

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

**Кафедра
«Антенно-фидерные устройства»**

**Методическое указание к виртуальной лабораторной работе
“ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОАКСИАЛЬНОГО И
ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДОВ”
по дисциплине “Электромагнитные поля и волны”**

Ташкент 2008

Аннотация

Данное методическое указание предназначено для студентов, изучающих дисциплину “Электромагнитные поля и волны” по направлениям образования: “Радиотехника”, “Телевидение, радиосвязь и радиовещание”, “Телекоммуникации”.

Настоящая виртуальная лабораторная работа рассчитана на выполнение в течение двух часов и предназначена для студентов, изучающих процессы канализации электромагнитных волн по направляющим системам – коаксиальным и прямоугольным волноводам.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В результате выполнения виртуальной лабораторной работы студенты должны приобрести знания особенностей распространения электромагнитных волн в коаксиальном и прямоугольном волноводах, количественном определении степени согласования линии с нагрузкой и величины самой нагрузки.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

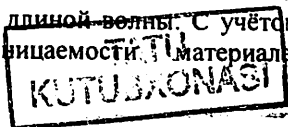
2.1. Волны в направляющих системах

В дециметровом и сантиметровом диапазонах, в основном, используются линии передачи закрытого типа, в которых вся энергия сосредоточена в пространстве, экранированном от внешней среды металлической оболочкой.

Основными, широко используемыми линиями передачи закрытого типа, являются коаксиальный волновод (состоящий из соосных круглых провода и экрана), прямоугольный, круглый и эллиптический волноводы.

В направляющих системах могут распространяться волны класса Т (поперечные электромагнитные волны), волны класса Н (поперечно-электрические или магнитные волны), волны класса Е (поперечно-магнитные или электрические волны). Необходимо отметить, что волны класса Т могут распространяться только в тех направляющих системах, в которых имеются два изолированных друг от друга проводника, по которым возможна передача энергии постоянного тока.

В любой направляющей системе возможно существование большого числа типов волн (из классов Е и Н), количество которых зависит от выбора рабочей длины волны λ_p . Однако существует область длин волн, при которой распространение электромагнитных волн в волноводе невозможно (область отсечки), то есть когда рабочая длина волны λ_p больше или равна критической длине волны основного типа волны $\lambda_{кр}$ ($\lambda_p \geq \lambda_{кр}$). Основным типом волны в волноводе называется волна, обладающая максимальной критической длиной волны. С учётом относительной диэлектрической проницаемости материала,



заполняющего волновод, рабочая длина волны должна выбираться из условия

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon}} < \lambda_{кр},$$

где λ - длина волны генератора (длина волны в свободном пространстве).

В воздухе $\epsilon = 1$ и $\lambda_p = \lambda$.

На рис.2.1,а,б приведены картины мгновенного распределения электрического и магнитного полей (в продольном и поперечном сечениях) для основных типов волн H_{10} и H_{11} в прямоугольном и круглом волноводах, а на рис.2.1, в - для волны класса Т в коаксиальном волноводе. Крестиками на этих рисунках показаны силовые линии, идущие «от нас», а кружочками - идущие «к нам».

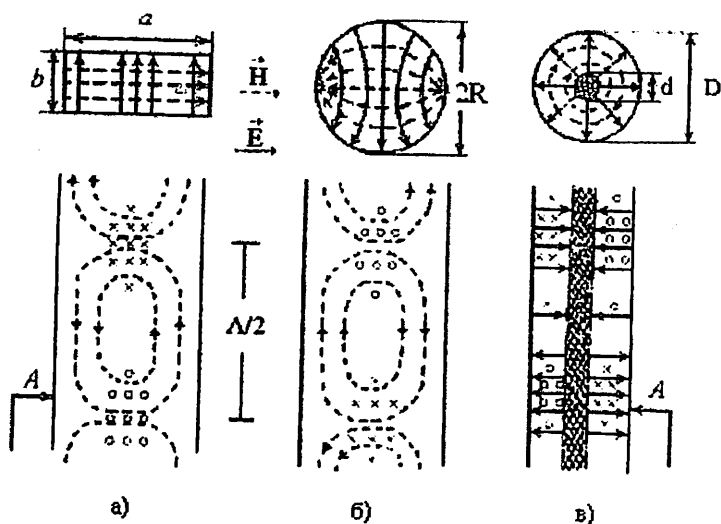


Рис. 2.1. Структура поля волны: а - H_{10} в прямоугольном волноводе; б - H_{11} в круглом волноводе; в - Т в коаксиальном волноводе

Значения волнового сопротивления Z_w , фазовой v_ϕ и групповой $v_{гр}$ скоростей и длины волны Λ в волноводе в одноволновом режиме можно рассчитать по формулам:

