

Кафедра 406 МАИ
Радиофизика, антенны и микроволновая техника
Учебная лаборатория «Антенны и микроволновая техника»

Лабораторная работа № 8.

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВЫХ
АНТЕНН**

Цель работы

1. Изучить принципы работы волноводно-щелевых антенн.
2. Исследовать влияние расстояния между щелями, их расположения на волноводе и взаимной ориентации на ДН.
3. Исследовать влияние рабочей частоты на направленные свойства волноводно-щелевых антенн и их входное сопротивление.

Теоретическая подготовка к работе

Для выполнения работы необходимо изучить материал по теории антенных решеток и волноводно-щелевых антенн, который имеется в лекциях по курсу «Устройства СВЧ и антенны». Этот же материал можно найти в [1,2]. В дополнение к указанному материалу необходимо изучить теоретический раздел описания этой работы, определение характеристик направленности антенн (Приложение А) и проверить свои знания с помощью контрольных вопросов, имеющих в конце описания работы.

Влияние расположения щелей и их ориентации на характеристики антенн.

Для того чтобы главный максимум ДН был направлен по нормали к линейке излучателей, возбуждение излучателей антенны должно быть синфазным. В волноводных антеннах синфазное возбуждение можно достичь, расположив щели на расстоянии длины волны в волноводе λ_v друг от друга. Однако при этом вследствие большого расстояния между излучателями появляются побочные максимумы излучения. Поэтому в волноводных антеннах щели, прорезанные в широкой стенке волновода, обычно располагают в шахматном порядке по отношению к средней линии этой стенки на расстоянии $\lambda_v/2$ друг от друга. Синфазность возбуждения таких щелей обеспечивается за счет изменения фазы волны на 180° при расстоянии между соседними щелями, равном $\lambda_v/2$, и наличием дополнительного сдвига фазы в 180° . Дополнительный сдвиг фазы создается благодаря тому, что поперечные поверхностные токи в волноводе имеют противоположное направление по обеим сторонам от средней линии широкой стенки волновода.

Синфазность возбуждения щелей, прорезанных в узкой стенке волновода на расстоянии $\lambda_B/2$, обеспечивается за счет наклона щелей в противоположные стороны. Вектор плотности поверхностного тока, текущего по узкой стенке прямоугольного волновода с волной H_{10} , относительно направления щели может быть разложен на две составляющие: нормальную I_n и тангенциальную I_t (рис. 8.1,*a*).

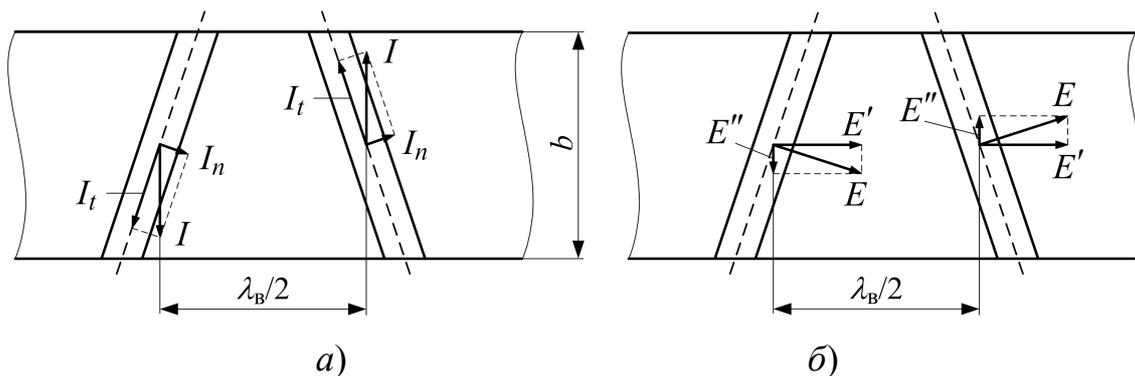


Рис. 8.1. Векторы плотности тока (*a*) и напряженности электрического поля (*б*) в местах расположения щелей на узкой стенке волновода

Нормальная составляющая плотности тока I_n возбуждает щель. Вектор E щели, в свою очередь, можно разложить на горизонтальную E' и вертикальную E'' составляющие (рис. 8.1,*б*).

При синфазном возбуждении щелей поля, созданные вертикальными составляющими E'' от разных щелей, взаимно компенсируются, а поля, созданные горизонтальными составляющими E' , складываются. Таким образом, для горизонтально расположенной многощелевой антенны с наклонными щелями в узкой стенке волновода поляризация вектора E горизонтальная.

Однако для направлений, отличных от нормали, полная компенсация вертикальных составляющих полей не происходит из-за возникновения в пространстве разности хода лучей от различных щелей. Этим объясняется наличие паразитной вертикальной поляризации. Максимальное значение вертикальной составляющей поля будет в направлении, для которого набег фазы за счет разности хода лучей от смежных щелей составит 180° .

Принцип действия сканирующей волноводно-щелевой антенны с «ножом».

В сканирующей антенне, исследуемой в данной работе, изменение положения луча осуществляется с помощью «ножа», вводимого в волновод через длинную щель, прорезанную в середине широкой стенки в продольном направлении.

Введение «ножа» превращает прямоугольный волновод в П-образный, у которого критическая длина волны $\lambda'_{кр}$ меняется в зависимости от глубины погружения «ножа». Изменение $\lambda'_{кр}$ приводит к изменению длины волны в волноводе $\lambda'_в$, что в конечном итоге приводит к изменению взаимной фазировки щелей. Изменение же взаимной фазировки излучателей приводит к изменению положения луча в пространстве. Поэтому, плавно меняя глубину погружения «ножа», можно осуществить плавное перемещение луча в пространстве.

Длина волны в волноводе с «ножом» определяется по обычной для волновода формуле

$$\lambda'_в = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda'_{кр}}\right)^2}}, \quad (8.1)$$

где λ – длина волны в свободном пространстве; $\lambda'_{кр}$ – критическая длина волны в П-образном волноводе.

Расчет $\lambda'_{кр}$ для П-образных волноводов достаточно сложен [4, с. 370–373], поэтому для данной работы $\lambda'_{кр}$ может быть определена по графику на рис. 8.2.

Расчетное задание и расчетные формулы

1. Расчитать и построить в прямоугольной системе координат ДН «по полю» многощелевой антенны, изображенной на рис. 8.3 (линейка № 3), в пределах главного максимума и двух боковых лепестков в обе стороны от нормали.

