

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Разработка лабораторной установки для моделирования
распространения электромагнитных волн в прямоугольном волноводе**
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса группы 4032
направления 03.03.03 Радиофизика
института физики
Засолова Ивана Константиновича

Научный руководитель
доцент кафедры радиофизики
и нелинейной динамики,
к.ф.-м.н.

_____ К.С. Сергеев

Заведующий кафедрой радиофизики
и нелинейной динамики,
д.ф.-м.н., доцент

_____ Г.И. Стрелкова

Саратов 2021

ВВЕДЕНИЕ

Для передачи микроволн, т.е. волн, длина которых измеряется сантиметрами или миллиметрами, применяются волноводы — полые металлические трубы. Волноводы имеют существенное отличие от передающих линий. В линии ток течет по одному проводнику и обратно — по другому. В волноводе ток течёт в одном направлении по одной части стенки, а в другом направлении — по другой в один момент времени. Хотя части стенки электрически соединены друг с другом, но короткого замыкания все же не происходит. Поэтому главным является электромагнитное поле внутри трубы в отличие от двухпроводной линии, в которой рассматриваются ток и напряжение.

Практическое применение имеют металлические волноводы прямоугольного и кругового сечений. В волноводах могут распространяться различные типы волн, отличающихся друг от друга структурой электрического и магнитного полей. Различное распределение поля, которое возможно в волноводе, определяется формой и размерами волновода, способом его возбуждения и граничными условиями. Каждое из этих возможных распределений называется типом волны.

В целом, теоретическое описание волноведущих систем различной природы давно известно и апробировано на практике. Однако структура поля, описанная лишь формулами, достаточно сложна для понимания студентов (особенно младших курсов).

Цель работы: разработка виртуальной лабораторной установки для визуализации структуры электромагнитного поля в волноведущих системах.

Содержание работы

В первой главе проводится рассмотрение различных типов направляющих систем применяющихся для передачи электромагнитных волн. В дальнейшем в работе рассматриваются только волноводы прямоугольного сечения, поскольку прямоугольный волновод представляет собой самую простую модель для исследования и понимания структуры электромагнитных волн в волноводах. В прямоугольных волноводах могут распространяться волны различных типов:

1. Т-волна или поперечная ЭМВ (ТЕМ (Transversal Electro Magnetical)). Векторы поля этой ЭМВ имеют лишь поперечные составляющие.

$$\vec{E} = \vec{E}_{\perp}, \vec{H} = \vec{H}_{\perp}$$

2. Н-волна, или магнитная волна. Поле этой волны, кроме поперечных, имеет еще продольную составляющую магнитного поля

$$\vec{E} = \vec{E}_{\perp}, \vec{H} = \vec{H}_{\perp} + \vec{z}^0 H_z$$

Где \vec{z}^0 — орт, направленный по оси Oz .

3. Е-волна, или электрическая волна. Электрическое поле E – волны имеет как поперечную составляющую, так и продольную

$$\vec{H} = \vec{H}_{\perp}, \vec{E} = \vec{E}_{\perp} + \vec{z}^0 E_z$$

4. ЕН-волна, или гибридная волна. ЭМП этой волны имеет все составляющие полей

$$\vec{E} = \vec{E}_{\perp} + \vec{z}^0 E_z, \vec{H} = \vec{H}_{\perp} + \vec{z}^0 H_z$$

Классы подразделяются на типы волн, которые имеют различную структуру, параметры полей и обозначаются $H_{m,n}$ или $E_{m,n}$. Индексы m и n определяют тип распространяющейся волны.

Для прямоугольного волновода приведен также пример расчета электрического и магнитного составляющих полей и построена диаграмма возможных типов волн (рис. 1).

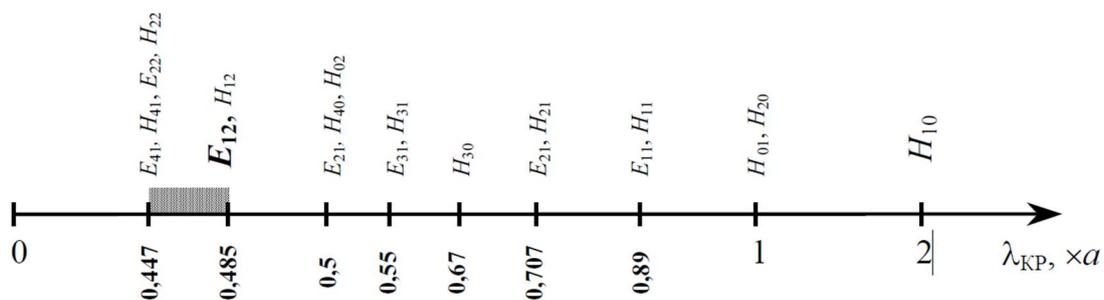


Рисунок 1 – Диаграмма типов волн

Полученная диаграмма позволяет определить критические длины волн для различных мод электрического или магнитного составляющего волны.