- для прямоугольного волновода:

$$Z_{\text{в}} = \frac{2b}{a} \cdot \frac{120 \pi}{\sqrt{1 - (\lambda_p / 2a)^2}}, \quad (2.2)$$

$$v_{\text{ф}} = \frac{c}{\sqrt{1 - (\lambda_p / 2a)^2}}, \quad (2.3)$$

$$v_{\text{гр}} = c \cdot \sqrt{1 - (\lambda_p / 2a)^2}, \quad (2.4)$$

$$\Lambda = \frac{\lambda_p}{\sqrt{1 - (\lambda_p / 2a)^2}}, \quad (2.5)$$

- для коаксиального волновода:

$$Z_{\text{в}} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \cdot \ln \frac{D}{d}, \quad (2.6)$$

$$v_{\text{ф}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (2.7)$$

$$v_{\text{гр}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (2.8)$$

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (2.9)$$

где c – скорость света в вакууме; a – внутренний размер широкой стенки прямоугольного волновода; b – внутренний размер узкой стенки прямоугольного волновода; D – диаметр оплётки коаксиального кабеля; d – диаметр центральной жилы коаксиального кабеля.

То, что длина волны в прямоугольном волноводе Λ больше длины волны в свободном пространстве λ , имеет простое физическое объяснение. Так как электромагнитные волны, распространяясь в волноводе, отражаются от его стенок (как показано на рис.2.2), то фронт волны, проходя расстояние λ_p вдоль

направления распространения волн, одновременно пройдёт вдоль волновода расстояние, равное Λ .

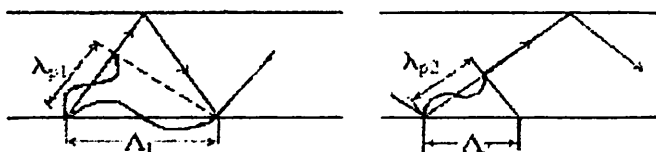


Рис.2.2. Объяснение, почему длина волны в волноводе больше, чем в свободном пространстве

2.2. Выбор рабочей длины волны (частоты) для создания одноволнового режима

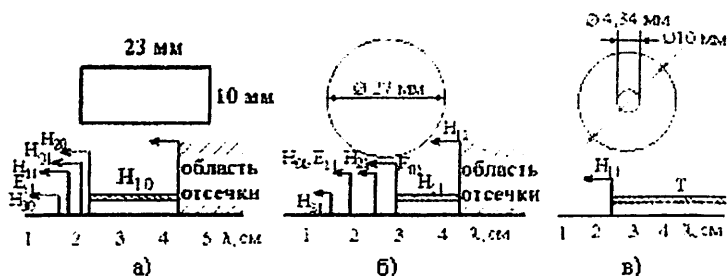


Рис.2.3. Полосы рабочих длин волн для: а – прямоугольного волновода, б – круглого волновода, в – коаксиального волновода

Для наглядности на рис.2.3, а,б,в приведены распределения критических длин волн по шкале λ_p для прямоугольного, круглого и коаксиального волнопроводов. В случае одноволнового (одномодового) режима по волноводу распространяется основная волна. Как видно из рис.2.3, основной волной для прямоугольного волновода является волна H_{10} с критической длиной волны $\lambda_{кр}^{H_{10}} = 2a$. Первая волна высшего порядка в прямоугольном

волноводе – волна H_{20} с $\lambda_{кр}^{H20}=a$. Следовательно, одноволновый режим будет наблюдаться при выполнении условия

$$a < \lambda < 2a. \quad (2.10)$$

Для круглого волновода (рис.2.3, б) основной волной является волна H_{11} ($\lambda_{кр}^{H11}=3,41R$), а первой волной высшего порядка – E_{01} ($\lambda_{кр}^{E01}=2,62R$), таким образом, одноволновый режим будет выполняться при условии

$$2,62R < \lambda_p < 3,41R. \quad (2.11)$$

В коаксиальном волноводе (рис.2.3, в) основной волной является волна класса Т ($\lambda_{кр}^{T=\infty}$), а первой волной высшего порядка – волна H_{11} с $\lambda_{кр}^{H11} \approx \pi(D+d)/2$, т.е. одноволновый режим будет выполняться при условии

$$\pi(D+d)/2 < \lambda_p < \infty. \quad (2.12)$$

На практике, обычно, из-за большого поглощения в области более длинных волн, т.е. близких к критической длине волны основного типа, значение рабочей длины волны выбирают на 20...30% ниже критической длины волны.

