

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра антенн и устройств СВЧ

***ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛЕЙ
В СТЕНКАХ ВОЛНОВОДА***

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе №3 по дисциплинам «Электродинамика
и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны»,
«Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства»,
«Основы электромагнитной теории»

Минск БГУИР 2011

УДК 621.372:621.372.8(076)
ББК 32.845я73
И88

С о с т а в и т е л и:

Ю. Ю. Бобков, Д. В. Гололобов, И. Н. Кижлай, В. Б. Кирильчук,
А. В. Кухарев, О. А. Юрцев

Исследование параметров щелей в стенках волновода : метод. указ. к
И88 лаб. работе №3 по дисц. «Электродинамика и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны», «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства», «Основы электромагнитной теории» / сост. Ю. Ю. Бобков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2011. – 23 с. : ил.
ISBN 978-985-488-703-6.

Содержатся теоретические сведения об излучении щелей, прорезанных в стенках прямоугольных волноводов. Рассмотрены различные варианты расположения щелей в волноводе, их эквивалентные схемы и соотношения, позволяющие рассчитать сопротивления и проводимости на резонансной частоте. Приведены методика экспериментального определения сопротивления и проводимости щелей, контрольные вопросы.

Методические указания предназначены для студентов радиотехнических специальностей всех форм обучения.

УДК 621.372:621.372.8(076)
ББК 32.845я73

ISBN 978-985-488-703-6

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники, 2011

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛЕЙ В СТЕНКАХ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА

Цель работы

1. Изучить основные закономерности излучения щелей, прорезанных в стенках волновода.
2. Экспериментально исследовать зависимость входной проводимости и входного сопротивления одиночного щелевого излучателя от частоты.
3. Закрепить методику определения сопротивлений (проводимостей) по диаграмме Вольперта – Смита.

1. Краткие теоретические сведения

В волноводной технике широко распространены различные сверхвысокочастотные устройства, работа которых основана на применении волноводов и объемных резонаторов с отверстиями в боковых или торцевых стенках. Примерами таких устройств являются направленные ответвители (рис. 1, а, б), делители мощности на основе прямоугольных волноводов, измерительные линии, волноводно-щелевые антенны (рис. 1, в) и др.

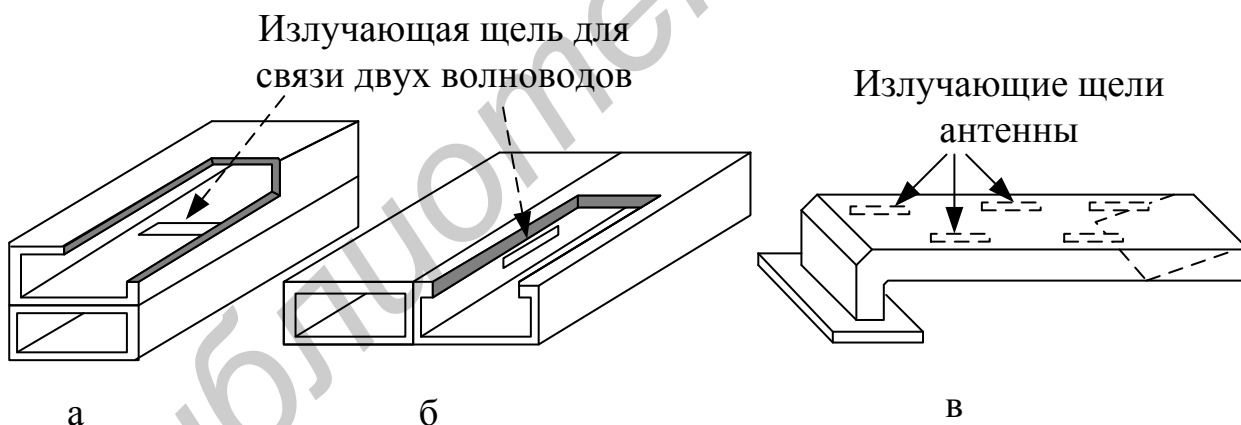


Рис. 1. Примеры использования щелей в стенках волновода

Щели в стенках волновода бывают излучающие и неизлучающие. Излучающие щели – щели, через которые энергия передается из волновода или резонатора в другой волновод, резонатор или внешнее пространство.

Будет щель излучающей или нет, зависит от ее ориентации относительно силовых линий поля в волноводе, которые однозначно связаны с типом волны в волноводе. Для выбора рационального положения щели, предназначенной для тех или иных целей, необходимо знать структуру поля в волноводе, которая определяет поверхностные токи на стенках волновода.