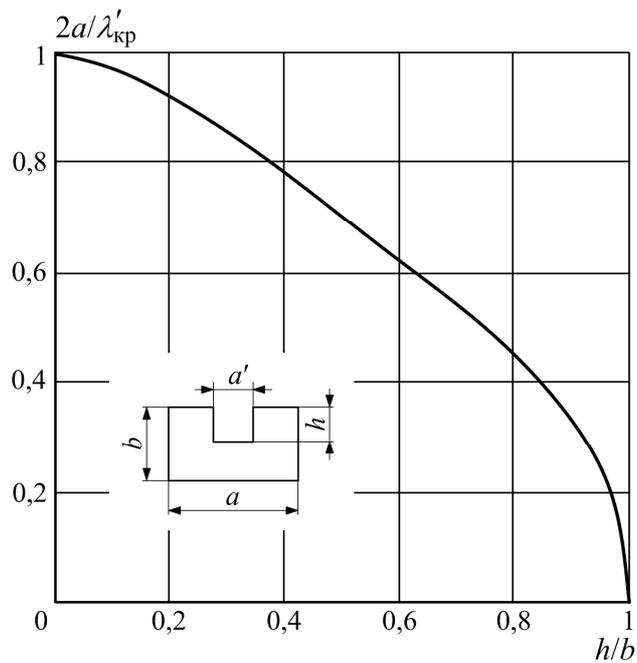


Рис. 8.2. Зависимость критической длины волны от глубины погружения «ножа»: $a=17$ мм; $b=10$ мм; $a'=5$ мм

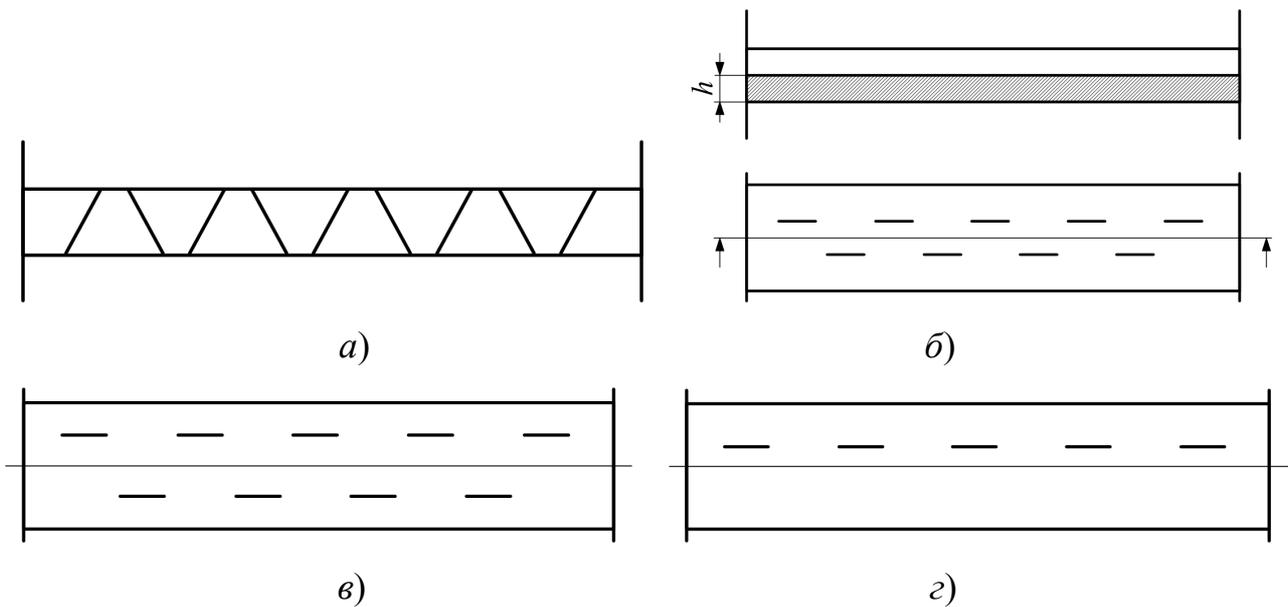


Рис. 8.3. Конструктивные схемы волноводно-щелевых линеек:
 а – линейка № 1; б – линейка № 2; в – линейка № 3; г – линейка № 4

Диаграмма направленности «по полю» в плоскости расположения щелей для антенны с равномерным амплитудным распределением рассчитывается по формуле

$$F(\theta) = \cos\theta \left[\frac{\sin\left(N \frac{180^\circ}{\lambda} d \sin\theta\right)}{N \sin\left(\frac{180^\circ}{\lambda} d \sin\theta\right)} \right], \quad (8.2)$$

где θ – угол, отсчитываемый от нормали к антенне; N – число щелей; d – расстояние между щелями.

Данные для расчета, указанные в табл. 8.1, задаются отдельно для каждой из шести бригад студентов в соответствии с выполняемым вариантом лабораторной работы.

Таблица 8.1. Исходные данные для теоретического расчета

Параметры антенны	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
λ , см	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3
N	7	8	9	10	11	12
d , см	2,1	2,1	2,23	2,23	2,36	2,36
Сектор расчета, град	0...45	0...45	0...40	0...40	0...30	0...30
Шаг расчета, град	2,5	2,5	2	2	1,5	1,5
h_1 , см	0	0	0	0	0	0
h_2 , см	0,35	0,3	0,35	0,3	0,35	0,3
h_3 , см	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6

2. Рассчитать положение максимума ДН сканирующей антенны для трех положений «ножа» (h_1 , h_2 и h_3 в табл. 8.1) в волноводе по формуле

$$\sin\theta_{\max} = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda'_{\text{кр}}}\right)^2} - 0,5 \frac{\lambda}{d}, \quad (8.3)$$

где $\lambda'_{\text{кр}}$ – критическая длина волны П-образного волновода (определяется из графика на рис. 8.2 в зависимости от заданной глубины погружения «ножа» h);

θ_{\max} – угол между направлением главного максимума ДН и нормалью к антенне.

По результатам расчета построить изменения положения луча в зависимости от глубины погружения «ножа».

Экспериментальная часть

Описание лабораторной установки

Электрическая схема лабораторной установки представлена на рис. 8.4, а внешний вид этой установки – на рис. 8.5. В установке исследуемые волноводно-щелевые антенны работают в режиме приема. В качестве передающей антенны используется стандартный пирамидальный рупор (см. Приложение Б) трехсантиметрового диапазона, к которому высокочастотная энергия подводится от генератора через измерительную линию и коаксиальный кабель. Рупор укреплен на стене.