2.3. Виды амплитудных распределений в волноводе

Рассмотрим влияние характера нагрузки, установленной на конце волновода, на амплитудное распределение вдоль волновода. Вдоль оси волновода, с одноволновым режимом формируется распределение поля, аналогичное распределению поля в обычной двухпроводной линии, которая работает в режиме длинной линии.

Если на конце волновода установлена короткозамыкающая нагрузка, то возникает отраженная волна, сдвинутая по фазе на 180° относительно падающей волны. Амплитуда отраженной волны равна амплитуде падающей волны. В результате наложения этих двух волн возникает стоячая волна (режим стоячей волны). Амплитудное распределение в режиме стоячей волны показано на рис.2.4 сплошной линией. Расстояние между двумя соседними минимумами напряженности поля равно половине длины волны в волноводе. При замене короткозамыкающей нагрузки на согласованную, равную по величине характеристическому сопротивлению волновода, отраженной от нагрузки волны не будет и в волноводе установится режим бегущей волны, при котором амплитудное распределение будет характеризоваться постоянным значением амплитуды распределения поля (пунктирная линия на рис.2.4).

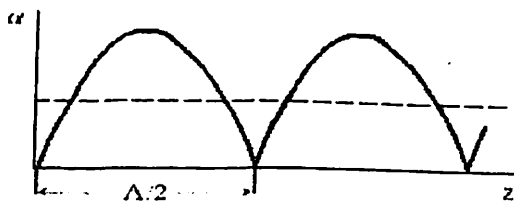


Рис.2.4. Амплитудное распределение для согласованной нагрузки (пунктирная линия), короткозамыкающей и реактивной нагрузок (сплошная линия)

В тех случаях, когда от сопротивления нагрузки отражается часть падающей волны, в волноводе устанавливается смешанный режим, амплитудное распределение которого показано на рис.2.5. Амплитудное распределение в волноводе удобно характеризовать значением коэффициента бегущей волны $K_{БВ} = E_{\min}/E_{\max}$.

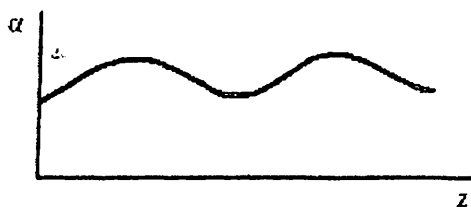


Рис.2.5. Амплитудное распределение при произвольной нагрузке

2.4. Конструкция волноводных измерительных линий

Для регистрации амплитудного распределения в волноводах используются волноводные измерительные линии. Конструкция линии, выполненной на отрезке коаксиального волновода, показаны на рис.2.6. Отличие измерительных линий состоит в разнице конструкций направляющих систем, вдоль которых перемещается измерительная головка с зондом, принцип действия которой и конструкция одинаковы для обеих измерительных линий.

Измерительная головка представляет собой объемный резонатор с короткозамыкающим поршнем, служащим для

настройки объемного резонатора, с СВЧ диодом. Зонд располагается вдоль силовых линий электрического поля в волноводе. Электродвижущая сила (ЭДС), возникающая в зонде, пропорциональна напряженности поля в месте расположения зонда.

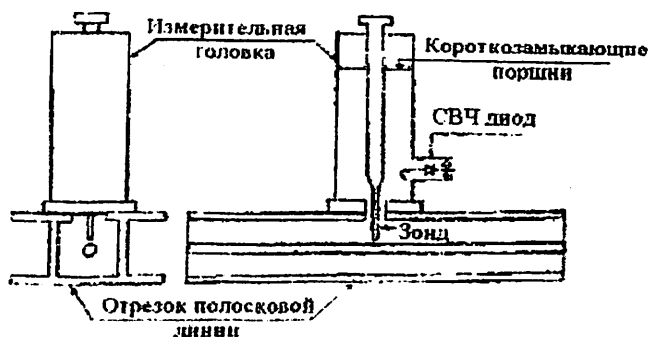


Рис.2.6. Конструкция измерительной линии на основе коаксиального волновода

Эта ЭДС возбуждает объемный резонатор, создавая в нем электромагнитные колебания. Резонатор настраивается на частоту колебаний в направляющей системе, что приводит к максимальному усилению сигнала на выходе резонатора. С объемным резонатором связан кристаллический СВЧ диод, играющий роль преобразователя СВЧ колебаний в низкую частоту модуляции генератора. По принципу действия объемный резонатор схож с обычным колебательным контуром на более низких частотах.