1.1. Структура поля и поверхностные токи в стенках волновода

В идеальных волноводах (при отсутствии потерь мощности) общие выражения, определяющие векторы поля волны, распространяющейся вдоль оси волновода, можно записать в виде

$$\vec{E} = \vec{e}_0 E_m \cos(\omega t - \beta z); \quad (1)$$

$$\vec{H} = \vec{h}_0 H_m \cos(\omega t - \beta z), \quad (2)$$

где \vec{e}_0, \vec{h}_0 – единичные векторы, указывающие на направление векторов \vec{E} и \vec{H} в пространстве;

E_m, H_m – амплитуды векторов;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота волны;

t – время;

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_B}$ – коэффициент фазы (рад/м или град/м).

Величины $\vec{e}_0, \vec{h}_0, E_m, H_m$ зависят от координат x, y, z точки в волноводе, где рассматривается поле.

В волноводах с потерями мощности волна по мере распространения вдоль оси z затухает, и в выражениях (1) и (2) появляется множитель затухания $e^{-\alpha \cdot z}$, где α – коэффициент затухания (дБ/м или Нп/м).

В прямоугольном волноводе могут распространяться электромагнитные волны двух типов: H_{mn} и E_{mn} . Выражения для векторов \vec{E} и \vec{H} находятся путём решения уравнений Максвелла и представляются в виде суммы трёх проекций (составляющих) на оси координат x, y, z - $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$.

Например, для волн типа H_{mn} имеем:

$$\begin{aligned} E_x &= -E_{\max} \frac{a}{b} n \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cos(\omega t - \beta z); \\ E_y &= E_{\max} m \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cos(\omega t - \beta z); \\ E_z &= 0; \\ H_x &= -\frac{E_{\max}}{Z_c} m \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cos(\omega t - \beta z); \\ H_y &= -\frac{E_{\max}}{Z_c} \frac{a}{b} n \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cos(\omega t - \beta z); \\ H_z &= -\frac{E_{\max}}{Z_c} \cdot \frac{2a\lambda}{\lambda_{кр}^2} \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cos(\omega t - \beta z - 90^\circ), \end{aligned} \quad (3)$$

где E_{\max} – максимальное значение амплитуды составляющей поля E_y ;

a, b – поперечные размеры волновода;

$m, n = 0, 1, 2, \dots$ – целые числа;

$Z_c = \frac{\sqrt{\mu_a/\varepsilon_a}}{\sqrt{1-(\lambda/\lambda_{кр})^2}}$ – характеристическое сопротивление волновода;

$\lambda_{кр} = \frac{2ab}{\sqrt{(mb)^2 + (na)^2}}$ – критическая длина волны.

Для волны H_{10} , являющейся основной волной в прямоугольном волноводе, выражения (3) принимают вид

$$\begin{aligned} E_y &= E_{y\max} \sin \frac{\pi x}{a} \cos(\omega t - \beta z); \\ H_x &= -H_{x\max} \sin \frac{\pi x}{a} \cos(\omega t - \beta z); \\ H_z &= H_{z\max} \cos \frac{\pi x}{a} \cos(\omega t - \beta z - 90^\circ); \\ E_x &= 0, \quad E_z = 0, \quad H_y = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Воспользовавшись выражениями (4), можно построить эпюры полей (зависимость составляющих векторов \vec{E} и \vec{H} от координат x, y, z) и структуру силовых линий поля волны H_{10} (рис. 2).

С течением времени t картина поля, изображённая на рис. 2 а, б, перемещается вдоль продольной оси волновода z , что приводит к появлению электрического тока проводимости $\vec{J}_{np} = \vec{H}$ на внутренних поверхностях стенок и тока

смещения $\vec{J}_{см} = \frac{d\vec{D}}{dt}$ между широкими стенками волновода.

По закону полного тока поверхностная плотность тока проводимости \vec{J}_{np} в каждой точке на внутренней стороне стенки волновода численно равна напряжённости магнитного поля, касательного к рассматриваемой стенке. Согласно правилу буравчика можно заключить, что продольный ток \vec{J}_{npz} обусловлен поперечной составляющей магнитного поля \vec{H}_x , а поперечные токи \vec{J}_{npX} и \vec{J}_{npY} определяются продольной составляющей магнитного поля \vec{H}_z , т. е.

$$\vec{J}_{npX} = \vec{H}_z \Big|_{y=0,b}; \quad \vec{J}_{npY} = \vec{H}_z \Big|_{x=0,a}; \quad \vec{J}_{npz} = \vec{H}_z \Big|_{x=0,a}. \quad (5)$$