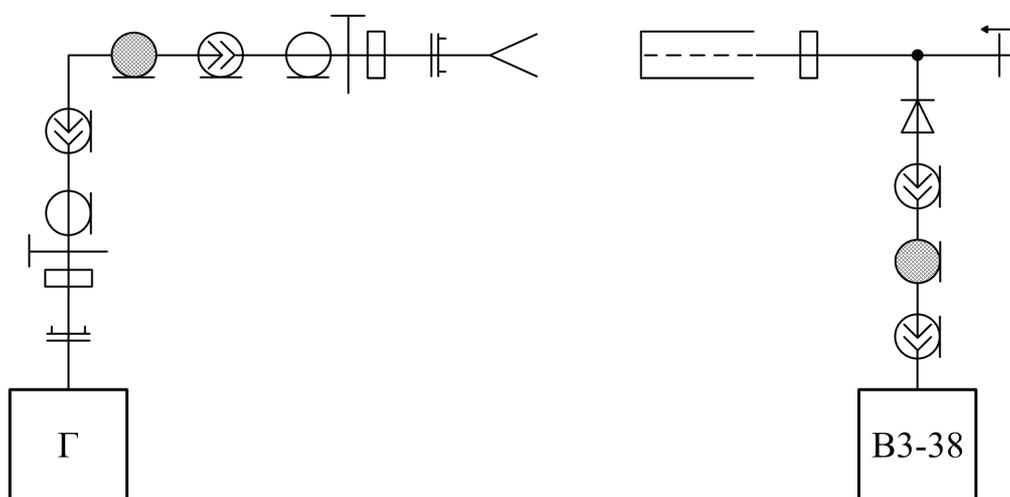


Рис. 8.4. Электрическая схема лабораторной установки

Для изменения поляризации поля излучаемой волны передающий пирамидальный рупор 7 (рис. 8.5) вместе с верхней частью гибкого коаксиального кабеля 4 может поворачиваться на 90° относительно оси рупора в держателе 6, закрепленном на стенке с помощью кронштейна 5. Такой

поворот необходим вследствие того, что часть исследуемых линеек имеет горизонтальную поляризацию, а часть – вертикальную.

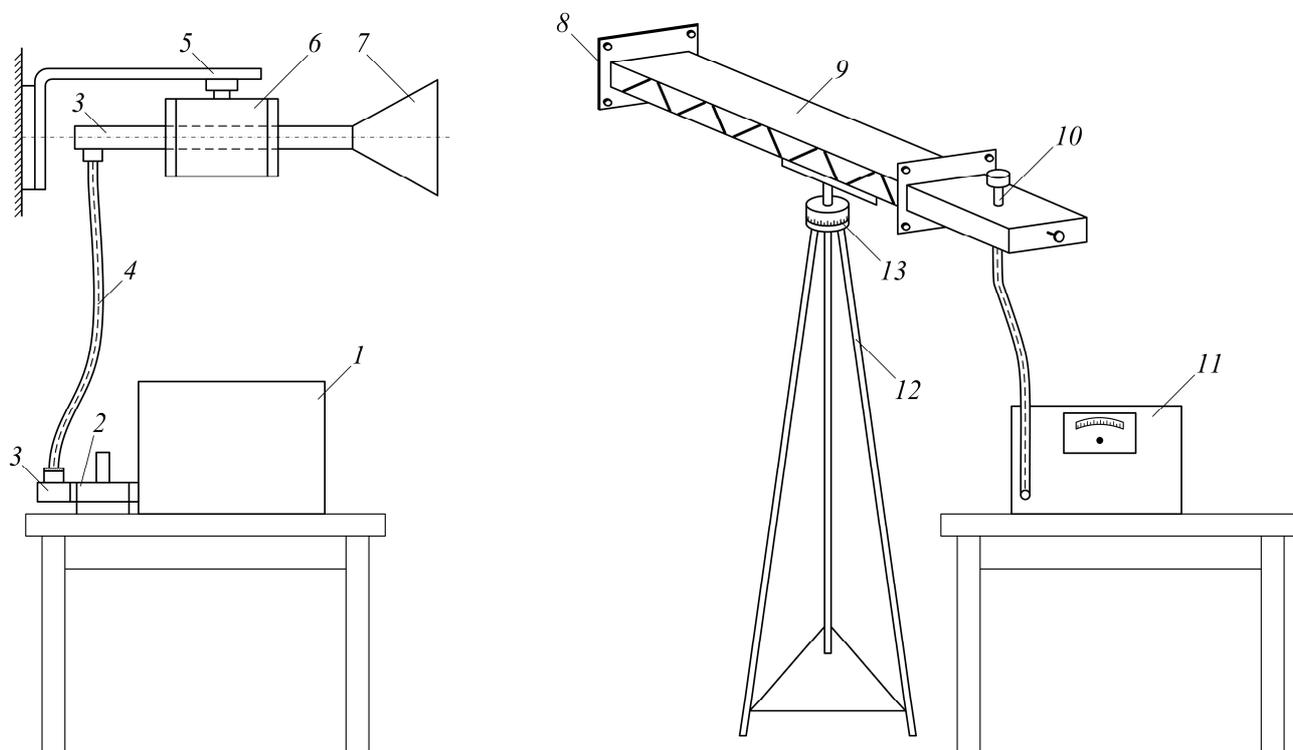


Рис. 8.5. Внешний вид лабораторной установки: 1 – генератор СВЧ-сигнала; 2 – измерительная линия; 3 – переходная секция от волновода к коаксиальному кабелю; 4 – коаксиальный кабель; 5 – кронштейн; 6 – держатель передающей антенны; 7 – пирамидальный излучающий рупор; 8 – короткозамыкающая пластина; 9 – исследуемая щелевая антенна; 10 – детекторная секция; 11 – измерительный прибор (милливольтметр типа ВЗ-38); 12 – стойка; 13 – шкала для отсчета углового положения антенны

Мощность, принимаемая исследуемой антенной, подается на детекторную секцию, основным рабочим элементом которой является кристаллический диод, а оттуда по кабелю – на вход измерительного прибора ВЗ-38.

Исследуемая однощелевая антенна представляет собой отрезок волновода, в широкой стенке которого прорезана продольная щель. Каждая из исследуемых волноводно-щелевых антенн (линейка) представляет собой отрезок волновода, в котором прорезаны щели. Сканирующая антенна

представляет собой прямоугольный волновод с введенной в него прямоугольной металлической пластиной – «ножом». Глубина погружения «ножа» в волноводе может меняться поворотом ручки, имеющейся в антенне. Фиксация положения ручки осуществляется стопорным винтом. Отсчет глубины погружения «ножа» в миллиметрах производится по имеющейся на линейке шкале в соответствии с положением указателя.

Исследуемые волноводно-щелевые линейки имеют для крепления специальную пластину с прорезями и устанавливаются на стойке с вращающейся головкой, имеющей планку с резьбовыми гнездами. Для отсчета угла поворота при экспериментальном определении ДН на вращающейся головке имеются деления с интервалом в 5° .

К одному фланцу исследуемой антенны крепится детекторная секция, соединенная с измерительным прибором, к другому фланцу привинчена короткозамыкающая пластина, а в линейке с «ножом» на конце имеется согласованная нагрузка (рис. 8.5).

