

Федеральное агентство связи

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Кафедра электродинамики и антенн

МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА
к лабораторному практикуму по курсу

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ВОЛНЫ

Часть II

Авторы-составители:
к.т.н., доцент Маслов М.Ю.
ассистент Скачков Д.В.

Самара, 2011

УДК 538.3

Маслов Михаил Юрьевич, Скачков Дмитрий Владимирович.

Методическая разработка к лабораторному практикуму по курсу «Электромагнитные поля и волны». Часть II. Самара, 2011.

20 стр. с иллюстрациями.

В методической разработке содержатся указания к выполнению лабораторных работ по изучению методов и средств измерения на СВЧ, исследованию проходного объемного резонатора, направленного ответвителя и излучателя электромагнитных волн. Лабораторные работы выполняются на лабораторных стендах.

Рецензент – кафедра «Электродинамики и Антенн» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики

Иллюстрации – асс. Скачков Д.В.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа №1. Методы и средства измерения на СВЧ.	5
Лабораторная работа №2. Исследование проходного объемного резонатора.....	7
Лабораторная работа №3. Исследование волноводного направленного ответвителя	10
Лабораторная работа №4. Исследование излучателя электромагнитных волн.....	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	14
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	15
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	19

ВВЕДЕНИЕ

В методической разработке содержатся указания к выполнению лабораторных работ по изучению методов и средств измерения на СВЧ, исследованию проходного объемного резонатора, направленного ответвителя и излучателя электромагнитных волн. Лабораторные работы выполняются на лабораторных стендах.

Перечень лабораторных работ, порядок их выполнения и объем отводимого времени устанавливается графиком лабораторного практикума, составляемым отдельно для каждой специальности.

В методической разработке использованы материалы сборника методических разработок по электродинамическим дисциплинам, изданных в 1987 и 1997 годах коллективом авторов в составе: проф. Витевский В.Б., проф. Кубанов В.П., проф. Маслов О.Н., проф. Павловская Э.А.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. «МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ НА СВЧ»

1.1. Цель работы

Изучение методов и средств измерения на СВЧ, а также приобретение навыков в настройке приборов и проведении измерений на сверхвысоких частотах.

1.2. Литература

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. «Техническая электродинамика» – М.: «Радио и связь», 2000. – 536 с.

2. Семенов Н.А., «Техническая электродинамика» – М.: «Связь», 1973. – 480 с.

1.3. Оборудование

СВЧ генератор Г4-83, измерительная волноводная линия Р1-4 или Р1-28, измерительный усилитель низкочастотный У4-28.

1.4. Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите методику работы с приборами, используемыми в лабораторной работе (Приложение 2).

2. Изучите методику измерения КСВ и КБВ (Приложение 3) а также ознакомьтесь с основными условными обозначениями, используемыми в структурных схемах лабораторных установок (Приложение 1).

3. Измерьте КСВ и КБВ для трех видов нагрузок: короткого замыкания, согласованной (поглощающей) нагрузки, произвольной нагрузки. Полученные результаты сведите в таблицу 1.1.

Таблица 1.1.

Тип нагрузки	α_{\max}	α_{\min}	КСВ	КБВ
1.				
2.				
3.				

4. Изучите методику измерения вносимого ослабления в случае малых и больших величин ослабления (Приложение 4)

5. Измерьте ослабление для трех устройств (выдаются преподавателем). Полученные результаты сведите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2.

Устройство	Малое ослабление		Большое ослабление		А, дБ
	α_0 , дел	α_1 , дел	A_0 , дБ	A_1 , дБ	
1.					
2.					
3.					

1.5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблицы результатов экспериментов.
3. Структурные схемы лабораторных установок, используемые в лабораторной работе.
4. Используемые формулы и расчеты.
5. Выводы по проделанной работе.