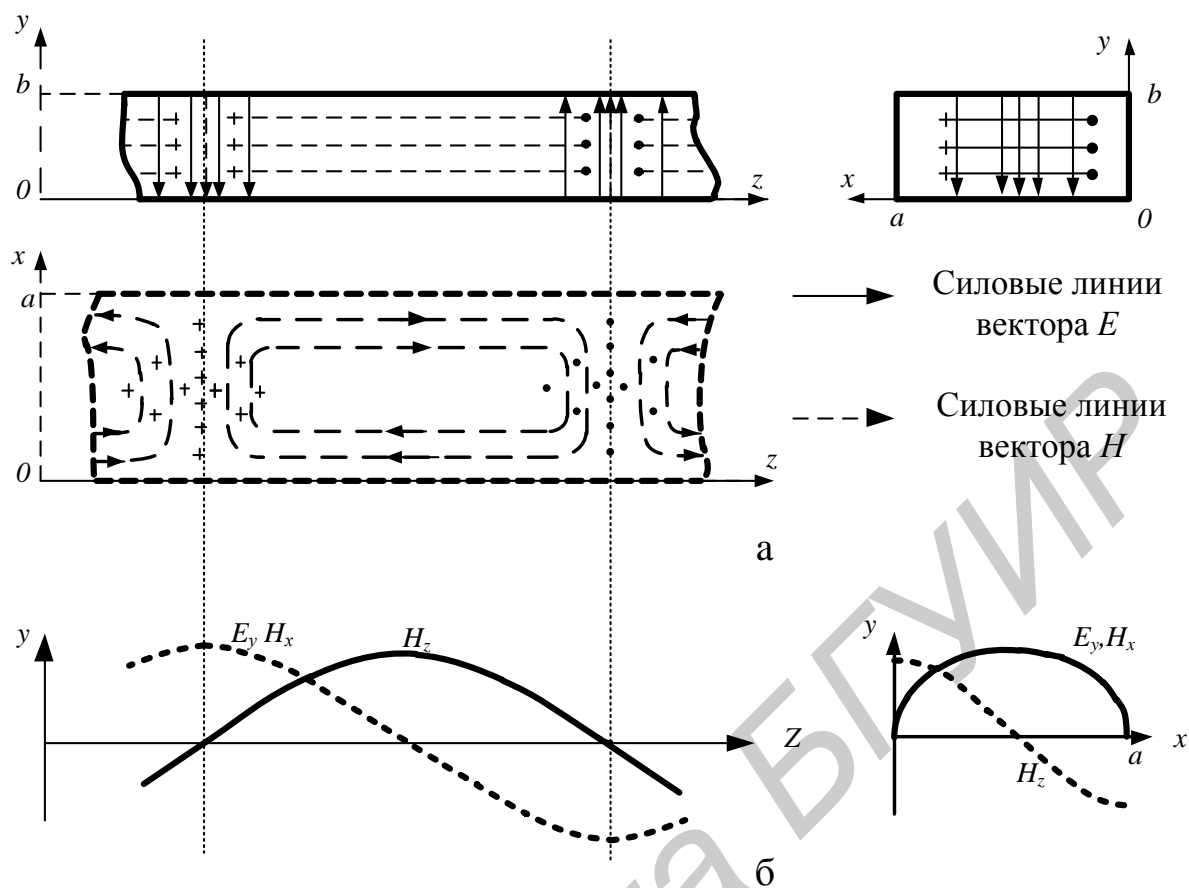


Рис. 2. Структура силовых линий (а) и эпюры полей (б) волны H_{10}

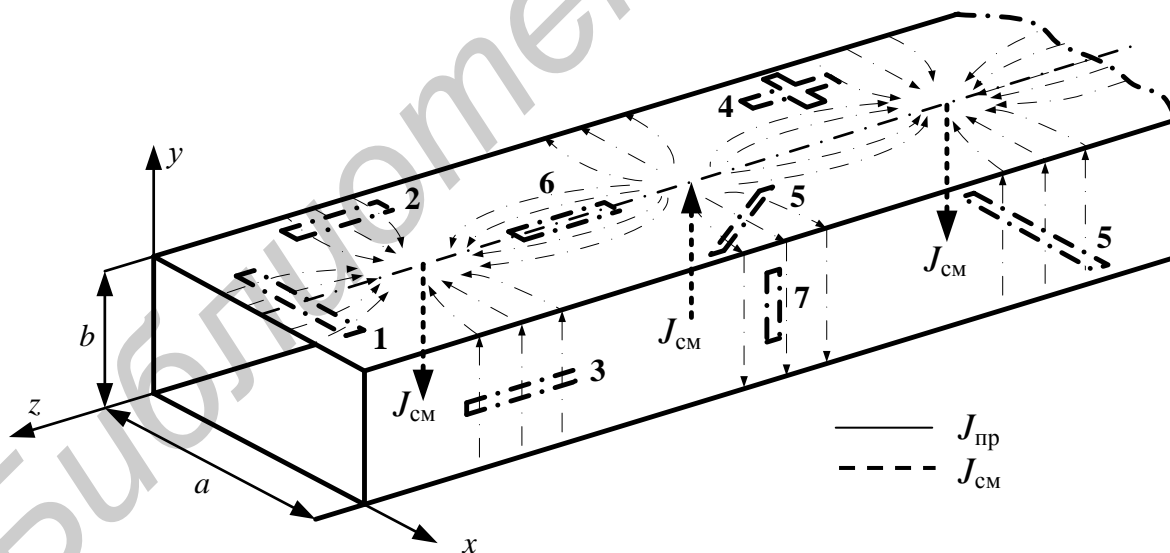


Рис. 3. Распределение плотности поверхностных токов на стенках волновода

С учётом выражений (4), (5) суммарная мгновенная структура распределения токов на стенках волновода является суперпозицией продольных и поперечных токов и для волны H_{10} имеет вид, изображённый на рис. 3. Как видно, продольные составляющие токов проводимости имеют место только на широких стенках волновода. Поперечные составляющие тока имеют место как на широких, так и на узких стенках.

