

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»**

Факультет Радиотехнологий связи
Кафедра Радиосистем и обработки сигналов
Дисциплина «Техническая электродинамика»

**Лабораторная работа № 3
Исследование электромагнитного поля в круглом волноводе**

Выполнили:

Миколаени М. С.

Громов А. А.

ИКТЗ-83

Проверил:

Гуреев А. Е.

Санкт-Петербург

2020

Цель работы:

1. Экспериментальное исследование структуры структуры электромагнитного поля волны основного типа H_{11} и волны первого высшего типа E_{01} в круглом волноводе.
2. Измерение длины волны в волноводе для волн типов H_{11} и E_{01} .

Схема установки:

В состав системы входят:

1. Генератор высокочастотных колебаний;
2. Коаксиальный волновод;
3. Переход;
4. Прямоугольный волновод;
5. Переход;
6. Круглый волновод;
7. Вращающееся соединение с лимбом для отсчета угла поворота;
8. Измерительная линия;
9. Короткозамыкающая пластина;
10. Индикатор (низкочастотный измерительный прибор).

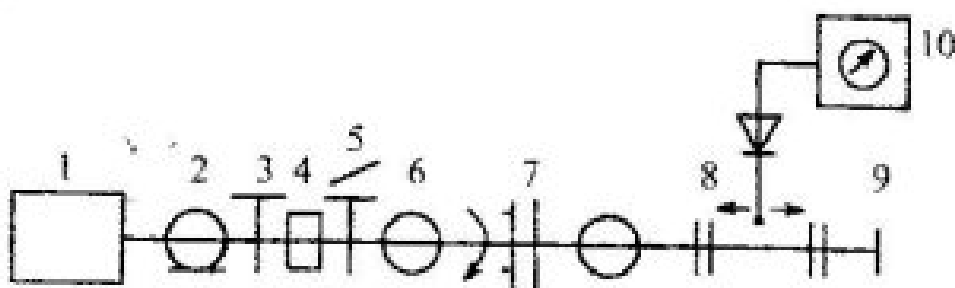


Рис.1. Схема лабораторной установки для исследования волны H_{11} .

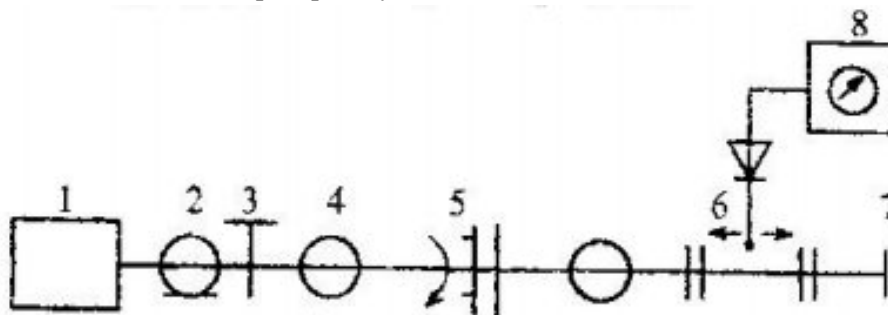


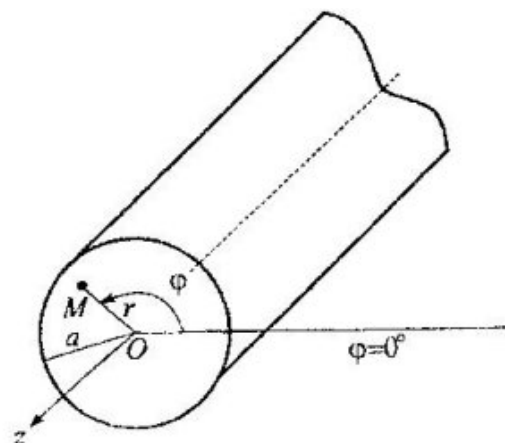
Рис 2. Схема лабораторной установки для исследования E_{01} .