1.6. Контрольные вопросы

1. Какими основными параметрами характеризуют генератор сигналов, измерительную волноводную линию и измерительный усилитель?
2. Какие методы измерения ослаблений применяются в данной лабораторной работе? Кратко охарактеризуйте каждый из них.
3. С помощью каких схем измеряют малое и большое ослабление?
4. С помощью каких схем измеряют КСВ и КБВ устройства?
5. Как определить ослабление в дБ при известной величине ослабления в относительных единицах и наоборот?
6. Изобразите график распределения амплитуд напряженности электрического поля в режиме бегущей волны.
7. Изобразите график распределения амплитуд напряженности электрического поля в режиме стоячей волны.
8. Изобразите график распределения амплитуд напряженности электрического поля в режиме короткого замыкания на конце линии.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОДНОГО ОБЪЕМНОГО РЕЗОНАТОРА»

2.1. Цель работы

Исследование резонансных свойств проходного объемного резонатора и изучение методики измерения нагруженной добротности.

2.2. Литература

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. «Техническая электродинамика» – М.: «Радио и связь», 2000. – 536 с.

2. Лебедев И.В. «Техника и приборы СВЧ», Т.1 - М.: «Высшая школа», 1970 г. – 439 с.

2.3. Оборудование

СВЧ генератор Г4-83, измерительная волноводная линия Р1-4 или Р1-28, измерительный усилитель низкочастотный У4-28.

2.4. Порядок выполнения работы

1. Соберите установку для измерения КСВ (Приложение 3), в качестве исследуемого устройства используйте резонатор.

2. Установить на генераторе расчетную резонансную частоту f_0 (указана на резонаторе). Измерить КСВ на этой частоте. Если измеренный КСВ $> 1,15$, произведите уточнение резонансной частоты. Для этого незначительно изменяя частоту генератора, найдите такое ее значение, при котором КСВ $< 1,15$.

3. Определите оптимальный частотный шаг. Выберите начальный шаг $\Delta f = 20 \text{ МГц}$ и произведите измерение КСВ на частоте $f_0 + \Delta f$. Если величина КСВ изменилась более чем на 0,2, уменьшите шаг Δf в 2 раза и повторите измерение КСВ на частоте $f_0 + \Delta f$.

4. Снимите частотную зависимость КСВ резонатора в окрестностях резонансной частоты. Заполните таблицу 2.1. Крайние измерения должны соответствовать частотам, при которых КСВ > 6 .

Таблица 2.1.

№	$f, \text{ МГц}$	α_{\max}	α_{\min}	КСВ
	...			
	$f_0 - n\Delta f$			
	f_0			
	$f_0 + n\Delta f$			
	...			

5. По данным таблицы постройте график зависимости КСВ от частоты и определите ширину резонансной кривой $2\Delta f_{0,5}$. Для этого проведите горизонталь на уровне КСВ = 5,82 и опустите перпендикуляры на ось частоты из пересечения с резонансной кривой (рис.2.1.). Разность частот f_1 и f_2 даст искомую величину $2\Delta f_{0,5}$.

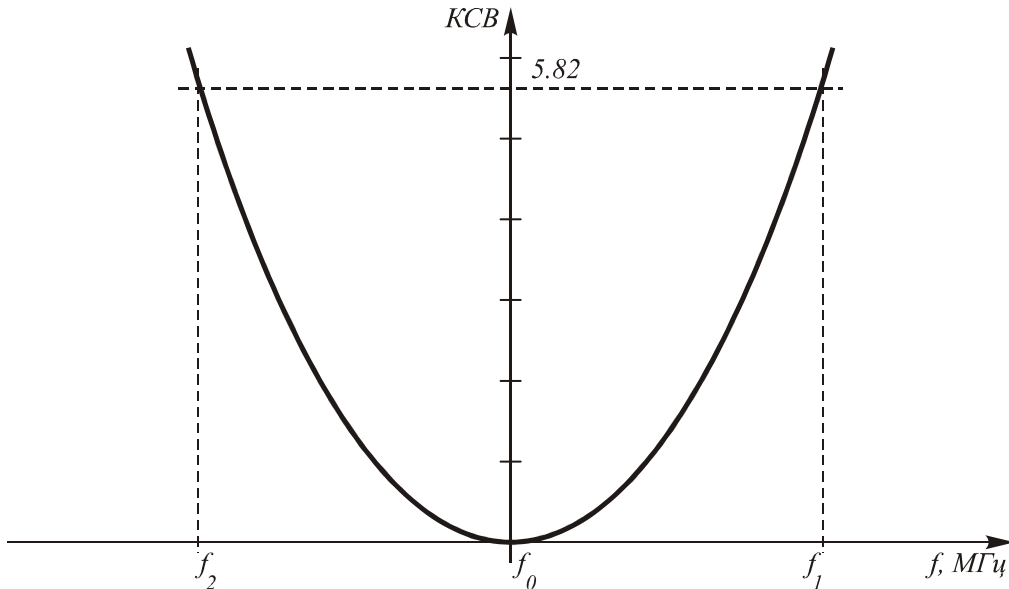


Рис.2.1. График зависимости КСВ от частоты.