Согласно принципу непрерывности электрического тока в тех точках, где оканчиваются векторные линии \vec{J}_{np} , начинаются продолжающие их линии \vec{J}_{cm} , существующие внутри волновода и параллельные оси y . Замкнутые линии магнитного поля охватывают линии \vec{J}_{cm} (рис. 4).

1.2. Излучающие и неизлучающие щели

Рассмотренное выше распределение поверхностных токов на стенках волновода с волной H_{10} позволяет решить важную для практики задачу о связи волновода с окружающим пространством с помощью щелей, прорезанных в его стенках. Щелью в волноводной, антенной технике называют обычно прямоугольное отверстие 1, 2 (см. рис. 3), длина которого значительно превосходит его ширину.

Возбуждение щели в волноводе происходит, если она своей широкой стороной пересекает поверхностные токи, текущие по внутренним стенкам (щели 1 – 5 на рис. 3), и не происходит, если щель прорезана параллельно линиям тока (щели 6, 7 на рис. 3).

Основные типы излучающих и неизлучающих щелей показаны на рис. 3. Поперечная щель 1 на широкой стенке возбуждается продольными токами, причём интенсивность её излучения уменьшается при смещении центра щели от середины широкой стенки.

Продольная щель 2 пересекает поперечный ток, если только она сдвинута относительно середины широкой стенки. Её излучение возрастает с приближением щели к краю широкой стенки и полностью отсутствует при ее расположении в центре. Располагая продольную щель с разной стороны осевой линии волновода, можно изменить фазу излученного поля на 180° за счёт изменения направления поверхностного тока. Излучающей является также продольная щель 3 в узкой стенке, причём интенсивность её излучения не зависит от её положения по координате y .

Рассмотренные линейные щели 1, 2, 3 излучают поле линейной поляризации с вектором \vec{E} , перпендикулярным большой стороне щели. При необходимости излучения волн круговой поляризации используют крестообразные щели 4, получаемые совмещением центров щелей 1 и 2. Используются в антенной технике и наклонные щели 5, интенсивность излучения которых зависит как от их положения на стенках, так и от угла наклона.

Щели 6, 7, прорезанные параллельно линиям поверхностных токов, электромагнитное поле не излучают, однако также находят применение в технике СВЧ (например в измерительных волноводных линиях).

При решении вопроса о наиболее целесообразном расположении щелей обязательно исходить из распределения тока на поверхности стенок волновода. Можно непосредственно пользоваться картиной магнитных силовых линий поля в волноводе до образования щелей. Щель, расположенная перпендикулярно магнитным линиям поля, не излучает (щель 1 на рис. 4). Щель, прорезанная

параллельно магнитным линиям, излучает электромагнитные волны (щель 2 на рис. 4).