Перемещая зонд вдоль волновода, можно найти распределение амплитуд напряженности поля и длину волны в волноводе. Регистрация амплитудного распределения производится при помощи микроамперметра, подключенного к СВЧ диоду. Ввиду того, что характеристика СВЧ диода квадратична, при определении значений $K_{БВ}$, необходимо взять корень из показаний микроамперметра (α_{\min} и α_{\max})

$$K_{БВ} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \sqrt{\frac{\alpha_{\min}}{\alpha_{\max}}}$$

Иногда на практике используется коэффициент стоячей волны

$$K_{СВ} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \sqrt{\frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}}}$$

Коэффициент бегущей волны связан с модулем коэффициента отражения $|\Gamma|$ соотношениями:

$$K_{\text{БВ}} = \frac{1 - |\Gamma|}{1 + |\Gamma|}, \quad |\Gamma| = \frac{1 - K_{\text{БВ}}}{1 + K_{\text{БВ}}}.$$

2.5. Виды нагрузочных сопротивлений

В настоящей лабораторной работе используются следующие виды нагрузок: согласованная нагрузка, короткозамыкающая нагрузка и реактивная нагрузка. Согласованная нагрузка представляет собой отрезок волновода, в котором находится вставка из смеси порошкового железа с полистиролом, поглощающая электромагнитную энергию волны. Реактивная нагрузка представляет собой отрезок волновода, вдоль которого перемещается короткозамыкающий поршень. Амплитудное распределение, получаемое при реактивной нагрузке, сходно с амплитудным распределением при короткозамыкающей нагрузке, однако минимумы напряженности поля этих распределений смещены на величину Δz . Иногда на практике встречаются произвольные нагрузки, характеризующиеся активным и реактивным сопротивлениями.

2.6. Расчет сопротивления нагрузки с помощью круговой диаграммы полных сопротивлений (диаграммы Вольперта)

Круговая диаграмма полных сопротивлений устанавливает взаимную связь между составляющими полного сопротивления нагрузки, нормированных к волновому сопротивлению волновода ($R_{\text{н}}/Z_{\text{в}}$, $X_{\text{н}}/Z_{\text{в}}$), и модулем и фазой коэффициента отражения $|\Gamma_{\text{н}}|$ и $\varphi_{\text{н}}$. Вместо значений $|\Gamma_{\text{н}}|$ можно использовать значения коэффициента бегущей волны $K_{\text{БВ}}$ или коэффициента стоячей волны $K_{\text{СВ}}$, т.к. они связаны между собой.

Приведенные вместе на одном рисунке, окружности $R_{\text{н}}/Z_{\text{в}} = \text{const}$ (рис. 2.7,а) и окружности $X_{\text{н}}/Z_{\text{в}} = \text{const}$ (рис. 2.7,б), образуют круговую диаграмму полных сопротивлений в полярной системе координат. Каждая точка этой круговой диаграммы соответствует нормированному комплексному сопротивлению.

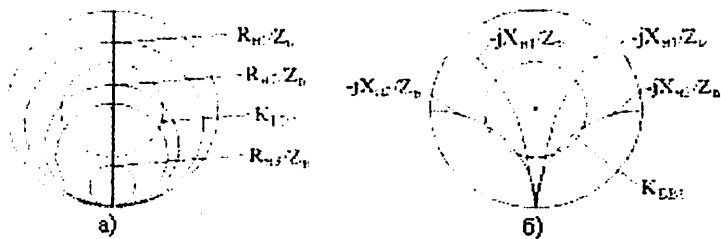


Рис.2.7. Окружности активной (а) и реактивной (б) составляющих диаграммы полных сопротивлений в полярной системе координат

Центры окружностей постоянных значений активного нормированного сопротивления лежат на прямой, которая является осью симметрии круговой диаграммы. На этой оси нанесены значения активных нормированных сопротивлений от нуля до бесконечности. Значения $K_{БВ}$ совпадают на этой оси со значениями нормированного активного сопротивления от 0 до 1, а значения $K_{СВ}$ совпадают со значениями нормированного активного сопротивления на этой оси от 1 до бесконечности.

Центры окружностей постоянных значений нормированного реактивного сопротивления лежат на прямой, перпендикулярной оси симметрии круговой диаграммы и находятся вне диаграммы. Значения реактивных сопротивлений нанесены на внешней окружности, центр которой находится на оси диаграммы в точке $R_H/Z_0=1$. Две внешние окружности круговой диаграммы отградуированы в относительных сдвигах волн $\Delta z/\lambda=(z_{\min}-z_{\min K3})/\lambda$ к генератору и к нагрузке (за точку отсчета берется координата узла $z_{\min K3}$ при короткозамыкающей нагрузке).

Значения нормированных реактивных сопротивлений в правой части круговой диаграммы имеют индуктивный, а в левой части – емкостной характер. На круговой диаграмме может быть укреплена прозрачная линейка, вращающаяся относительно центра диаграммы. На линейке могут быть нанесены деления, соответствующие значениям $K_{БВ}$, $|\Gamma|$ или $K_{СВ}$.

