

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Комплексная защита информации»

ОТЧЕТ

По дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн»

Практическая работа №4

Выполнили
студенты гр. БИТ-181:
Белый В.Е.,
Шабанов В.С.

Проверил:
доц., канд. физ-мат.н.
Михеев В.В.

Омск, 2020

Задание 4. Оценить возможность использования прямоугольного ($a \times b, a = 2,1b$) и круглого ($\emptyset = a$) волноводов на заданной частоте f .

Рассчитать одномодовый и рабочий диапазон частот, найти все типы мод на заданной частоте f , предложить (при необходимости) волновод оптимальных размеров.

Рассчитать основные характеристики (затухание, $\lambda_B, \nu_{гр}, \nu_{ф}, P_{пред}$) для волноводов оптимальных размеров из заданного материала ($\sigma_{Cu} = 5,7 \cdot 10^7$ См/м) при коэффициенте шероховатости $k_{ш}$.

Вариант	a , см	f , ГГц	$k_{ш}$	σ , См/м	μ , См/м	μ_{11}
45	7,0	6,0	1,4	$5,7 \cdot 10^7$	1	1,8412

Таблица 1: Исходные данные.

Решение:

Для прямоугольного волновода рассчитаем:

- одномодовый режим

$$f_{кр}^{H_{10}} = \frac{c}{2a} < f_{одн. мод.} < f_{кр}^{H_{20}} = \frac{c}{a} \quad (1)$$

$$2,14 \cdot 10^9 \text{ Гц} < f_{одн. мод.} < 4,29 \cdot 10^9 \text{ Гц}; \quad (2)$$

- рабочий диапазон частот

$$1,25f_{кр}^{H_{10}} = \frac{1,25c}{2a} < f_{раб.} < 0,99f_{кр}^{H_{20}} = \frac{1,98c}{2a} \quad (3)$$

$$2,68 \cdot 10^9 \text{ Гц} < f_{раб.} < 4,24 \cdot 10^9 \text{ Гц}; \quad (4)$$

Для круглого волновода рассчитаем:

- одномодовый режим

$$f_{кр}^{H_{11}} = \frac{8,8 \cdot 10^7}{a} < f_{одн. мод.} < f_{кр}^{H_{20}} = \frac{11,5 \cdot 10^7}{a} \quad (5)$$

$$1,43 \cdot 10^9 \text{ Гц} < f_{одн. мод.} < 1,63 \cdot 10^9 \text{ Гц}; \quad (6)$$

- рабочий диапазон частот

$$\frac{10^8}{a} < f_{раб.} < \frac{11,4 \cdot 10^7}{a} \quad (7)$$

$$1,43 \cdot 10^9 \text{ Гц} < f_{раб.} < 1,63 \cdot 10^9 \text{ Гц}; \quad (8)$$

Рассчитаем оптимальные размеры волноводов на заданной частоте f :

- для прямоугольного волновода

$$\frac{0,63c}{f} < a < \frac{0,99c}{f} \quad (9)$$

$$0,0315 \text{ м} < a < 0,0495 \text{ м}; \quad (10)$$

$a = 0,0405 \text{ м}$ - среднее значение от вычисленных пределов;

- для круглого волновода

$$\frac{1 \cdot 10^8}{f} < a < \frac{1,14 \cdot 10^8}{f} \quad (11)$$

$$0,017 \text{ м} < a < 0,019 \text{ м}; \quad (12)$$

$a = 0,018 \text{ м}$ - среднее значение от вычисленных пределов;

Рассчитаем основные характеристики для для прямоугольного волновода оптимальных размеров ($a = 0,0405$):

- критическая частота

$$f_{\text{кр}} = \frac{c}{2a}, \quad f_{\text{кр}} = 3,7 \cdot 10^9 \text{ Гц}; \quad (13)$$

- апертура волновода

$$\sqrt{K} = \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\text{кр}}}{f}\right)^2}, \quad \sqrt{K} = 0,787; \quad (14)$$

- фазовая и групповая скорости

$$v_{\text{ф}} = \frac{c}{\sqrt{K}}, \quad v_{\text{ф}} = 3,812 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \quad (15)$$

$$v_{\text{гр}} = c\sqrt{K}, \quad v_{\text{гр}} = 2,361 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \quad (16)$$

- коэффициенты затухания и фазы

$$\alpha = \sqrt{\pi f \sigma \mu_0 \mu}, \quad \alpha = 1,162 \cdot 10^6 \text{ 1/м}; \quad (17)$$

$$\beta = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{K}, \quad \beta = 98,897 \text{ 1/м}; \quad (18)$$