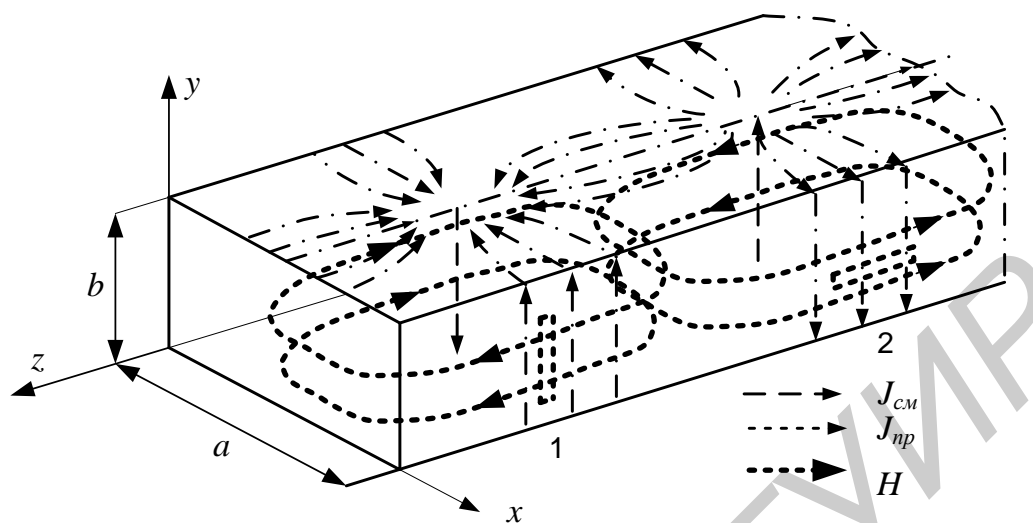


Рис. 4. Структура токов в волноводе и ориентация щелей

Волноводы с прорезанными в стенках излучающими щелями могут работать как в режиме бегущей волны, так и в режиме стоячей волны, и если волновод закорочен на конце, например, подвижным короткозамыкающим поршнем, то интенсивность излучения щели зависит также от расстояния между центром щели и стенкой поршня. В самом деле, в пространстве между поршнем и щелью образуются стоячие волны. При этом у стенки поршня суммарная составляющая H_z падающей и отраженной волн равна нулю (H_z является нормальной составляющей к плоскости поршня и, согласно граничным условиям у металлической поверхности с проводимостью $\sigma \rightarrow \infty$, она должна быть равна нулю). У металлической стенки поршня должна оставаться только тангенциальная составляющая вектора H , т. е. H_x , причем ее значение удваивается, т. к. поверхность металла ведет себя аналогично короткому замыканию: коэффициент отражения равен единице. На расстояниях, равных целому числу полуволн $\frac{\lambda_B}{2}$ от стенки поршня, образуются пучности H_x и узлы H_z (рис. 5).

На этих же расстояниях образуются пучности продольных и узлы поперечных составляющих тока. На расстояниях, кратных нечетному числу $\frac{\lambda_B}{4}$, образуются узлы H_x и пучности H_z , соответственно узлы продольных и поперечных составляющих тока.

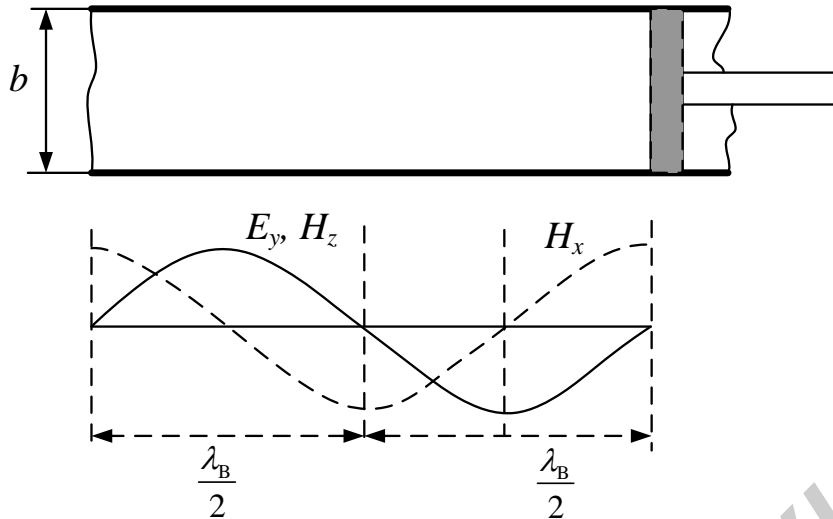


Рис. 5. Эпюры векторов поля волны H_{10} в закороченном волноводе

Таким образом, максимальное излучение продольной щели получается при расстоянии от ее середины до стенки поршня, кратном нечетному числу $\frac{\lambda_B}{4}$. Поперечная щель излучает наибольшую мощность, когда расстояние до поршня кратно $\frac{\lambda_B}{2}$.

1.3. Эквивалентные схемы и параметры излучающих щелей

Любая излучающая щель нагружает волновод и влияет на режим его работы. Часть мощности, идущей по волноводу, излучается щелью, часть отражается обратно к генератору (как от любой неоднородности) и часть проходит дальше. Для характеристики щели как неоднородности в волноводе часто пользуются аналогиями с двухпроводной линией. Волновод заменяют эквивалентной двухпроводной линией, а щель при этом можно представить сосредоточенным сопротивлением, включенным в эту линию последовательно или параллельно в зависимости от типа щели:

- продольная щель, пересекающая линии поперечного тока (рис. 6, а), представляется в эквивалентной длинной линии проводимостью $G^* + jB^*$ (параллельно включенным сопротивлением);
- поперечная щель, пересекающая линии продольного тока, представляется последовательно включенным сопротивлением $R^* + jX^*$ (рис. 6, б).

Если длина излучающей щели равна половине длины волны, то она является *резонансной* и представляется в эквивалентной линии чисто активным сопротивлением.

Нормированные, т. е. отнесенные к волновым сопротивлению и проводимости волновода, сопротивления и проводимости волноводных щелей могут быть рассчитаны по формулам, полученным исходя из энергетического баланса.