Исследуемые волноводно-щелевые линейки схематически изображены на рис. 8.3. Линейка № 1 представляет собой волновод с наклонными щелями, прорезанными в узкой стенке волновода; линейка № 2 – волновод с «ножом», в широкой стенке этого волновода прорезаны в шахматном порядке продольные щели; линейка № 3 – волновод с продольными щелями, прорезанными в шахматном порядке. В линейках № 1, 2 и 3 расстояние между щелями примерно $\lambda_{\text{в}}/2$. Линейка № 4 представляет собой волновод с продольными щелями по одну сторону от оси волновода, прорезанными в широкой стенке с шагом, равным $\lambda_{\text{в}}$.

Порядок выполнения эксперимента

Прогреть аппаратуру в течение 5...10 мин и проверить настройку генератора на длину волны λ , значение которой указано в задании.

1. Снять ДН в горизонтальной плоскости однощелевой антенны.

Закрепить однощелевую антенну на вращающейся головке стойки. Передающую рупорную антенну установить так, чтобы она давала вертикально-поляризованное излучение. К фланцу однощелевой антенны прикрепить детекторную секцию. Кабель этой секции подключить ко входу измерительного милливольтметра ВЗ-38. Вращая щелевую антенну в горизонтальной плоскости, добиться максимальных показаний на ВЗ-38. Зафиксировать это угловое положение антенны как начальное (нулевое). Поворачивая антенну вправо и влево от этого положения в пределах $\pm 90^\circ$, снять ДН. Показания прибора фиксировать через каждые 10° поворота антенны и занести в табл. 8.2. По результатам измерений построить в прямоугольной системе координат нормированную ДН «по полю» однощелевой антенны.

Таблица 8.2. Экспериментальные данные измерения ДН однощелевой антенны в горизонтальной плоскости

φ , град	-90	-80	...	-10	0	10	...	80	90
$f^2(\varphi)$									
$f(\varphi)$									
$F_{\text{норм}}(\varphi)$									

2. Снять ДН для основной и паразитной поляризации волноводно-щелевой антенны с наклонными щелями, прорезанными в узкой стенке волновода (линейка № 1).

а) Закрепить линейку № 1 на вращающейся головке стойки. Передающий рупор установить так, чтобы его узкая стенка была горизонтальна, т.е. установить на передачу основной, горизонтально-поляризованной волны. К фланцу линейки прикрепить детекторную секцию, кабель секции подключить ко входу измерительного прибора ВЗ-38. Вращением линейки в горизонтальной плоскости добиться максимальных показаний на приборе ВЗ-38. Зафиксировать это положение антенны как начальное (нулевое). Снять ДН линейки по обе стороны от начального положения, записывая показания прибора через каждые

2,5° угла поворота антенны в табл. 8.3. Измерения в пределах $\pm 90^\circ$ проводить до тех пор, пока показания прибора ВЗ-38 не уменьшатся до 0,02 от максимальных показаний.

Таблица 8.3. Экспериментальные данные ДН для основной поляризации линейки № 1 и № 3

Узкая стенка передающей антенны (рупора) – горизонтально (основная поляризация)									
Линейка № 1									
φ , град	-90	-87,5	...	-2,5	0	2,5	...	87,5	90
$f_{\text{осн}}^2(\varphi)$									
$f_{\text{осн}}(\varphi)$									
$F_{\text{осн норм}}(\varphi)$									
Линейка № 3									
φ , град	-90	-87,5	...	-2,5	0	2,5	...	87,5	90
$f_{\text{осн}}^2(\varphi)$									
$f_{\text{осн}}(\varphi)$									
$F_{\text{осн норм}}(\varphi)$									

б) Повернуть рупор на 90° (узкая стенка передающей упорной антенны расположена вертикально). Вращая линейку в горизонтальной плоскости, отметить положения, при которых показания прибора ВЗ-38 максимальны. Таких положений должно быть два; они находятся под некоторыми углами симметрично относительно нормали к линейке. Снять ДН для паразитной поляризации по методике, приведенной в п.1, но с учетом двух максимумов. Данные занести в табл. 8.4.

По результатам эксперимента на одном графике в прямоугольной системе координат построить ДН для основной и паразитной поляризации. **Нормировку диаграмм провести по отношению к главному максимуму ДН основной поляризации.**

Таблица 8.4. Экспериментальные данные ДН для паразитной поляризации линейки № 1 и № 4

Узкая стенка передающей антенны (рупора) – вертикально (паразитная поляризация)									
Линейка № 1									
φ , град	-90	-87,5	...	-2,5	0	2,5	...	87,5	90
$f_{\text{пар}}^2(\varphi)$									
$f_{\text{пар}}(\varphi)$									
$F_{\text{пар норм}}(\varphi)$									
Линейка № 4									
φ , град	-90	-87,5	...	-2,5	0	2,5	...	87,5	90
$f_{\text{пар}}^2(\varphi)$									
$f_{\text{пар}}(\varphi)$									
$F_{\text{пар норм}}(\varphi)$									

3. Снять ДН щелевых антенн (линейки № 3 и 4).

а) Установить на стойке линейку № 3 и подсоединить к ней детекторную секцию. По методике, изложенной в п. 2а, снять ДН антенны в горизонтальной плоскости. Данные занести в табл. 8.3.

б) Установить на стойке линейку № 4. По методике, изложенной в пункте 2б, снять ДН в горизонтальной плоскости. Учсть, что в данной диаграмме будут существовать три главных максимума излучения. Данные занести в табл. 8.4.

По результатам измерений построить на графике, где изображена теоретически рассчитанная ДН, экспериментальные диаграммы линеек № 3 и 4, **нормированные по отношению к главному максимуму ДН линейки по основной поляризации.** Сделать вывод о максимально допустимом расстоянии между излучателями.

4. Для трех длин волн (λ , λ_{\min} , λ_{\max}) снять ДН антенны № 3 (значения λ_{\min} и λ_{\max} указываются преподавателем, измерения проводить по методике, изложенной в п. 2а). По результатам эксперимента на одном рисунке в прямоугольной системе координат построить нормированные ДН антенны № 3 для трех длин волн; сделать вывод о частотных свойствах резонансной волноводно-щелевой антенны.

Требования к отчету

Оформление отчета должно отвечать требованиям, изложенным в разделе «Правила оформления отчета». В отчете должны быть представлены:

- 1) цель работы и электрическая схема лабораторной установки;
- 2) результаты выполнения расчетного задания;
- 3) таблицы с данными измерений и рисунки со следующими графиками: экспериментальная ДН однощелевой антенны; две экспериментальные ДН линейки № 1 (для основной и паразитной поляризации); теоретически рассчитанная зависимость положения луча антенны от глубины погружения «ножа»; теоретически рассчитанная и две экспериментальные ДН линеек № 3 и 4; экспериментальные ДН для трех длин волн линейки № 3.
- 4) выводы по каждому пункту работы и по всей работе в целом.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность принципа двойственности Пистолькорса?
2. Нарисуйте картину токов на стенках волновода для волны типа H_{10} .
3. Как нужно прорезать щель в волноводе, чтобы она излучала максимальную мощность?
4. Изобразите вид ДН одиночной полуволновой щели в плоском проводящем экране в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.
5. Как прорезаются щели в волноводе для многощелевой антенны?
6. Напишите выражения для ДН многощелевой антенны в общем виде.