6. Рассчитайте экспериментально полученную нагруженную добротность резонатора.

Примечание: методика экспериментального определения нагруженной добротности проходного резонатора описана в [1], § 11.3 – «Проходной резонатор».

7. Рассчитайте нагруженную добротность резонатора аналитически, воспользовавшись следующими формулами:

$$Q_H = \frac{|\Gamma|}{1 - |\Gamma|^2} \cdot \frac{\pi p}{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2};$$

$$|\Gamma| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{\Lambda_0}\right)^2 \cdot \frac{4}{(k-1)^2} \cdot A^2}};$$

$$A = \ln \left(\frac{2(k+1)\pi r}{a} - \frac{1,9(k+1)r}{a} - \frac{1 + 2\left(\frac{a}{\lambda_0}\right)^2}{4(k+1)^2} \right);$$

$$\Lambda_0 = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}}; \lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{l}\right)^2}};$$

2.5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание и схема эксперимента.
3. Таблица результатов эксперимента.
4. График зависимости КСВ от частоты
5. Расчеты нагруженных добротностей резонатора.
6. Выводы по проделанной работе.

2.6. Контрольные вопросы

1. Понятие объемного резонатора. Общие свойства резонаторов.
2. Понятие проходного резонатора.
3. Условия существования колебаний в проходном прямоугольном резонаторе.
4. Собственные колебания объемного резонатора и их связь с собственными волнами линии передачи. Типы колебаний. Основной тип колебаний.
5. Потери в резонаторе. Виды потерь и добротность резонатора
6. Проходной прямоугольный резонатор. Типы собственных колебаний, собственные частоты прямоугольного резонатора. Вырожденные колебания.
7. Классификация типов колебаний проходного прямоугольного резонатора. Основной тип колебаний.
8. Нагруженная добротность резонатора и метод ее экспериментального определения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 «ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОГО НАПРАВЛЕННОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ»

3.1. Цель работы

Исследование основные параметры направленного ответвителя: переходного ослабления, степени согласования.

3.2. Литература

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. «Техническая электродинамика» – М.: «Радио и связь», 2000. – 536 с.

2. Лебедев И.В. «Техника и приборы СВЧ», Т.1 - М.: «Высшая школа», 1970 г. – 439 с.

3.3. Оборудование

СВЧ генератор Г4-83, измерительная волноводная линия Р1-4 или Р1-28, измерительный усилитель низкочастотный У4-28.

3.4. Порядок выполнения работы

1. Собрать установку для измерения ослабления между 1 и 3 плечами волноводного ответвителя, закрыв 4 плечо согласованной нагрузкой.

2. Измерить ослабление между 1 и 3 плечами волноводного ответвителя.

3. Собрать установку для измерения ослабления между 1 и 4 плечами волноводного ответвителя, закрыв 3 плечо согласованной нагрузкой.

4. Измерить ослабление между 1 и 4 плечами волноводного ответвителя.

5. Измерить КСВ и КБВ направленного волноводного ответвителя со стороны плеча 1, 3 и 4.

Примечание: Рекомендованное графическое обозначение волноводного направленного ответвителя представлено на рис.3.1. Схемы экспериментов должны содержать это изображение в качестве исследуемого устройства.

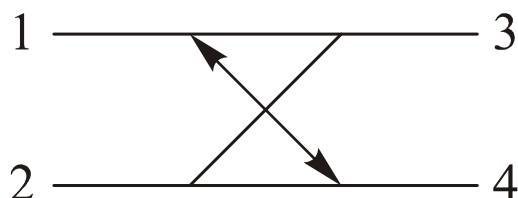


Рис.3.1. Рекомендуемое условное графическое обозначение волноводного направленного ответвителя.

