\left(\frac{\pi y'}{a}\right) \exp\left(ik \frac{yy'}{R_0}\right) dy' \int_{-b/2}^{b/2} \exp\left(ik \frac{xx'}{R_0}\right) dx'$$

Интегралы, входящие в данное соотношение, являются табличными [5]. С учетом того, что $x/R_0 = \cos \theta \sin \varphi$, а $y/R_0 = \cos \theta \cos \varphi$, явные выражения данных интегралов имеют вид:



Электродинамика и распространение радиоволн

$$\int_{-b/2}^{b/2} \exp\left(ik \frac{xx'}{R_0}\right) dx' = b \frac{\sin\left(\frac{kb}{2} \cos \theta \sin \varphi\right)}{\frac{kb}{2} \cos \theta \sin \varphi} = f_2(b, \theta, \varphi);$$

$$\int_{-a/2}^{a/2} \cos\left(\frac{\pi y'}{a}\right) \exp\left(ik \frac{yy'}{R_0}\right) dy' =$$

$$= \frac{2\pi \cos\left(\frac{ka}{2} \cos \theta \cos \varphi\right)}{a \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 - (k \cos \theta \cos \varphi)^2} = f_1(a, \theta, \varphi).$$

Первый интеграл представляет собой запись первого замечательного предела, и в случае обращения в нуль знаменателя, равен 1. Во втором интеграле при обращении в нуль знаменателя имеем. Пусть $k \cos \theta \cos \varphi = L$. Тогда

$\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 - L^2 = 0$. Откуда получаем, что знаменатель обращается в

нуль при $L = \pm \frac{\pi}{a}$. Числитель при этом также обращается в нуль:

$\cos\left(\frac{a \pm \pi}{2} \frac{\pi}{a}\right) = \cos\left(\pm \frac{\pi}{2}\right) = 0$. Используя для раскрытия неопре-

деленности 0/0 правило Лопиталья, получаем:

$$\frac{a \frac{-\sin\left(\frac{a}{2} L\right)}{-2L}}{\pm \frac{\pi}{a}} = \frac{a \sin\left(\pm \frac{\pi}{2}\right)}{2\pi} = \frac{a^2}{2\pi}.$$

Окончательно, функции $f_1(a, \theta, \varphi)$ и $f_2(b, \theta, \varphi)$ представляются соотношениями:

$$f_1(a, \theta, \varphi) = \begin{cases} \frac{2\pi \cos\left(\frac{ka}{2} \cos \theta \cos \varphi\right)}{a \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 - (k \cos \theta \cos \varphi)^2} & \text{при } k \cos \theta \cos \varphi \neq \pm \frac{\pi}{a}, \\ a & \text{при } k \cos \theta \cos \varphi = \pm \frac{\pi}{a}, \end{cases}$$

$$f_2(b, \theta, \varphi) = \begin{cases} \frac{\sin\left(\frac{kb}{2} \cos \theta \sin \varphi\right)}{\frac{kb}{2} \cos \theta \sin \varphi} & \text{при } \cos \theta \cos \varphi \neq 0, \\ b & \text{при } \cos \theta \cos \varphi = 0. \end{cases}$$

В дальней зоне u -компонента характеристики направленности имеет вид:

$$F_y(\theta, \varphi) = (1 + \cos \theta) f_1(a, \theta, \varphi) f_2(b, \theta, \varphi),$$

т.е. содержит три сомножителя, соответствующих множителю направленности элемента Гюйгенса (первый сомножитель) и направленным свойствам, связанным с размерами отверстия вдоль каждого из поперечных размеров.

Запишем выражения для описания поля в сферической системе координат. Для этого воспользуемся соотношениями (2). В результате получаем:

$$F_\theta(\theta, \varphi) = F_y(\theta, \varphi) \cos \theta \sin \varphi; \quad F_\varphi(\theta, \varphi) = F_y(\theta, \varphi) \cos \varphi.$$

Диаграмма направленности по мощности имеет вид:

$$F(\theta, \varphi) = F_\theta^2(\theta, \varphi) + F_\varphi^2(\theta, \varphi) = F_y^2(\theta, \varphi) (\cos^2 \theta \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi).$$

В главных сечениях компоненты характеристик направленности будут соответственно описываться соотношениями:

- в плоскости E : ($\varphi = 0$)

$$F_\theta^E(\theta) = 0; \quad F_\varphi^E(\theta) = 0;$$

$$F^E(\theta) = (1 + \cos \theta) f_1(a, \theta, \varphi = 0);$$

- в плоскости H : ($\varphi = \pi/2$)

$$F_\theta^H(\theta, \varphi) = F_y(\theta, \varphi = \pi/2) \cos \theta; \quad F_\varphi^H(\theta, \varphi = \pi/2) = 0;$$



Электродинамика и распространение радиоволн

$$F^H(\theta) = \cos^2 \theta (1 + \cos \theta) f_1(a, \theta, \varphi = \pi/2) f_2(b, \theta, \varphi = \pi/2).$$

С использованием полученных соотношений построим диаграммы направленности в главных плоскостях. Построенные на основе данных таблицы графики приведены на рисунках 3 и 4.

На рисунке 3 показаны компоненты ДН в плоскости H . Сплошная линия соответствует θ -компоненте, штриховая - φ -компоненте. На рисунке 4 приведены диаграммы направленности по мощности в главных плоскостях. Сплошными линиями иллюстрируется зависимость характеристики направленности в плоскости E , штриховыми - в плоскости H .

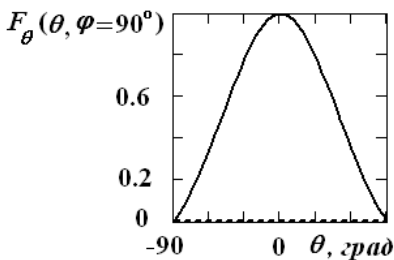


Рисунок 3 – Сечение компонент ДН по полю в H -плоскости

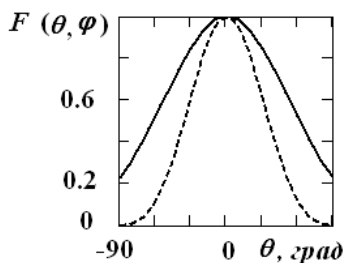


Рисунок 4 – Сечения ДН по мощности в главных плоскостях

Анализ данных зависимостей показывает, что из двух главных плоскостей диаграмма по амплитуде отлична от нуля только в H -плоскости. Причем от нуля отлична θ -компонента. Диаграмма направленности по мощности существует в обеих плоскостях. Однако ее ширина в данных плоскостях различна (В E -плоскости половина ширины ДН составляет - ___ градусов, в H -плоскости - ___ градусов). (Ширину главного лепестка ДН определить программным образом). Разная ширина ДН объясняется тем (дайте объяснение).



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».
2. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Горячая линия, 2004.
3. Пименов Ю.В. Линейная макроскопическая электродинамика. Вводный курс для радиофизиков и инженеров. Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2008.
4. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. СПб.: Лань, 2009.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1980.