Теоретическая часть:

В круговом волноводе, как и в прямоугольном, могут распространяться волны типов E_{mn} и H_{mn} . В круглом волноводе поле типа H_{11} имеет критическую длину волны $\lambda = 3,41a$, поле типа E_{01} - $\lambda_{кр} = 2,61a$, где a - радиус волновода.

Условия одноволнового режима имеют вид:

$$2,61a \leq \lambda < 3,41a,$$



причем в случае заполнения волновода воздухом $\lambda = \frac{C_0}{f}$ (C_0 - скорость света в вакууме, f - частота генератора)

Диапазон длин волн, в которых по круглому волноводу могут распространяться волны двух типов H_{11} и E_{01} , определяется неравенством:

$$2,06a < \lambda < 2,61a,$$

где $2,06a$ есть $\lambda_{кр}$ поля второго высшего типа H_{21}

Векторные линии E должны быть перпендикулярны к металлическим стенкам волновода, а линии H всегда образуют замкнутые петли и у стенок ориентированы по касательным к их поверхности.

Необходимо помнить, что у бегущих в волновое волн любого типа поперечные составляющие векторов E и H колеблются в одинаковой фазе, вследствие чего эти составляющие принимают экстремальные значения в одних и тех же поперечных сечениях. Расстояние между такими сечениями равно $\lambda/2$

Вся картина векторных линий бегущей волны перемещается в направлении оси z с фазовой скоростью V_ϕ

$$V_\phi = \frac{C}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}}$$

Характерной особенностью структуры поля E_{01} является отсутствие зависимости от азимутального угла ϕ , т.е. симметрия относительно оси z .

Благодаря, осевой симметрии поля эти волны находят широкое применение во вращающихся соединениях и других устройствах, где отсутствует зависимость от угла ϕ

В работе возбуждения волны H_{11} производится при помощи плавного перехода с прямоугольного волновода с волной H_{10} на круглый волновод с волной H_{11} . В этом переходе осуществляется постепенная деформация прямоугольного поперечного сечения в круглое, при которой распределения поля H_{10} плавно трансформируются в распределение поля H_{11} круглого волновода.

Предварительные расчеты:

1. $a = 15\text{mm}$

a. $H_{11} : 2.61a < \lambda < 3.41a \Rightarrow 2.61 \cdot 15 \cdot 10^{-3} < \lambda < 3.41 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \Rightarrow 39.15\text{мм} < \lambda < 51.15\text{мм}$

b. H_{11} и $E_{01} : 2.06a < \lambda < 2.61a \Rightarrow 30.9\text{мм} < \lambda < 39.15\text{мм}$

2. $E_{rm}(\phi)/E_{rmax} = |\cos \phi|,$

3. Для H_{11} :

$$\lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}} = \frac{34 \times 10^{-3}}{\sqrt{1 - \left(\frac{34 \times 10^{-3}}{51.15 \times 10^{-3}}\right)^2}} = 0,046 = 46\text{мм}$$

$$V_{\phi} = \frac{C}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{1 - (\frac{34 \times 10^{-3}}{51.15 \times 10^{-3}})^2}} = 4 \times 10^8$$

$$V_{\vartheta} = c \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2} = 3 \times 10^8 \times \sqrt{1 - (\frac{34 \times 10^{-3}}{51.15 \times 10^{-3}})^2} = 2,24 \times 10^8$$

Для E_{0I} :

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2}} = \frac{34 \times 10^{-3}}{\sqrt{1 - (\frac{34 \times 10^{-3}}{39.15 \times 10^{-3}})^2}} = 0,067 = 67 \text{ мм}$$

$$V_{\phi} = \frac{C}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{1 - (\frac{34 \times 10^{-3}}{39.15 \times 10^{-3}})^2}} = 6,05 \times 10^8$$

$$V_{\phi} = c \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2} = 3 \times 10^8 \times \sqrt{1 - (\frac{34 \times 10^{-3}}{39.15 \times 10^{-3}})^2} = 1,49 \times 10^8$$

Измерения:

φ	мВ	$\sqrt{a(\varphi)/a_{\max}}$
0	8	0,94
30	7,6	0,92
60	3,5	0,62
90	0,08	0,09
120	2	0,47
150	7	0,88
180	8,8	1

H_{11}

Zмм	мВ
33	3,5
38	0
43	7,3
56	3
61	0
66	5,8

E_{01}

Zмм	мВ
28	1
33	0
38	3,2
64	3,2
69	0
74	1,4

Обработка результатов измерений:

2.