3.5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание и схемы каждого из измерений.
3. Таблица результатов эксперимента.
4. Расчетные формулы параметров направленного ответвителя.
5. Выводы по проделанной работе.

3.6. Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия направленного ответвителя на прямоугольном волноводе..
2. Основные характеристики направленного ответвителя.
3. Применение направленных ответвителей.
4. Направление движения прямой и обратной волн направленного ответвителя.
5. Элементы связи в направленном ответвителе. Отверстия связи, щели связи.
6. Направленные ответвители с полной связью.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. «ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН»

4.1. Цель работы

Исследование направленных свойств излучателя электромагнитных волн и изучение способов представления диаграммы направленности.

4.2. Литература

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. «Техническая электродинамика» – М.: «Радио и связь», 2000. – 536 с.
2. Лебедев И.В. «Техника и приборы СВЧ», Т.1 - М.: «Высшая школа», 1970 г. – 439 с.

4.3. Оборудование

СВЧ генератор Г4-83, измерительная волноводная линия Р1-4 или Р1-28, измерительный усилитель низкочастотный У4-28.

4.4. Порядок выполнения работы

1. Подготовить приборы к работе, установить на генераторе частоту, заданную преподавателем.

Снять характеристику направленности щелевого излучателя методом непосредственного отсчета.

2. Установить взаимное положение приемной и передающей антенн стенда в $\varphi = 0^\circ$ (антенны смотрят друг на друга). Отрегулировать вносимое аттенуатором ослабление таким образом, чтобы стрелка индикатора измерительного усилителя находилась в конце шкалы (8...10). Записать показания индикаторного прибора α_0 .

3. Вращая передающую антенну сначала влево, затем вправо с шагом по углу $\Delta\varphi = 5^\circ$, снять зависимость показаний измерительного усилителя от угла поворота $\alpha(\varphi)$. Заполнить таблицу 4.1.

Таблица 4.1.

№	φ , град.	$\alpha(\varphi)$	$F(\varphi) = 20 \lg(\alpha(\varphi)/\alpha_0)$, дБ

4. Построить графики зависимости $F(\varphi)$ в декартовой и цилиндрической системах координат.

Снять характеристику направленности щелевого излучателя методом калиброванного аттенуатора.

5. Установить взаимное положение приемной и передающей антенн стенда в $\varphi = 0^\circ$ (антенны смотрят друг на друга). Отрегулировать вносимое аттенуатором ослабление таким образом, чтобы стрелка индикатора измерительного усилителя находилась в конце шкалы (8...10). Записать

показания индикаторного прибора α_0 и ослабление, вносимое аттенюатором A_0 .

6. Вращая передающую антенну сначала влево, затем вправо с шагом по углу $\Delta\varphi = 5^\circ$, регулировать вносимое аттенюатором ослабление таким образом, чтобы стрелка индикатора измерительного усилителя возвращалась в искомое положение α_0 и ослабление, вносимое аттенюатором $A(\varphi)$. Заполнить таблицу 4.2.

Таблица 4.2.

№	φ , град.	$A(\varphi)$	$F(\varphi) = A(\varphi) - A_0$, дБ

7. Построить графики зависимости $F(\varphi)$ в декартовой и цилиндрической системах координат.

4.5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание и схема эксперимента.
3. Таблица результатов эксперимента.
4. Графики зависимости $F(\varphi)$ в декартовой и цилиндрической системах координат, снятые методом непосредственного отсчета и калиброванного аттенюатора
5. Выводы по проделанной работе.

4.6. Контрольные вопросы

1. Дайте определение элементарного электрического излучателя и элементарного магнитного излучателя.
2. Что называется элементом Гюйгенса?
3. Определение и особенности диполя Герца.
4. Диаграммы направленности элементарного электрического излучателя, элементарного магнитного излучателя, элемента Гюйгенса..
5. Что такое нормированная характеристика направленности.
6. Щелевой вибратор, принцип работы, диаграмма направленности.
7. Снятие характеристики направленности методом непосредственного отсчета.
8. Снятие характеристики направленности методом калиброванного аттенюатора.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ
ОБОЗНАЧЕНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ 2.734-68