Во второй главе представлена программа для визуализации электромагнитного поля в волноводе. Разработанная программа позволяет производить расчеты критических длин волн TE – типа для прямоугольного волновода различного сечения, а также производить их визуализацию во всех проекциях. Среда LabView позволяет создавать программы в виде блок-схемы (рис. 2), структурные элементы которой – математические операции над массивами; направления пересылки данных между структурными элементами указывается соединительными линиями.

Программа может найти свое применение при постановке лабораторных работ для студентов 1-2 курсов, у которых может не быть необходимых компетенций для работы со сложными программными комплексами. Применение же более простой в использовании программы позволит лучше понять (и представить визуально) процессы распространения электромагнитных волн в волноводящих системах и понять физические причины наличия критической длины волны.

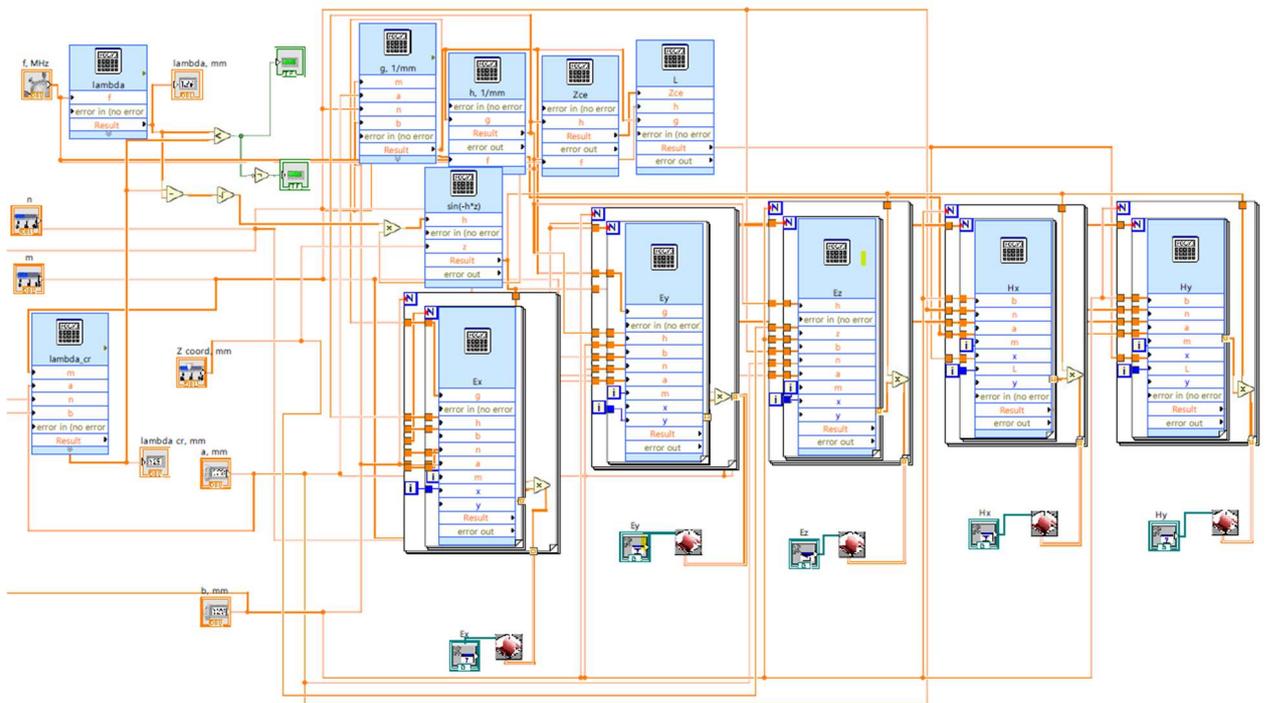


Рисунок 2 – Блок-схема программы

Программа позволяет производить визуализацию электрической и магнитной составляющей волны, изменять частоту генератора, размеры широкой и узкой стенок прямоугольного волновода, задавать различные значения индексов m и n , а также показывает критическую длину и текущую длину волны для заданного типа волны. На рисунке 3 представлен пример визуализации распространения волны типа E_{12} в прямоугольном волноводе сечением $80*40$ мм.