- глубина проникновения

$$\Delta^\circ = \frac{1}{\alpha}, \quad \Delta^\circ = 8,605 \cdot 10^{-7} \text{ м}; \quad (19)$$

- длина волны генератора и длина волны в волноводе

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad \lambda = 0,05 \text{ м}; \quad (20)$$

$$\lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{K}}, \quad \lambda_B = 0,064 \text{ м}; \quad (21)$$

- волновое число

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad k = 125,664 \text{ 1/м}; \quad (22)$$

- коэффициент затухания волны Н-типа

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{k_{\text{ш}} k \mu_{\text{пр}} \Delta^\circ}{b} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{K}} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{b}{a} \cdot \frac{f_{\text{кр}}^2}{f^2} \right) \right], \quad \alpha_{\text{пр}} = 1,023 \cdot 10^{-3} \text{ 1/м}; \quad (23)$$

- предельная мощность ($E_{\text{проб}}^2 = 30 \text{ кВ/см}$)

$$P_{\text{пред}} = \frac{ab}{4} \cdot \frac{\sqrt{K}}{Z_B} \cdot E_{\text{проб}}^2, \quad P_{\text{пред}} = 4,004 \cdot 10^8 \text{ Вт}; \quad (24)$$

Рассчитаем основные характеристики для для круглого волновода оптимальных размеров ($a = 0,018$):

- критическая частота

$$f_{\text{кр}} = \frac{8,8 \cdot 10^7}{a}, \quad f_{\text{кр}} = 4,89 \cdot 10^9 \text{ Гц}; \quad (25)$$

- апертура волновода

$$\sqrt{K} = \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\text{кр}}}{f} \right)^2}, \quad \sqrt{K} = 0,579; \quad (26)$$

- фазовая и групповая скорости

$$v_{\text{ф}} = \frac{c}{\sqrt{K}}, \quad v_{\text{ф}} = 5,181 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \quad (27)$$

$$v_{\text{гр}} = c\sqrt{K}, \quad v_{\text{гр}} = 1,737 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \quad (28)$$

- коэффициенты затухания и фазы

$$\alpha = \sqrt{\pi f \sigma \mu_0 \mu}, \quad \alpha = 1,162 \cdot 10^6 \text{ 1/м}; \quad (29)$$

$$\beta = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{K}, \quad \beta = 72,759 \text{ 1/м}; \quad (30)$$

- глубина проникновения

$$\Delta^\circ = \frac{1}{\alpha}, \quad \Delta^\circ = 8,605 \cdot 10^{-7} \text{ м}; \quad (31)$$

- длина волны генератора и длина волны в волноводе

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad \lambda = 0,05 \text{ м}; \quad (32)$$

$$\lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{K}}, \quad \lambda_B = 0,086 \text{ м}; \quad (33)$$

- волновое число

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad k = 125,664 \text{ 1/м}; \quad (34)$$

- коэффициент затухания волны Н-типа

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{k_{\text{ш}} k \mu_{\text{пр}} \Delta^\circ}{2a\sqrt{K}} \cdot \left[\left(\frac{f_{\text{кр}}}{f} \right)^2 + \frac{n^2}{\mu_{nm}^2 - n^2} \right], \quad \alpha_{\text{пр}} = 7,263 \cdot 10^{-3} \text{ 1/м}; \quad (35)$$

- предельная мощность ($E_{\text{проб}}^2 = 30 \text{ кВ/см}$)

$$P_{\text{пред}} = 1,990 \cdot 10^{-3} a^2 \sqrt{K} \frac{Z_0}{Z_B} E^2, \quad P_{\text{пред}} = 3,36 \cdot 10^8 \text{ Вт}; \quad (36)$$

Вывод:

При выполнении задания были рассчитаны одномодовые диапазоны частот, оптимальные размеры волноводов и параметры для прямоугольного и круглого волновода.

Параметр	Прямоугольный	Круглый
$u_{\text{ф}}, \text{ м/с}$	$3,812 \cdot 10^8$	$5,181 \cdot 10^8$
$u_{\text{гр}}, \text{ м/с}$	$2,361 \cdot 10^8$	$1,737 \cdot 10^8$
\sqrt{K}	0,787	0,579
$\alpha_{\text{пр}}, \text{ 1/м}$	$1,023 \cdot 10^{-3}$	$7,263 \cdot 10^{-3}$
$P_{\text{пред}}, \text{ Вт}$	$4,004 \cdot 10^8$	$3,36 \cdot 10^8$

Таблица 2: Сравнение параметров волноводов.