ВОЛНОВОДЫ	
	общее обозначение
	волновод прямоугольный
	волновод круглый
	волновод коаксиальный
ВОЛНОВОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ПЕРЕХОДЫ	
	контактное симметричное соединение волноводов
	дрессельное соединение волноводов
	переход с одного типа на другой (общее обозначение)
	переход с круглого на прямоугольный волновод
	переход с коаксиального на прямоугольный волновод
	переход с коаксиального на круглый волновод
ЭЛЕМЕНТЫ ВОЛНОВОДНОГО ТРАКТА	
	аттенюатор постоянный
	аттенюатор переменный
	нагрузка поглощающая
	нагрузка короткозамкнутая
	короткозамыкатель подвижный
	резонатор проходной
	вентиль волноводный
	генератор СВЧ
	измерительная линия

Генератор сигналов высокочастотный Г4-83

Генераторы сигналов высокочастотные Г4-83 (Рис.П.1.) выполняют функции источников СВЧ сигнала, калиброванного по частоте, уровню выходной мощности и по параметрам импульсной модуляции, и предназначаются для различных радиотехнических измерений в лабораторных условиях.

Приборы обеспечивают как режим немодулированных колебаний, так и внутреннюю амплитудно-импульсную модуляцию импульсами типа меандр с частотой 1 кГц. Диапазон генерируемых частот 7,5...10,5 ГГц.

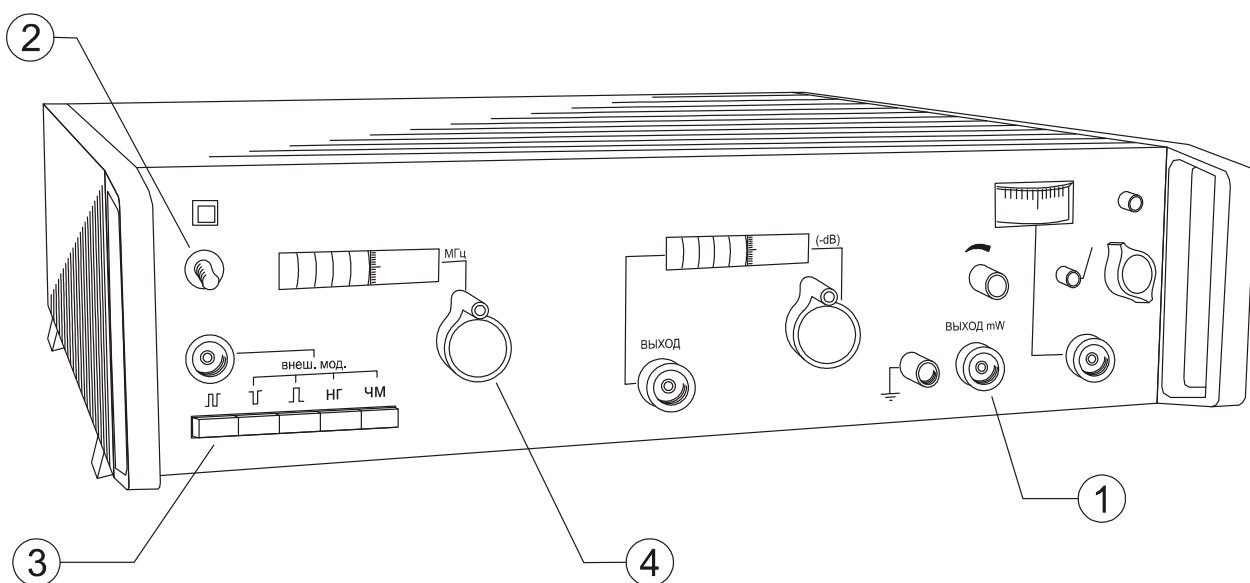


Рис.П.1. Генератор сигналов высокочастотный Г4-83.

Подготовка к работе генератора сигналов высокочастотного Г4-83.

1. Соедините кабелем гнездо выход (1) с волноводной частью схемы.
2. Включите генератор сигналов, тумблером (2). После включения генератора сигналов его необходимо прогреть не менее 5 мин.

Примечание: не включайте генератор при отсутствии нагрузки на выходе. Для избегания облучения, перед включением генератора, проверьте плотность волноводных соединений и отсутствие открытых концов волновода в собранной схеме.