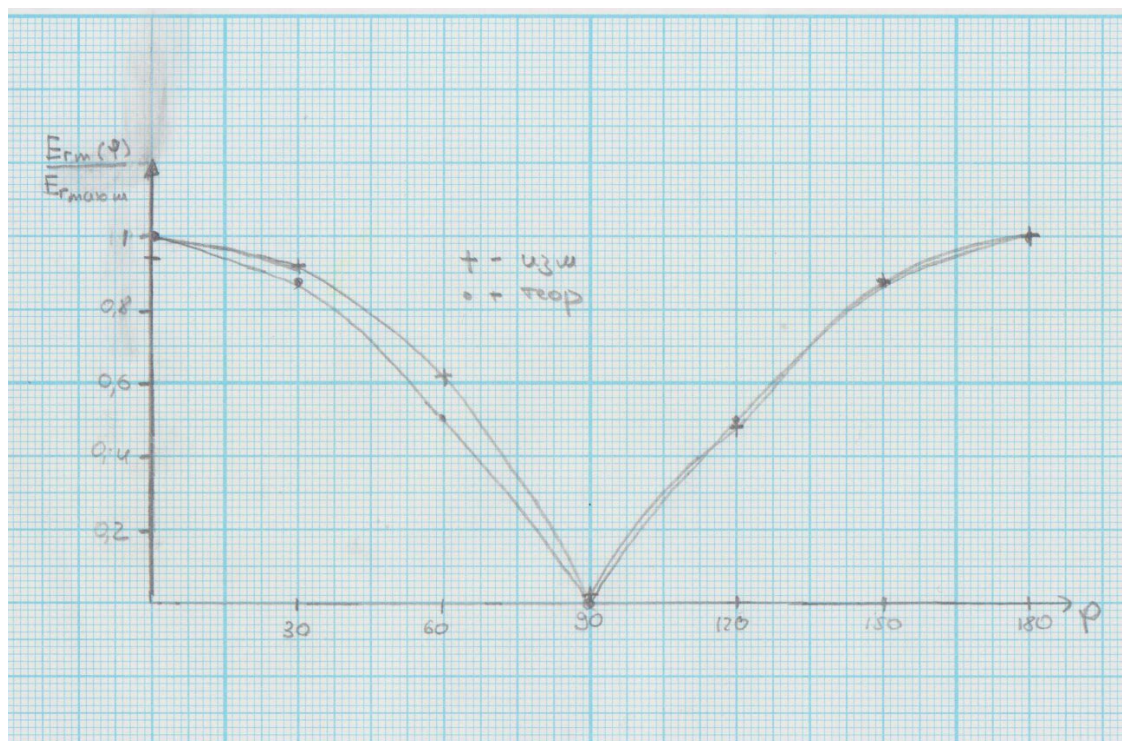


График 1. Зависимости от угла для волн H_{11} и E_{01} .

3.

Для H_{11} :

а. $\Lambda = 56-33=23\text{мм}$

б. $\Lambda = 61-38=23\text{мм}$

в. $\Lambda = 66-43=23\text{мм}$

$\Lambda_{\text{ср}} = 23\text{мм}$

Для E_{01} :

а. $\Lambda = 74-28=46\text{мм}$

б. $\Lambda = 69-33=36\text{мм}$

в. $\Lambda = 64-38=26\text{мм}$

$\Lambda_{\text{ср}} = (46+36+26)/3=36\text{мм}$

Выводы:

1. Теоретические значения длин волн не совпадают с экспериментально измеренными.
2. Экспериментальные и теоретические зависимости для волн H_{11} и E_{01} подчиняются закону косинуса, взятого по модулю. При этом их графики практически совпадают.