Исходными данными для определения нормированного значения сопротивления нагрузки являются величина нормированного сдвига $\Delta z/\lambda$, значение $K_{БВ}$ ($K_{СВ}$ или $|\Gamma_H|$). Сначала определяется величина нормированного сдвига $\Delta z/\lambda=(z_{\min}-z_{\min K3})/\lambda$, причем за положительное направление принимается такое, при котором координата минимума амплитудного распределения z_{\min} ближе к генератору, чем координата узла при коротком замыкании.

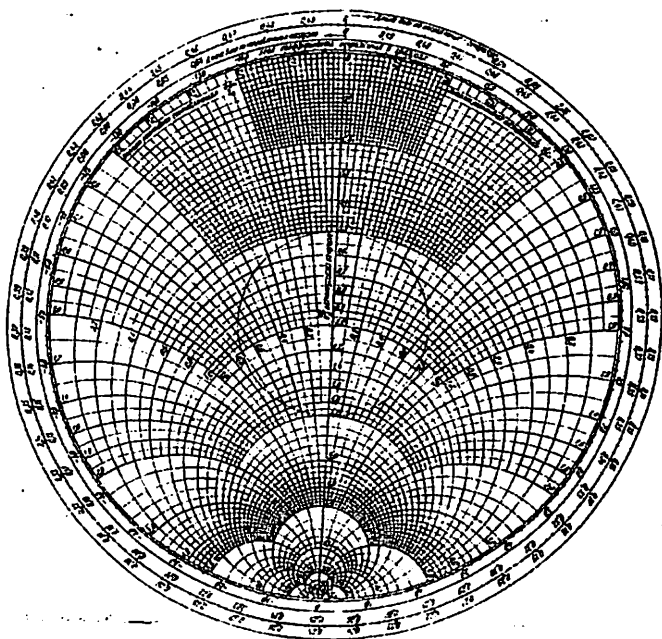


Рис. 2.9. Круговая диаграмма полных сопротивлений

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка позволяет определить вид амплитудного распределения поля вдоль волновода, длину волны в волноводе и величину комплексного сопротивления нагрузки. Структурная схема установки приведена на рис.3.1.

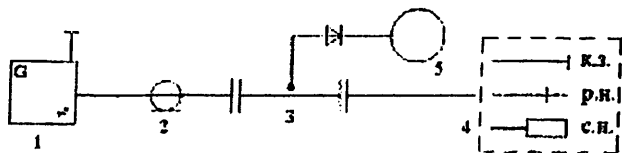


Рис.3.1. Структурная схема лабораторной установки (1 – генератор; 2 – соединительный отрезок коаксиального (либо прямоугольного) волновода; 3 – измерительная линия; 4 – набор волноводных нагрузок (короткозамыкающей, реактивной и согласованной); 5 – индикаторный прибор)

Виртуальный макет, созданный на основе рассмотренной установки, моделирует ход выполнения реальной лабораторной работы и обеспечивает определение амплитудного распределения вдоль направляющей системы при различных видах нагрузки: короткозамыкающей, произвольной и реактивной.

4. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

4.1. Предварительно необходимо ознакомиться с устройством и принципом действия реальной измерительной линии, а также устройством различных волноводных нагрузок.

4.2. Ввести в программу свою фамилию, имя и номер группы.

4.3. Получить от преподавателя задание на исследования.

4.4. Перейти к исследованиям путем нажатия на кнопку «Начать измерения».

4.5. В окне программы задать тип нагрузки, частоту генерации сигнала и его амплитуду.

4.7. С помощью перемещающегося ползунка получить амплитудное распределение вдоль линии. Зарисовать его.

4.8. Определить значения КБВ, КСВ и модуля коэффициента отражения.

4.9. Повторить исследования и расчеты для произвольной (согласованной) и реактивной нагрузок.

4.10. Определить величину смещения минимумов (или максимумов) распределений при произвольной (согласованной) и реактивной нагрузках относительно распределения при короткозамыкающей нагрузке.

4.11. С помощью диаграммы Вольперта определить величины комплексных сопротивлений нагрузок.

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Для того, чтобы приступить к выполнению работы с помощью компьютерной модели необходимо запустить исполняемый файл и убедиться, что на экране монитора появилось начальное окно программы, где производится регистрация студента (рис.5.1).