3. Установите переключатель рода работы (3) в положение $\square\square$, соответствующее внутренней амплитудно-импульсной модуляции импульсами типа меандр с частотой 1 кГц.
4. Установите требуемую частоту, соответствующей ручкой (4).

Измерительная волноводная линия Р1-28

Измерительная линия Р1-28 (Рис.П.2.) представляет собой отрезок волновода, имеющий продольную щель посередине широкой стенки волновода. Через щель во внутреннюю полость волновода проходит тонкий металлический зонд, укрепленный на каретке, которая перемещается вдоль линии. Зонд связан с настраиваемой измерительной головкой. В измерительную головку включен кристаллический детектор.

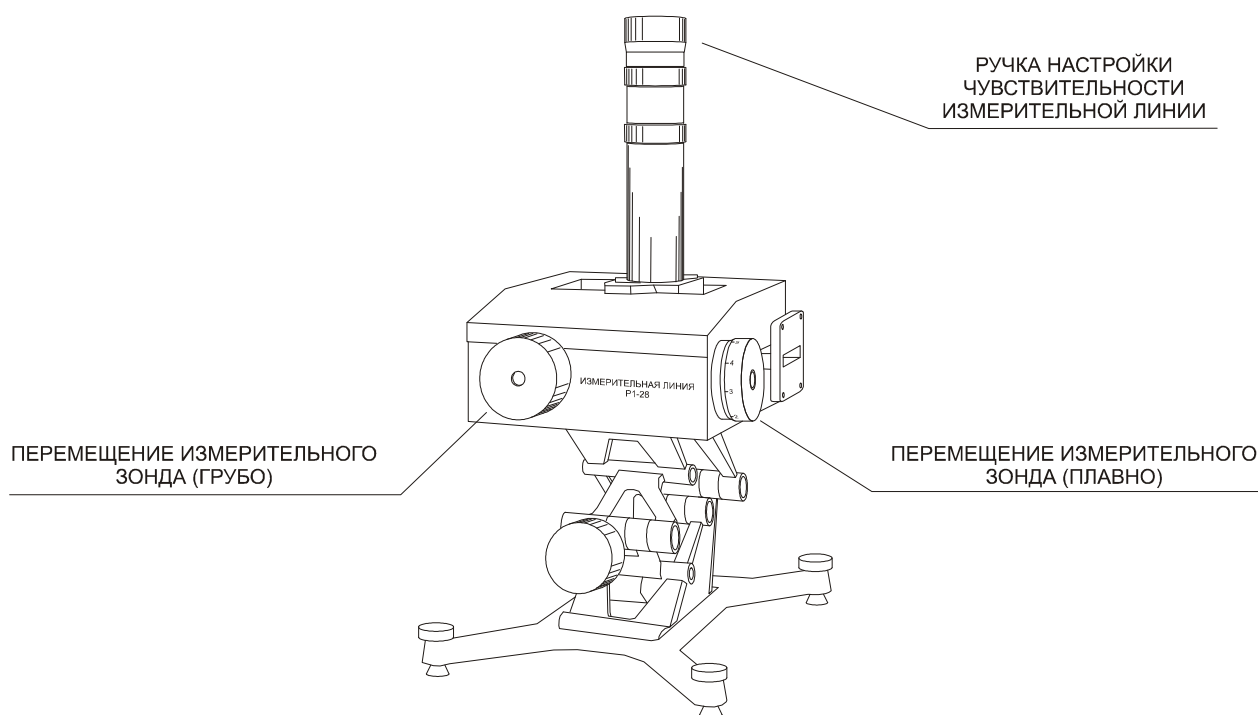


Рис.П.2. Измерительная линия Р1-28.

При тщательной настройке измерительной головки повышается чувствительность линии и уменьшаются ошибки, вносимые в измерения. Перемещение зонда вдоль линии позволяет определить положение максимумов и минимумов напряженности в линии и их относительные величины.

Измерительный усилитель У4-28

Измерительный усилитель У4-28 (Рис.П.3.) предназначен для усиления и измерения слабых сигналов сравнительно низких частот и может быть использован совместно с измерительными линиями для измерения коэффициента стоячей волны, полного сопротивления нагрузки и т.п.

Прибор обеспечивает усиление слабых сигналов на 10...100 дБ, также имеет разъем для подключения внешнего фильтра.

Подготовка к работе измерительного усилителя У4-28.