7. Объясните возникновение излучения с паразитной поляризацией у многощелевой антенны с наклонными щелями в узкой стенке волновода.
8. Какова причина изменения КБВ волноводно-щелевой резонансной антенны при изменении длины волны?
9. Как влияет расстояние между щелями на ДН многощелевой антенны?
10. Каким образом обеспечивается синфазность питания щелей, расположенных вдоль оси волновода на расстоянии $\lambda_v/2$?
11. Объясните принцип действия сканирующей антенны с «ножом».
12. Как влияет изменение частоты на направленные свойства волноводно-щелевой антенны?

Приложение А. Определение характеристик направленности антенны

Снятие диаграммы направленности

Величина напряженности поля, излучаемого антенной, зависит от положения точки наблюдения. Функциональное описание этой зависимости производят в сферической системе координат (R, θ, φ) , центр которой находится в электрическом центре антенны. Для дальней зоны, т.е. на расстояниях R , во много раз больших рабочей длины волны λ и наибольшего излучающего размера антенны D , величину напряженности поля можно описать формулой

$$E = \frac{E_{\max}}{R} F(\theta, \varphi). \quad (\text{А.1})$$

Функцию $F(\theta, \varphi)$, описывающую зависимость амплитуды поля от угловых координат, называют амплитудной характеристикой направленности антенны, или сокращенно – характеристикой направленности антенны. Графическое изображение характеристики направленности называют ДН.

Амплитудные ДН (например, в плоскости угла θ) строят как в полярной, так и в прямоугольной системе координат (рис. А.1), по модулю. Вопрос о том, в какой системе координат строить ДН, определяет ее ширина. Для широких ДН (примерно 30° и более) наглядней изображение получается в полярной системе координат, а для узких ДН – в прямоугольной.

Довольно часто при построении ДН в любой системе координат возникает задача точного изображения относительно малого уровня боковых лепестков. В этом случае для отсчета величины $F(\theta, \varphi)$ применяют логарифмический масштаб.

При работе антенны в режиме приема характеристика направленности описывает изменение напряжения (или тока) на входе антенны в зависимости от направления прихода электромагнитной волны. В соответствии с принципом взаимности характеристика направленности антенны при работе на передачу и прием одна и та же. Это обстоятельство позволяет снимать ДН антенны в режиме передачи или приема в зависимости от того, что более удобно.

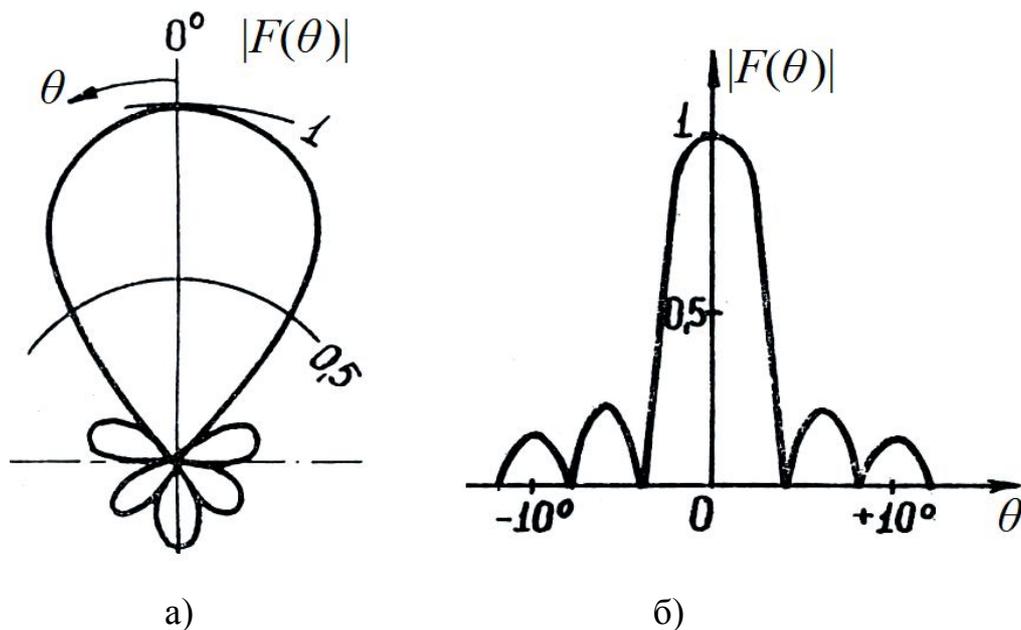


Рис. А.1. Амплитудные ДН:

а – в полярной системе координат; б – в прямоугольной системе координат

Для снятия ДН антенны в любом режиме необходима вторая (вспомогательная) антенна (рис. А.2). Для исследуемой антенны направление на вторую антенну меняется, а для вспомогательной антенны оно постоянно; при этом расстояние между двумя антеннами остается неизменным.

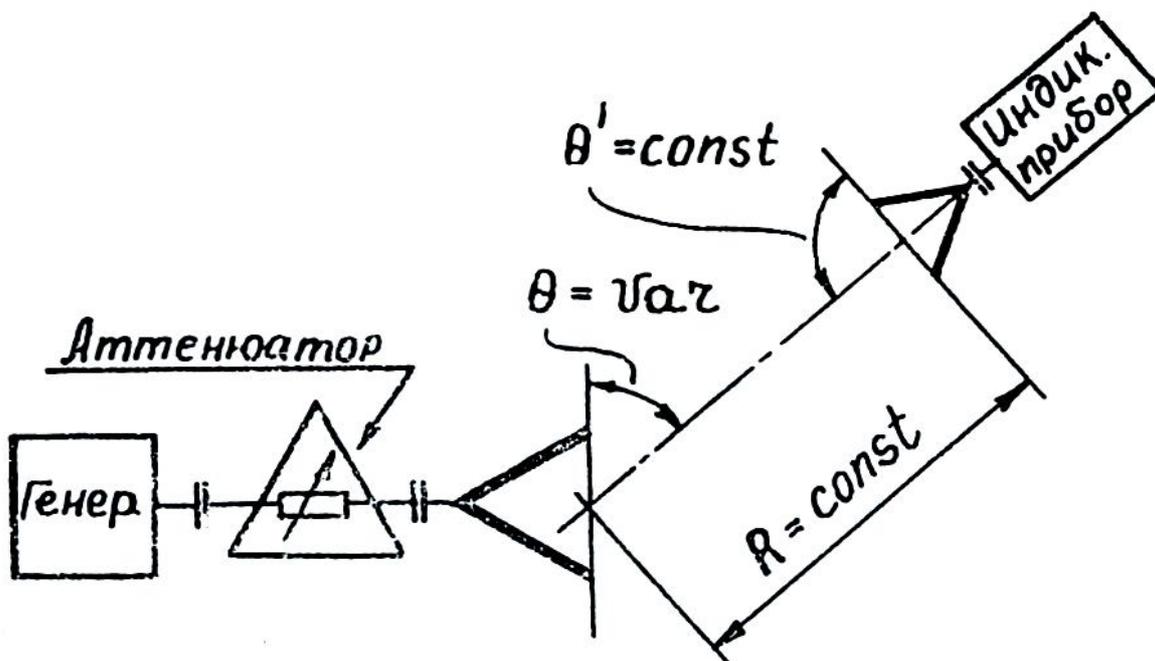


Рис. А.2. Схема установки для снятия ДН

При снятии ДН необходимо определить, с каким интервалом изменять координатный угол и на каком расстоянии располагать антенны.