The image shows a registration window titled "Введите ваши данные...". At the top, there is a header for "УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ". Below the title bar, the text "Введите ваши данные..." is displayed. The form contains five input fields with labels and placeholder text: "Имя: <Имя>", "Фамилия: <Фамилия>", "Отчество: <Отчество>", "Группа: <Ваша группа>", and "Факультет: <Факультет>". At the bottom center, there is a button labeled "Готово!".

Рис. 5.1. Регистрационное окно виртуальной лабораторной работы

5.2. В этом окне нужно ввести личные данные студента (фамилию, имя, отчество, номер группы, название факультета). После успешной регистрации станет возможным дальнейшее продолжение работы и на экране монитора появится следующее окно программы (рис.5.2), где имеется возможность ознакомиться с краткими теоретическими сведениями, или сразу приступить к выполнению измерений.

Лабораторная работа:
"Исследование режимов работы
прямоугольного и коаксиального волноводов"

По курсу:

"Электродинамика и Распространение Радиоволн"

Перед тем, как приступить к выполнению
лабораторной работы необходимо получить
задание от преподавателя.

Теоретические сведения
Методические указания
Начать измерения
Статистика выполнений
Выход

Рис. 5.2. Окно выбора режима виртуальной лабораторной работы

5.3. При нажатии на кнопку «Начать измерения» открывается главное окно программы (рис.5.2), где изображена структурная схема реальной измерительной установки, имитационный стрелочный измерительный прибор (его значения дублируются цифровыми показаниями), блок задания данных (частота генерации сигнала и его амплитуда), графический блок (он имитирует перемещение детекторной головки вдоль измерительной линии), таблица, куда заносятся показания, полученные в ходе исследований, блок расчета значений КБВ, КСВ и модуля коэффициента отражения.

5.4. Первое исследование проводится для случая имитации подключения к выходу измерительной линии короткозамыкающей нагрузки (рис. 5.3).

По заданию преподавателя необходимо задать частоту сигнала и его амплитуду. С помощью ползунка перемещать виртуальную детекторную головку вдоль измерительной линии, получая амплитудное распределение и занося контрольные точки в таблицу данных путем нажатия на кнопку «Занести в таблицу».

Программа позволяет зафиксировать три максимума и три минимума. Кроме того, имеется возможность фиксации контрольных точек путем нажатия в процессе измерений кнопки «Пометить», или удаления ранее полученных распределений путем нажатия кнопки «Очистить»

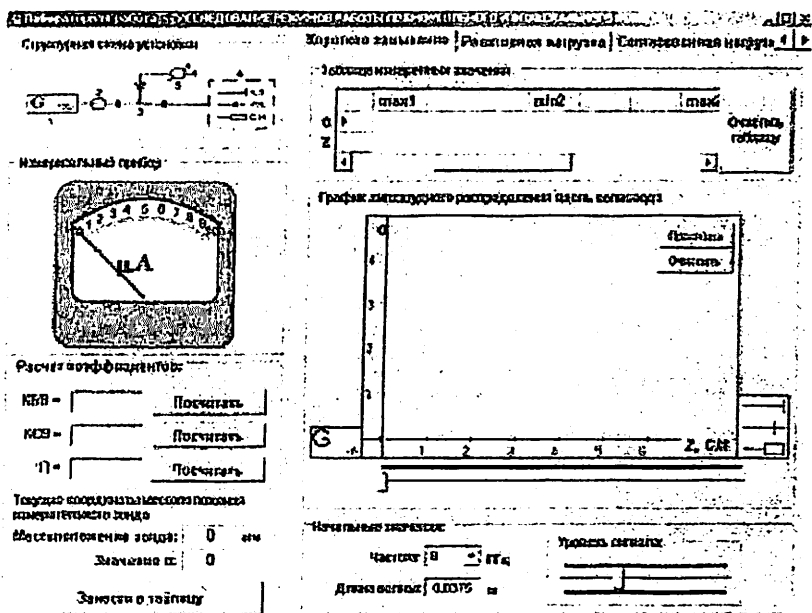


Рис. 5.3. Окно исследования режима при коротком замыкании

После снятия амплитудного распределения необходимо посчитать значения КВВ, КСВ и модуля коэффициента отражения.

5.5. Следующим этапом исследований является нахождение амплитудного распределения при реактивной нагрузке. Для этого необходимо активировать закладку «Реактивная нагрузка». В результате произойдет переход на следующее окно программы (рис.5.4).

Здесь также необходимо с помощью ползунка перемещать виртуальную детекторную головку вдоль измерительной линии, получая амплитудное распределение и занося контрольные точки в таблицу данных путем нажатия на кнопку «Занести в таблицу».

После этого необходимо вновь определить значения КБВ, КСВ и модуля коэффициента отражения.