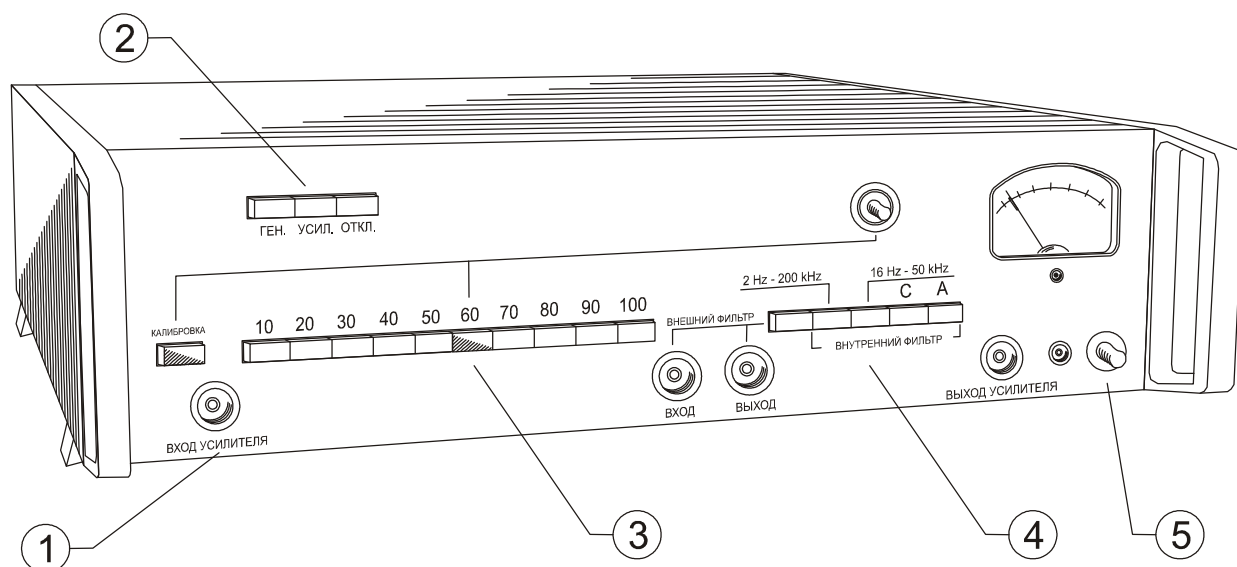


Рис.П.3. Измерительный усилитель У4-28.

1. Соедините коаксиальный выход измерительной линии со входом измерительного усилителя (1).

2. Включите режим усиления кнопкой «УСИЛ.» (2). Установите усиление 60 дБ (3).

Примечание: Если в процессе измерений стрелка индикаторного прибора не отклоняется на достаточную величину, следует выбрать усиление 70 дБ или 80 дБ, предварительно посоветовавшись с дежурным техником (инженером) или преподавателем.

3. Выберите внутреннюю фильтрацию по частоте «16Hz-50kHz» (4).

4. Включите питание прибора (5).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ КСВ И КБВ.

Коэффициент стоячей волны (КСВ) также как и коэффициент бегущей волны (КБВ) характеризуют степень согласования устройства с питающим фидером. В случае рассогласования часть энергии падающей волны отражается к передатчику, не попадая в устройство.

КСВ может принимать значения от 1 (полное согласование) до ∞ (полное рассогласование), КБВ в свою очередь может принимать значения $0 \dots 1$.

Для измерения КСВ и КБВ устройства требуется собрать установку в соответствии со схемой, представленной на рис.П.4. и выполнить следующие действия:

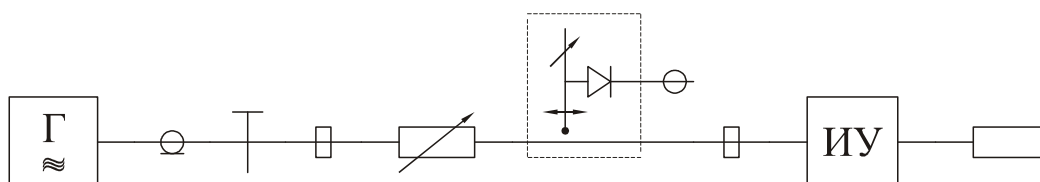


Рис.П.4. Схема установки для измерения КСВ и КБВ.