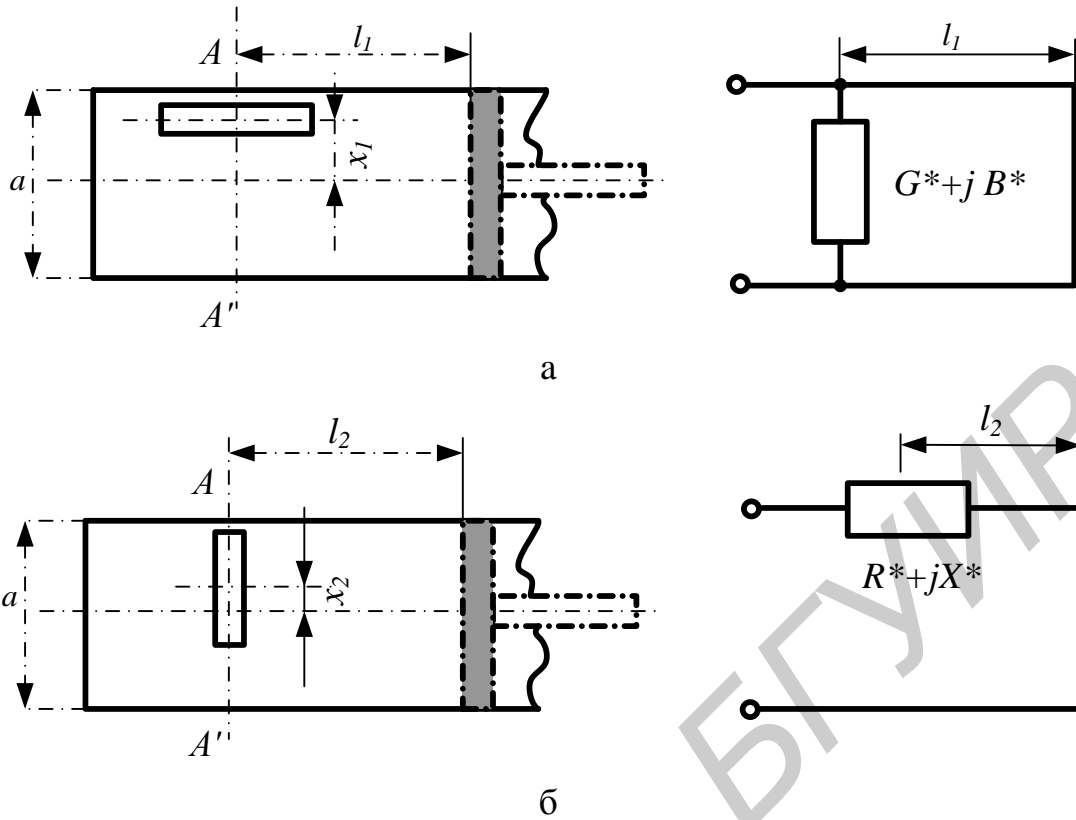


Рис. 6. Продольная и поперечная щели и их эквивалентные схемы

Для продольной полуволновой щели, прорезанной в широкой стенке волновода на расстоянии x_1 от середины волновода, параллельная нормированная проводимость равна

$$G^* = 2,09 \frac{a \lambda_B}{b \lambda} \cos^2 \left(\frac{\pi \lambda}{2 \lambda_B} \right) \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi \cdot x_1}{a} \right), \quad (6)$$

где λ – длина волны в свободном пространстве;

λ_B – длина волны в волноводе;

a и b – размеры широкой и узкой стенок волновода.

Для продольной полуволновой щели, прорезанной в узкой стенке прямоугольного волновода с волной H_{10} , проводимость не зависит от координаты y и равна

$$G^* = 2,09 \frac{a \lambda_B}{b \lambda} \cos^2 \left(\frac{\pi \lambda}{2 \lambda_B} \right). \quad (7)$$

Для поперечной полуволновой щели, прорезанной в широкой стенке волновода и сдвинутой относительно его оси на расстояние x_2 , последовательное нормированное сопротивление равно

$$R^* = 0,523 \left(\frac{\lambda_B}{\lambda} \right)^2 \frac{\lambda^2}{ab} \cos^2 \left(\frac{\pi \lambda}{4a} \right) \cos^2 \left(\frac{\pi x_2}{2} \right). \quad (8)$$

Формулы (6), (7), (8), приведенные выше для эквивалентных проводимостей и эквивалентных сопротивлений щелей в волноводе, получены для полуволновых щелей.