Первый вопрос связан с шириной главного лепестка ДН антенны. Построение главного лепестка, а также боковых лепестков ДН следует производить по достаточному числу экспериментальных точек.

Для наиболее точного построения ДН в пределах главного лепестка необходимо иметь 12...16 экспериментально полученных точек. Для этого в начале эксперимента производят предварительное определение ширины главного лепестка «по нулям», и $\frac{1}{12} \dots \frac{1}{16}$ этой величины укажет на максимальный интервал изменения угла θ . Положение нулей ДН при эксперименте фиксируют по возможности точнее.

Интервал изменения угла $\Delta\theta$ до эксперимента приближенно можно оценить по формулам, поскольку обычно размер излучающего раскрыва D антенны и рабочая длина волны λ известны. Ширину луча большинства антенн по нулевому уровню определяют по формуле

$$2\theta_0 \approx 120 \frac{\lambda}{D}, \text{ град.} \quad (\text{A.2})$$

Следовательно, интервал изменения угла $\Delta\theta_0 \leq 10 \frac{\lambda}{D}$.

Выбор необходимого расстояния между антеннами связан с фазовой и амплитудной ошибками в их раскрывах. Вследствие сферичности фронта волны, излученной антенной с размером раскрыва d (рис. А.3,а), раскрыв D приемной антенны будет возбуждаться несинфазно. В случае, когда размер раскрыва одной антенны намного больше размера раскрыва другой антенны ($D \gg d$), амплитудную ошибку можно не учитывать. Фазовая ошибка будет допустимой (меньше $\pi/8$), если расстояние между антеннами выбрать из соотношения

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}. \quad (\text{A.3})$$

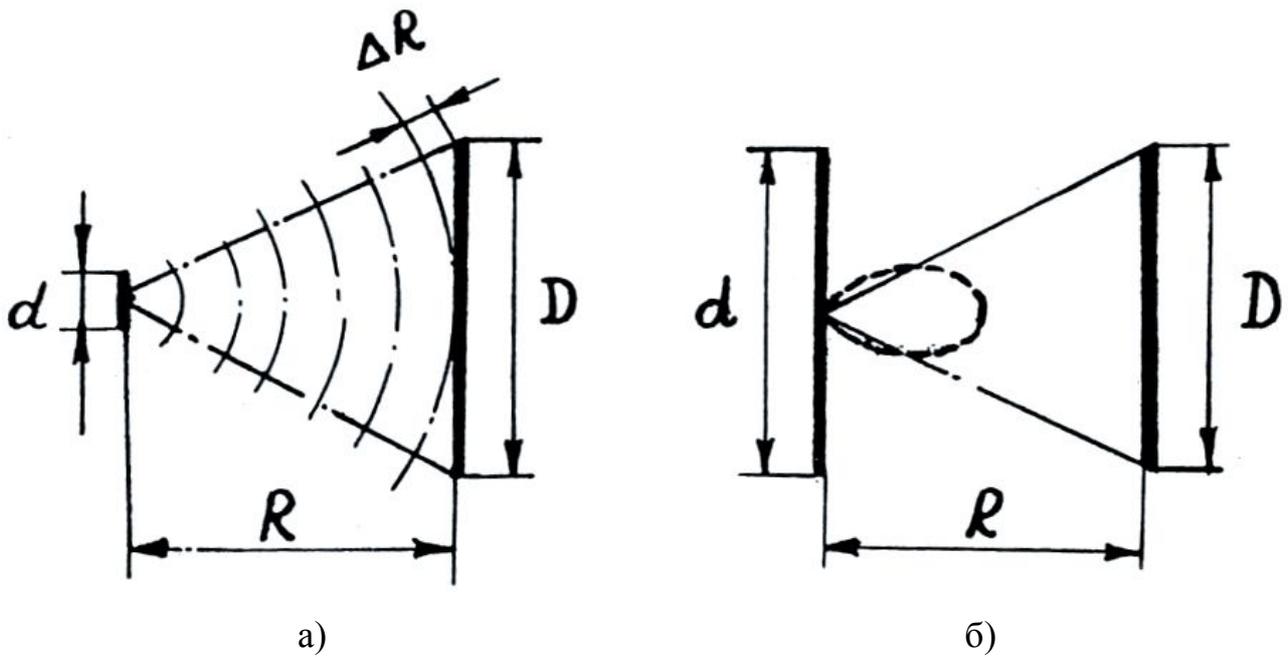


Рис. А.3. Схема для определения расстояния между антеннами при измерении ДН: *a* – с учетом только фазовой ошибки; *б* – с учетом только амплитудной ошибки

В случае антенн с соизмеримыми размерами раскрывов к фазовой ошибке добавляется еще амплитудная ошибка. Последняя возникает вследствие того, что равномерность возбуждения раскрыва приемной антенны зависит от ширины ДН передающей антенны (рис. А.3,б). Влияние указанных ошибок становится незначительным, если ДН снимать на расстоянии

$$R \geq \frac{2(D+d)^2}{\lambda}. \quad (\text{А.4})$$

При измерениях ДН антенн надо иметь в виду, что характеристики детекторов, применяемых в индикаторных приборах, нелинейны. В первом приближении характеристики кристаллических детекторов можно считать квадратичными, и тогда данные индикаторных приборов будут соответствовать ДН «по мощности», т.е. $F^2(\theta, \varphi)$.

При точных измерениях ДН влияние нелинейности характеристики детектора можно избежать за счет применения градуированного аттенюатора (рис. А.2), включенного в любое место высокочастотного тракта установки. В

этом случае измерения уровня сигнала ведутся путем изменения затухания, вносимого аттенюатором. Перед измерениями вспомогательную антенну устанавливают в направлении главного максимума ДН исследуемой антенны. Регулировка аттенюатора состоит в установке его в положение максимального затухания, величина которого определяется чувствительностью принимаемой аппаратуры и удобным положением стрелки индикаторного прибора. При снятии ДН за счет уменьшения затухания аттенюатора стрелка индикаторного прибора возвращается к первоначальному положению. Данные об измерении уровня сигнала считываются со шкалы градуированного аттенюатора (с учетом градуировочного графика) в децибелах, которые затем можно пересчитать в относительные величины. При таком способе измерения ДН рабочий режим детектора неизменен и вид его характеристики не имеет значения.