1. Установите зонд измерительной линии в пучность напряженности поля, регулируя вносимое аттенюатором ослабление таким образом, чтобы стрелка индикатора измерительного усилителя находилась в конце шкалы (8...10).

2. Зафиксируйте максимальное показание прибора α_{\max} .

3. Перемещая зонд вдоль измерительной линии, найдите точку минимума напряженности поля в линии и зафиксируйте минимальное показание прибора α_{\min} .

Примечание: Во время поиска минимума не изменяйте ослабление, вносимое аттенюатором в волноводный тракт.

4. Вычислите КСВ и КБВ по формулам:

$$КСВ = \sqrt{\frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}}}; \quad КБВ = \sqrt{\frac{\alpha_{\min}}{\alpha_{\max}}}; \quad КСВ = \frac{1}{КБВ}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ И БОЛЬШИХ ОСЛАБЛЕНИЙ.

Измерение ослабления, вносимого устройством в волноводный тракт, проходит в два этапа. На первом этапе собирается схема установки начального уровня (Рис.П.5.).

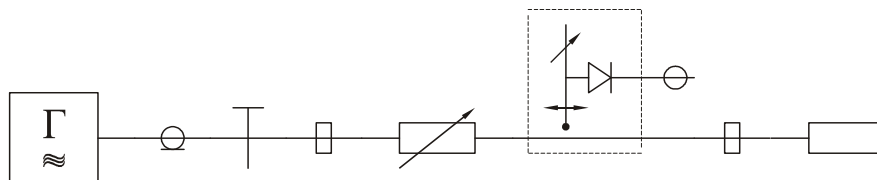


Рис.П.5. Схема установки начального уровня.

Благодаря наличию на выходе измерительной линии согласованной нагрузки, в ней устанавливается режим бегущей волны.

1. Регулируя вносимое аттенюатором ослабление таким образом, чтобы стрелка индикатора измерительного усилителя находилась в конце шкалы (8...10).

2. Запишите показания индикатора α_0 и ослабление, вносимое аттенюатором A_0 .

На втором этапе между аттенюатором и измерительной линией устанавливается исследуемое устройство (Рис.П.6), которое вносит дополнительное ослабление в волноводный тракт, тем самым влияя на показания индикаторного прибора.

В случае если исследуемое устройство имеет несколько входов и выходов, неиспользуемые входы и выходы закрываются согласованными нагрузками.

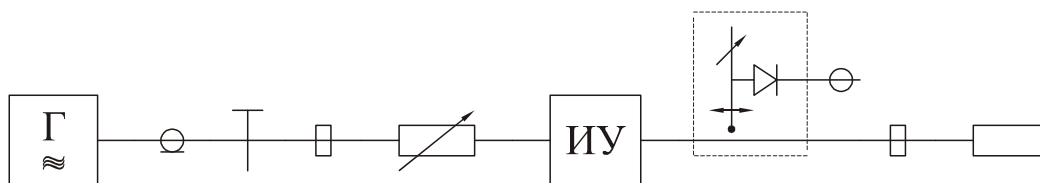


Рис.П.6. Схема измерения ослабления.

В случае, если показания индикаторного прибора упали не до нуля, ослабление считается малым, записывается показания индикаторного прибора α_1 и ослабление рассчитывается по формуле:

$$A = 10 \lg \frac{\alpha_0}{\alpha_1}, \text{ дБ}$$

В случае, если показания индикаторного прибора упали до нуля, ослабление считается большим. Для его измерения следует установить на индикаторном приборе искомое значение α_0 путем регулировки ослабления, вносимого аттенуатором.

После установки искомого значения напряженности поля в измерительной линии записывается новое значение ослабления аттенуатора A_1 и ослабление, вносимое устройством, рассчитывается по формуле:

$$A = A_0 - A_1, \text{ дБ}$$

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский
государственный университет телекоммуникаций и информатики»
443010, г. Самара, ул. Льва Толстого 23

Отпечатано на лазерном принтере в соответствии с материалами, представленными заказчиком

Отпечатано на кафедре Э и А Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики
443090, г. Самара, Московское шоссе 77.
т. (846) 228-00-50