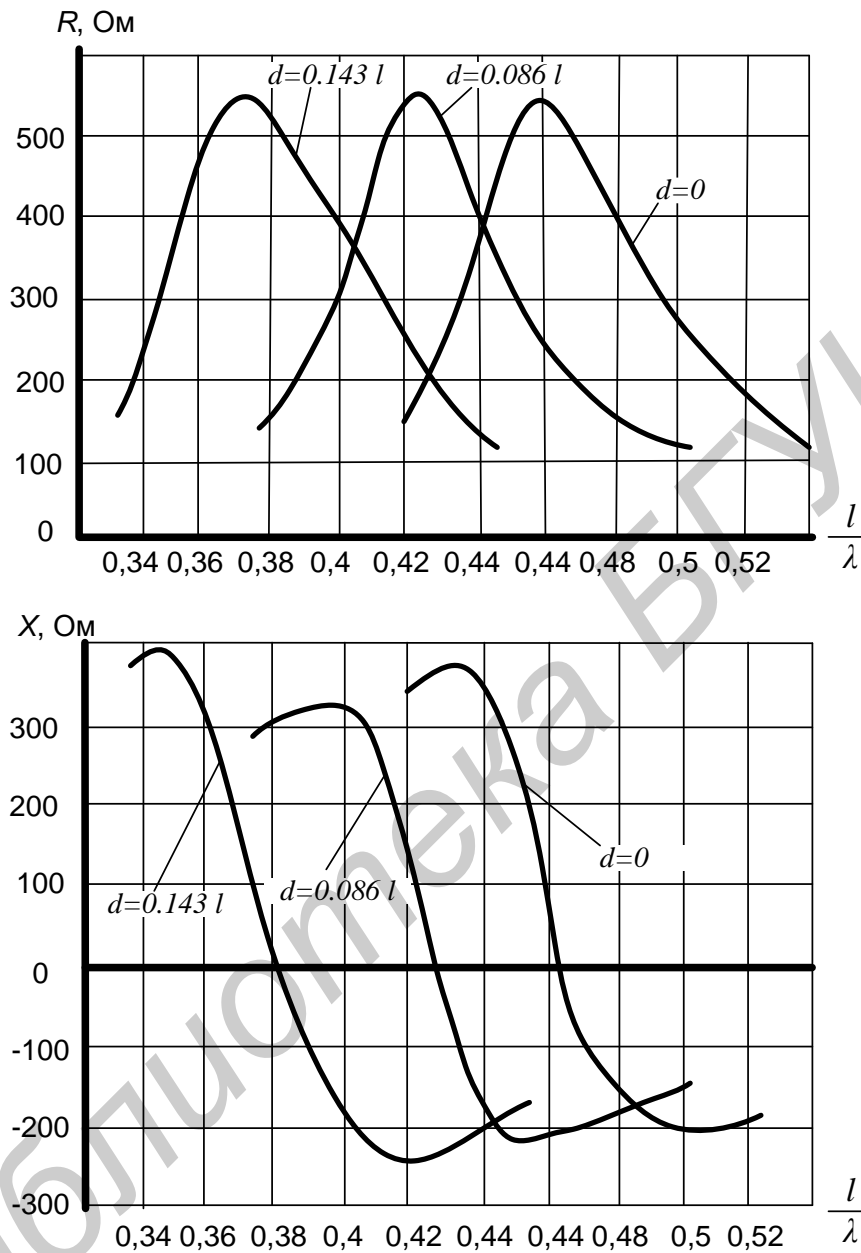


Рис. 7. Входное сопротивление щели при различной ширине щели D

Длина прямоугольной щели близка к резонансной, для которой эквивалентная реактивная проводимость B^* и эквивалентное реактивное сопротивление X^* равны нулю (рис. 7). Так как G^* и R^* мало меняются вблизи резонанса, то выражениями для G^* и R^* можно пользоваться и для резонансных щелей. Резонансная длина щели несколько меньше $\lambda/2$ и тем меньше, чем больше ширина щели d . Кроме того, резонансная длина щели зависит от смещения ее относительно широкой стенки волновода.

2. Экспериментальное определение проводимости и сопротивления щелей в волноводе

Нормированные проводимости и сопротивления щелей в волноводе могут быть определены экспериментально.

Суммарная нормированная проводимость в сечении $A - A'$ (см. рис. 6, а) определяется нормированной проводимостью продольной щели и входной нормированной проводимостью отрезка короткозамкнутой линии длиной l_1 . Очевидно, что нормированная входная проводимость в сечении $A - A'$ будет равна нормированной проводимости щели, если входная проводимость короткозамкнутой линии равна нулю. Входная проводимость последней обращается в нуль при длине короткозамкнутой линии:

$$l_1 = (2n + 1) \frac{\lambda_B}{4}. \quad (9)$$

Суммарное нормированное сопротивление в сечении $A - A'$ (см. рис. 6, б) определяется нормированным сопротивлением поперечной щели и входным нормированным сопротивлением короткозамкнутой линии длиной l_2 . В этом случае нормированное входное сопротивление в сечении $A - A'$ будет совпадать с нормированным сопротивлением щели, если входное сопротивление линии равно нулю, а это имеет место при длине короткозамкнутой линии

$$l_2 = n \frac{\lambda_B}{2}. \quad (10)$$

Таким образом, при измерении входной нормированной проводимости продольной щели короткозамыкающий поршень должен находиться на расстоянии $l_1 = (2n + 1) \frac{\lambda_B}{4}$ от центра щели, а при измерении нормированного сопротивления поперечной щели – на расстоянии $l_2 = n \frac{\lambda_B}{2}$.