Измерение коэффициента усиления антенн

Для измерения коэффициента усиления (КУ) антенн с применением эталонной антенны используют ту же схему установки, что и для снятия ДН. Минимально допустимое расстояние между антеннами также определяется по формуле (А.4). Поскольку на КУ антенн сказываются фазовые и амплитудные ошибки в обеих плоскостях, то в формулу (А.4) необходимо подставить наибольшие размеры раскрывов антенн.

При измерении КУ вспомогательную антенну устанавливают в направлении главного максимума исследуемой антенны с неизвестным коэффициентом усиления G_x . После записи показаний индикаторного прибора α_x исследуемую антенну заменяют на эталонную с известным коэффициентом усиления $G_{эт}$. При квадратичной характеристике детектора изменения в показаниях индикаторного прибора будут прямо пропорциональны изменению КУ при перемене антенн:

$$G_x = G_{эт} \frac{\alpha_x}{\alpha_{эт}}, \quad (A.5)$$

где $\alpha_{эт}$ – показания индикаторного прибора при использовании эталонной антенны.

При применении градуированного аттенюатора измерение отношения $\frac{\alpha_x}{\alpha_{эт}}$ производится точнее. Поэтому при точных измерениях КУ предпочтительнее пользоваться аттенюатором. Если КУ необходимо измерить очень точно, то учитывают величины отраженных мощностей от входов исследуемой и эталонной антенн. Обычно эти отражения малы и при измерениях их не учитывают.

В качестве индикаторного прибора в лаборатории используется милливольтметр ВЗ-38.

Измерение при помощи милливольтметра ВЗ-38

Аналоговый милливольтметр переменного тока ВЗ-38 (рис. А.4) предназначен для измерения величины напряжения переменного тока в диапазоне 100 мкВ...300 В частотой 20 Гц...5 МГц.



Рис. А.4. Милливольтметр ВЗ-38 (передняя панель)

В милливольтметре ВЗ-38 имеется детектор среднего значения. Шкала прибора проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения. Прибор ВЗ-38 удобен для измерения затуханий и частотных характеристик по шкале, проградуированной в децибелах (0 дБ – 0,775 В).

Предел допускаемой основной погрешности прибора, выраженный в процентах от верхнего предела установленного поддиапазона измерения, равен $\pm 2,5\%$. Входная емкость: 30 пФ (1...300 мВ) и 15 пФ (1...300 В). Входное сопротивление: 5 МОм (1...300 мВ) и 4 МОм (1...300 В).

На его передней панели имеются:

- стрелочный прибор, по положению стрелки которого отсчитывается входное напряжение;
- входной разъём для подачи измеряемого напряжения;
- переключатель пределов измерения напряжения;
- выключатель сети и индикатор включения.

Для начала работы необходимо включить прибор в сеть, щёлкнуть вверх сетевым выключателем и дать прибору прогреться 5 минут.

Устанавливаем переключатель пределов на значение, немного превышающее предполагаемую величину измеряемого напряжения. Например, если планируется измерять напряжение примерно 1...2 В, ставим переключатель на «3 В» (как на рис. А.4).

Важно! Предел измерения прибора обозначает величину напряжения, подаваемого на вход, при котором стрелка прибора отклонится до максимального (крайнего правого) положения.

Подаём на вход прибора измеряемое напряжение. Стрелка его отклонится и покажет величину поданного напряжения. Если стрелка ушла вправо за границу шкалы (зашкалила), то входное напряжение больше установленного предела, нужно переключатель пределов переключить на больший предел; если стрелка отклонилась меньше, чем четверть шкалы, то нужно переключиться на меньший предел, иначе будет велика погрешность измерения.

По какой шкале производить отсчёт? Верхняя шкала имеет деления до 10, по ней удобно измерять на пределах, кратных 10; средняя шкала имеет деления до 30, по ней удобно измерять на пределах, кратных 3. На нижнюю шкалу для ясности не будем обращать внимания – для лабораторных работ она не требуется.

На рис. А.4 переключатель пределов стоит в положении «3 V», значит, считывать показания будем по средней шкале. По ней стрелка максимально может отклониться до числа 30 при входном напряжении 3 В, т.е. значение, которое стрелка показывает на средней шкале (рис. А.4), нужно разделить на 10. Тогда получим величину измеряемого напряжения. В нашем случае стрелка показывает «21», считаем: $21/10 = 2,1$ В.

Приложение Б. Вспомогательная рупорная антенна

Основным элементом рупорной антенны является стандартный пирамидальный рупор с размерами раскрыва 90×135 см, длиной 160 см, с входным волноводом сечением 23×10 мм на длине волны 3,2 см, коэффициент усиления рупора равен примерно 90.

Высокочастотная энергия от генератора к антенне подается с помощью гибкого коаксиального кабеля с волноводным выходом сечением 23×10 мм. Вспомогательная рупорная передающая антенна имеет два варианта крепления к стене (рис. Б.1 и рис. Б.2).

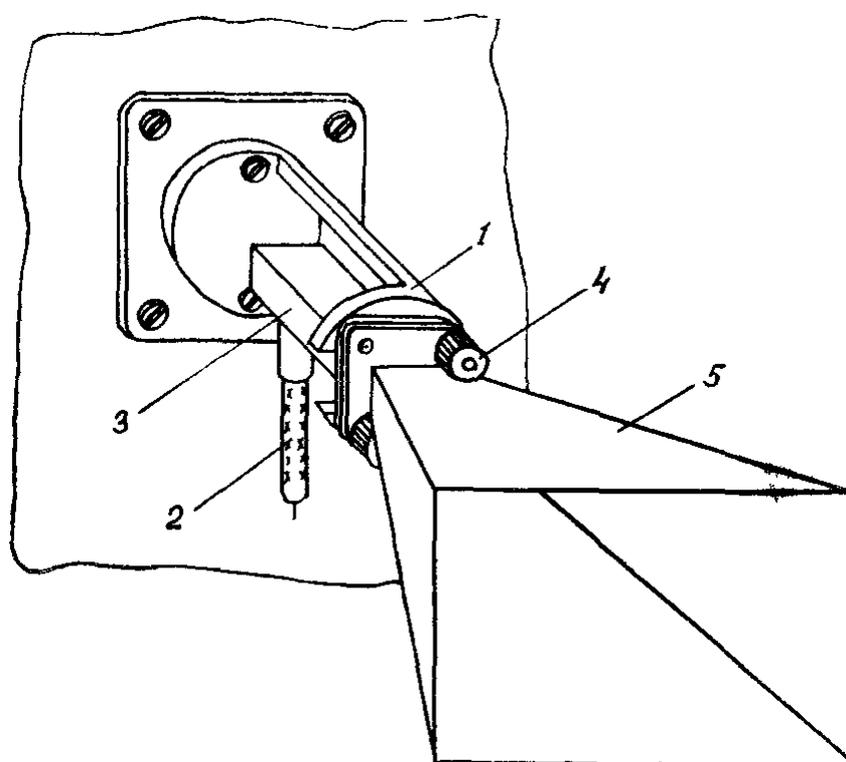


Рис. Б.1. Первый вариант вспомогательной передающей рупорной антенны:

1 – втулка, укрепленная на стене; 2 – гибкий коаксиальный кабель; 3 – волноводный выход кабеля; 4 – крепежные гайки; 5 – пирамидальный рупор

Варианты рупорной антенны отличаются друг от друга конструкцией узла крепления. В первом варианте (рис. Б.1) фланец рупора и фланец волноводного выхода коаксиального кабеля посажены на двух шпильках неподвижной втулки, укрепленной на стене. В этом варианте для изменения плоскости

поляризации излученного поля на 90° необходимо отвернуть две круглые с накаткой крепежные гайки, снять оба волноводных фланца со шпилек, и после их поворота вокруг продольной оси на 90° надеть другими отверстиями на шпильки и затянуть крепежными гайками.

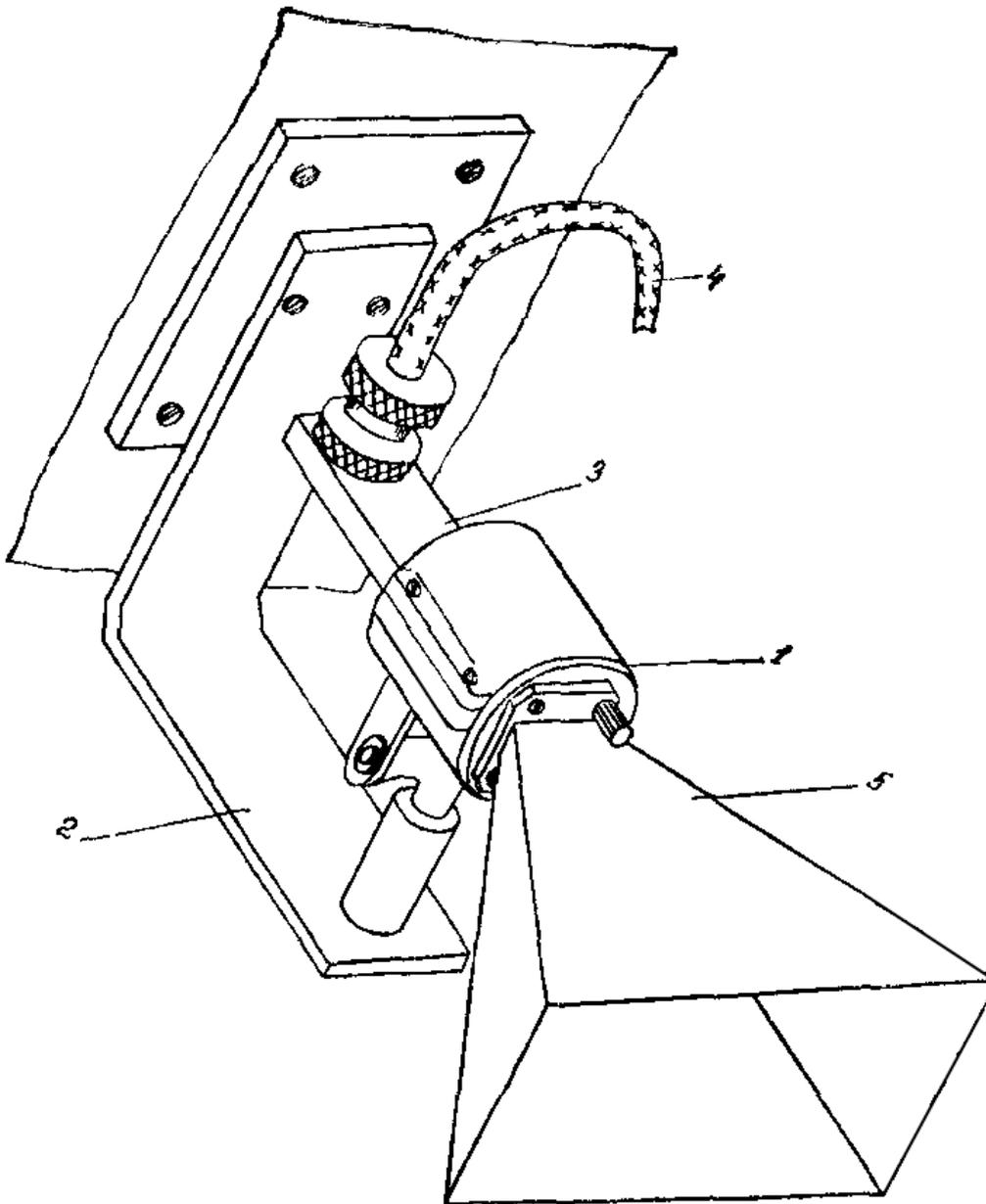


Рис. Б.2. Второй вариант вспомогательной передающей рупорной антенны:
1 – головка с вращающейся втулкой; 2 – кронштейн, укрепленный на стене;
3 – волноводный выход гибкого коаксиального кабеля; 4 – гибкий
коаксиальный кабель; 5 – пирамидальный рупор

Во втором варианте антенны (рис. Б.2) рупор и волноводный выход коаксиального кабеля посажены на шпильки вращающейся втулки специальной головки. В данном варианте для изменения плоскости поляризации излучаемого поля на 90° необходимо сам рупор с некоторым усилием повернуть на четверть оборота. Вращающаяся втулка головки через каждые четверть оборота стопорится специальными пружинными фиксаторами с западающими шариками.

Содержание

Цель работы	2
Теоретическая подготовка к работе	2
Расчетное задание и расчетные формулы	4
Экспериментальная часть	7
Описание лабораторной установки	7
Порядок выполнения эксперимента	9
Требования к отчету	13
Контрольные вопросы	13
Приложение А. Определение характеристик направленности антенны	15
Снятие диаграммы направленности	15
Измерение коэффициента усиления антенн.....	19
Измерение при помощи милливольтметра ВЗ-38	20
Приложение Б. Вспомогательная рупорная антенна	23

Литература

- 1 Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. и др. Устройства СВЧ и антенны / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радиотехника. 2016.
- 2 Марков Г.Т., Сазонов Д.М., Антенны. М.: Энергия. 1975.