5.6. Следующим этапом исследований является нахождение амплитудного распределения при согласованной нагрузке. Для этого необходимо активировать закладку «Согласованная нагрузка». В результате произойдет переход на следующее окно программы (рис.5.5).

На этом этапе необходимо повторить все то, что было сделано в предыдущем пункте.

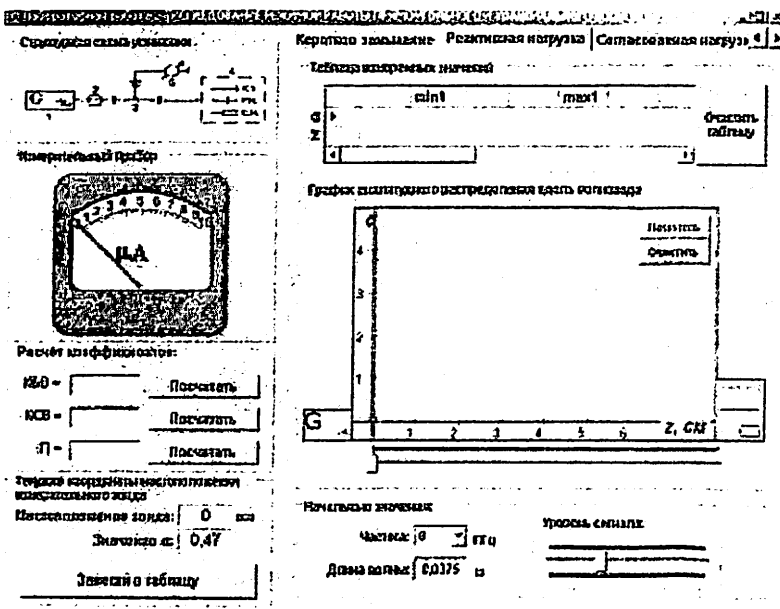


Рис. 5.4. Окно исследования режима при реактивной нагрузке

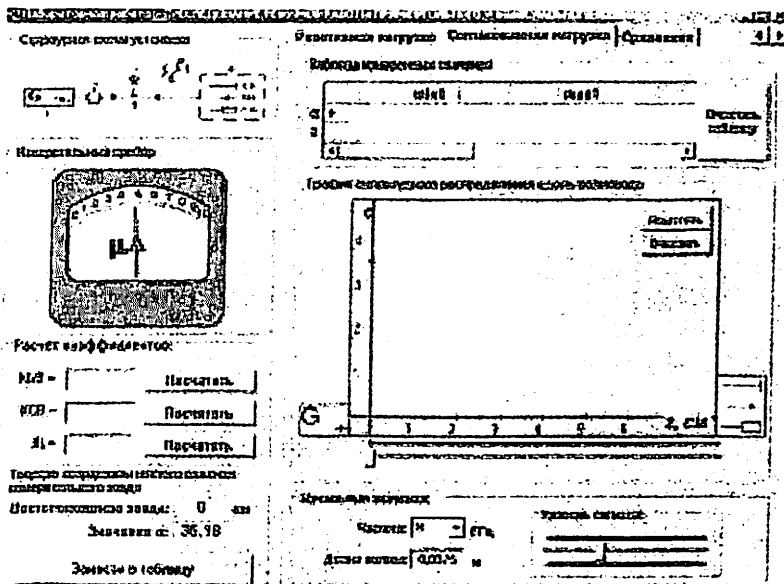


Рис. 5.5. Окно исследования режима при согласованной нагрузке

5.7. Заключительным этапом исследований является сравнение координат контрольной точки при коротком замыкании, реактивной нагрузке и согласованной нагрузке. Для этого необходимо активировать закладку «Сравнение». В результате произойдет переход на последнее окно программы (рис.5.6).