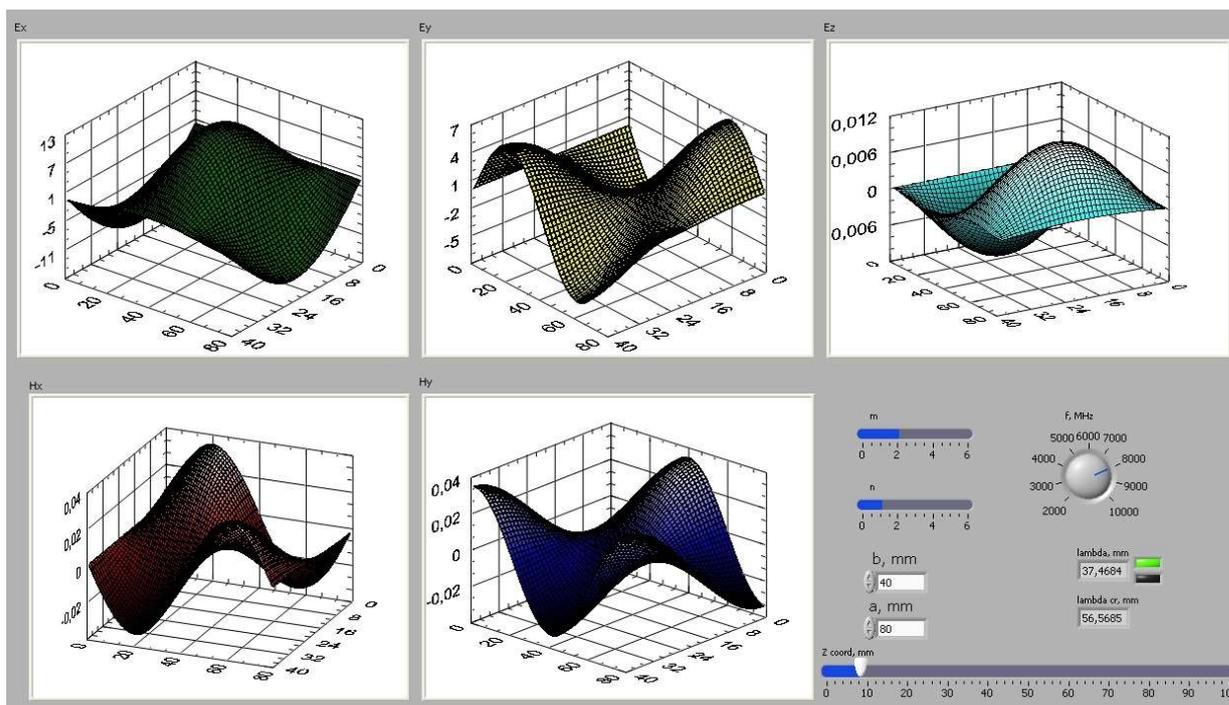


Рисунок 3 – Поперечные составляющие электрического и магнитного поля волны E_{12}

На основе разработанной установки возможно создание лабораторной работы для студентов в рамках практикума по радиофизике. Можно предположить (предварительно) следующие задания для такой лабораторной работы:

- Рассчитать размеры волновода, требующегося для распространения заданной частоты, и проверить при помощи лабораторной установки, будет ли наблюдаться распространение волны в таком волноводе;
 - Рассчитать частоту волны, способную распространяться по прямоугольному волноводу заданных размеров, и проверить при помощи лабораторной установки, будет ли наблюдаться распространение такой волны в волноводе и если будет, то какого типа;
 - Определить аналитически и при помощи лабораторной установки тип волны (E, H_{mn}) при заданных размерах волновода и частоте (длине волны);
- и так далее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была рассмотрена теория распространения электромагнитных волн в прямоугольном волноводе и проведен аналитический расчет критических длин волн для волновода сечением 80×40 .

Также была разработана программа на LabView, которая позволяет производить расчеты критических длин волн TE – типа для прямоугольного волновода различного сечения, а также производить их визуализацию во всех проекциях. На примере прямоугольного волновода сечением 80×40 мм показано распространение волн различного типа. Картина поля показывает, что в соответствии с индексами волна имеет определенное число вариаций вдоль широкой и узкой стенки волновода. На основе разработанной программы может быть создана лабораторная работа радиофизического практикума для ознакомления с принципом распространения электромагнитных волн в прямоугольных волноводах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бабенко А. Н., Громько А. Н. Электромагнитные поля и волны: Учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003.
2. Исследование прямоугольного волновода В.П. Якубов. Методические указания. г Томск, 2000 г.
3. Частично заполненные прямоугольные волноводы Ю. В. Егоров. г. Москва. Издательство «Советское радио», 1967г.
4. Исследование электромагнитных волн в прямоугольном волноводе Л. К. Андрусевич, г Новосибирск 2003г.
5. Основы геометрической электродинамики волноводов прямоугольного сечения В.В. Саламатин. И.Л. Афонин. С.Н. Бердышев г Севастополь, 2008г.