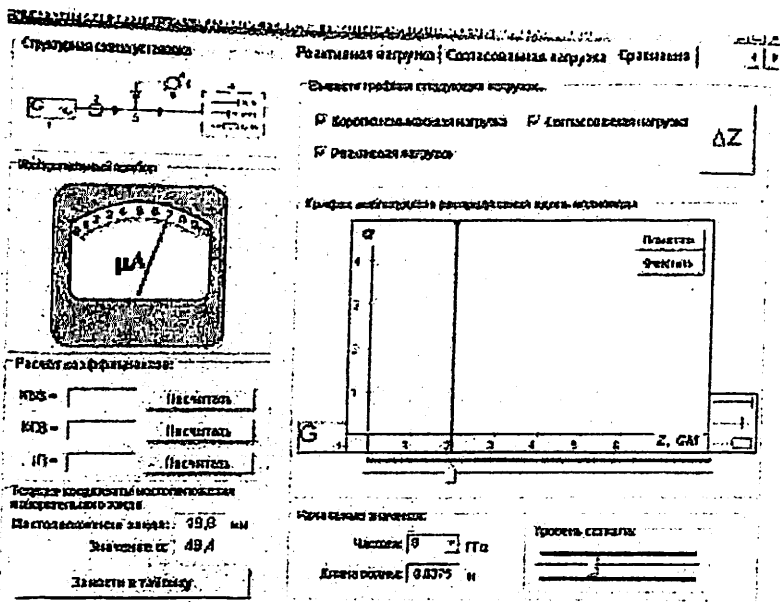


Рис. 5.6. Окно определения фазового сдвига между контрольными точками

В этом окне отображаются сразу все распределения, полученные на предыдущих этапах, и активируется кнопка ΔZ . При ее активации программой выдаются значения смещения экстремумов для соответствующих режимов, которые необходимы для определения величин комплексных сопротивлений нагрузок с помощью диаграммы Вольперта.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 6.1. Структурную схему виртуальной лабораторной установки.
- 6.2. Значения рабочей частоты f_0 и длины волны λ_0
- 6.3. Амплитудные распределения поля в волноводе в виде таблиц и графиков для всех видов нагрузок.
- 6.4. Результаты определения комплексного сопротивления нагрузки.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Нарисуйте коаксиальную линию, прямоугольный и круглый волноводы ([1] §13.1, [2] §3.1, §4.1, §5.1, [3] §19.1, §19.11, §19.19).

7.2. По какому признаку классифицируются направляемые электромагнитные волны? Какие направляемые электромагнитные волны называются поперечными (Т), какие – электрическими (Е), а какие – магнитными (Н)? ([1] §13.2, [2] §2.7, [3] §17.3).

7.3. Какие классы направляемых электромагнитных волн могут существовать в коаксиальной линии, а какие – в волноводах? ([1] §13.5, [3] §17.3).

7.4. Что называется длиной волны? ([1] §13.4, [3] §18.2).

7.5. Что называется критической частотой (или критической длиной волны) направляющей системы? При каком соотношении рабочей частоты (рабочей длины волны) и критической частоты (критической длины волны) волна определённого типа будет распространяться по волноводу? ([1] §13.4, [2] §2.4, §3.7, [3] §18.2).

7.6. Напишите выражение для длины волны в волноводe ([1] §13.4, [3] §18.2).

7.7. Какая волна называется основной (низшей) волной направляющей системы? ([1] §14.1, §14.2, §14.4, [2] §2.7, [3] §18.8)

7.8. Нарисуйте график распределения напряжённости электрического поля вдоль прямоугольного (коаксиального) волновода при следующих видах нагрузок: короткое замыкание; согласованная нагрузка; комплексная нагрузка ([1] §16.1, §16.2, [2] §7.1, [3] §21.2).

7.9. Объясните принцип действия измерительной линии ([2] §8.7).

7.10. Объясните смысл коэффициентов $K_{БВ}$, $K_{СВ}$. Как связаны между собой модуль коэффициента отражения, $K_{БВ}$, $K_{СВ}$? ([2] §7.1, [3] §21.2).

7.11. Разъясните понятие «критическая длина волны» волновода ([1] §13.4, [3] §18.2).

7.12. Каково условие одноволнового режима в прямоугольном (коаксиальном) волноводe? ([1] §14.4, §15.7, [2] §4.4).

7.13. В чём преимущества одноволнового режима? ([1] §14.4, §15.7, [2] §4.4).

7.14. Разъясните понятие «основная волна» волновода ([1] §14.1, §14.2, §14.4, [2] §2.7, [3] §18.8).

7.15. Нарисуйте структуру поля основной волны в прямоугольном волноводe ([1] §14.1, [2] §3.5, [3] §19.6).

Методическое указание к виртуальной лабораторной работе «Исследование режимов работы коаксиального и прямоугольного волноводов» по дисциплине “Электромагнитные поля и волны”.

Рассмотрено на заседании кафедры АФУ (протокол №18 от 28.01.2008) и рекомендовано к печати.

Рассмотрено на Научно-методическом Совете ТУИТ (протокол №9 от 22.05.2008) и рекомендовано к печати.

Ответственный редактор доц. Ликонцев Д.Н.

Составители: доц. Губенко В.А.

доц. Ликонцев Д.Н.

Редакционно-корректорная комиссия:

редактор доц. Абдуазизов А.А.

корректор асс. Павлова С.И.

10.01.2008
ТУИТ

Формат 60x84 1/16

Заказ № - 511. Тираж - 50

Отпечатано в Издательско полиграфическом центре «ALOQASHI» при ТУИТ
Ташкент ул. Амир Темура, 108