При таких положениях поршня отражения в сечении $A - A'$ будут минимальными, чему будет соответствовать минимальный коэффициент стоячей волны КСВ в волноводе.

Если короткозамыкающий поршень установить так, чтобы расстояние между ним и центром продольной щели составило целое число полуволн

$l_1 = n \frac{\lambda_B}{2}$ (см. рис. 8), то входная проводимость в сечении $A - A'$ (отношение H_x к E_y) будет равна бесконечности. В волноводе установится режим стоячих волн, причем один из узлов стоячей волны совпадает с центром щели. В любом сечении, отстоящем от сечения $A - A'$ на целое число полуволн, например, в сечении $B - B'$, входное сопротивление и входная проводимость повторяют сопротивле-

ние и проводимость в сечении $A - A'$. Это может быть использовано для измерения входной проводимости сечения $A - A'$.

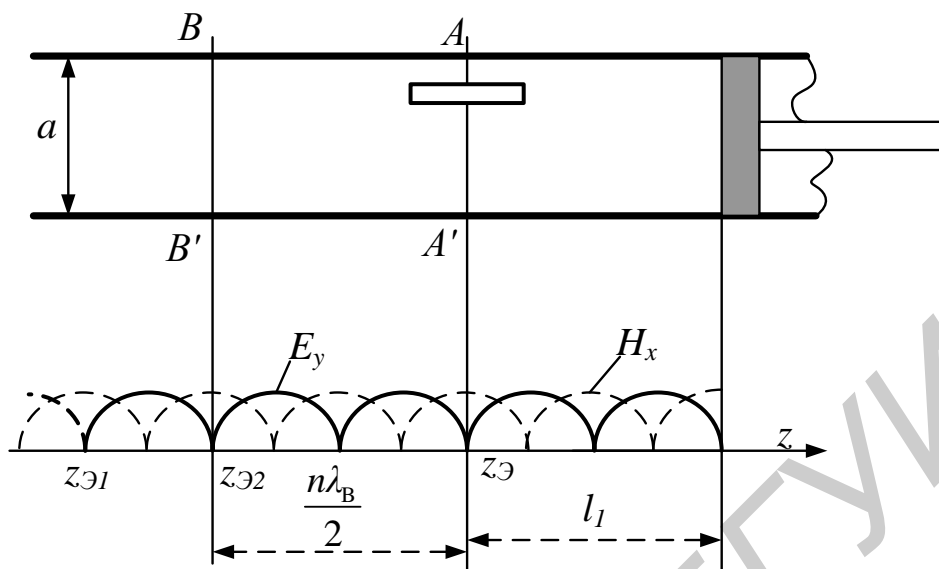


Рис. 8. Распределение составляющих электрического и магнитного поля в волноводе с продольной щелью в режиме стоячей волны

Практически измерения выполняются следующим образом. Вначале, изменяя положение короткозамыкающего поршня, устанавливают расстояние $l_1 = n \frac{\lambda_{\text{В}}}{2}$, соответствующее режиму стоячей волны в волноводе. По положению узла напряженности электрического поля в измерительной линии определяют положение какого-либо эквивалентного сечения. Затем смещают короткозамыкающий поршень на четверть длины волны так, чтобы расстояние стало равным $(2n + 1) \frac{\lambda_{\text{В}}}{4}$. В волноводе устанавливается режим смешанных волн. Измеряются коэффициент стоячей волны КСВ и расстояние до минимума напряженности электрического поля от эквивалентного сечения.

По измеренным величинам с помощью круговой диаграммы полных сопротивлений (см. приложение) определяют входную нормированную проводимость в эквивалентном сечении.

Аналогичным образом измеряется входное сопротивление поперечной щели. Если расстояние от центра поперечной щели до короткозамыкающего поршня сделать равным $(2n + 1) \frac{\lambda_{\text{В}}}{4}$ (рис. 9), то входное сопротивление в сечении $A - A'$ (отношение E_y к H_x) обратится в бесконечность. В волноводе установится стоячая волна. Но теперь с центром щели совпадает не узел, а пучность напряженности электрического поля.

Следовательно, эквивалентные сечения будут находиться в точках максимума напряженности электрического поля. Узлы электрической напряженности будут сдвинуты относительно эквивалентных сечений на расстояние, рав-

ное $\frac{\lambda_B}{4}$. Из теории длинных линий известно, что линия длиной в четверть длины волны трансформирует входное сопротивление в проводимость, и наоборот.

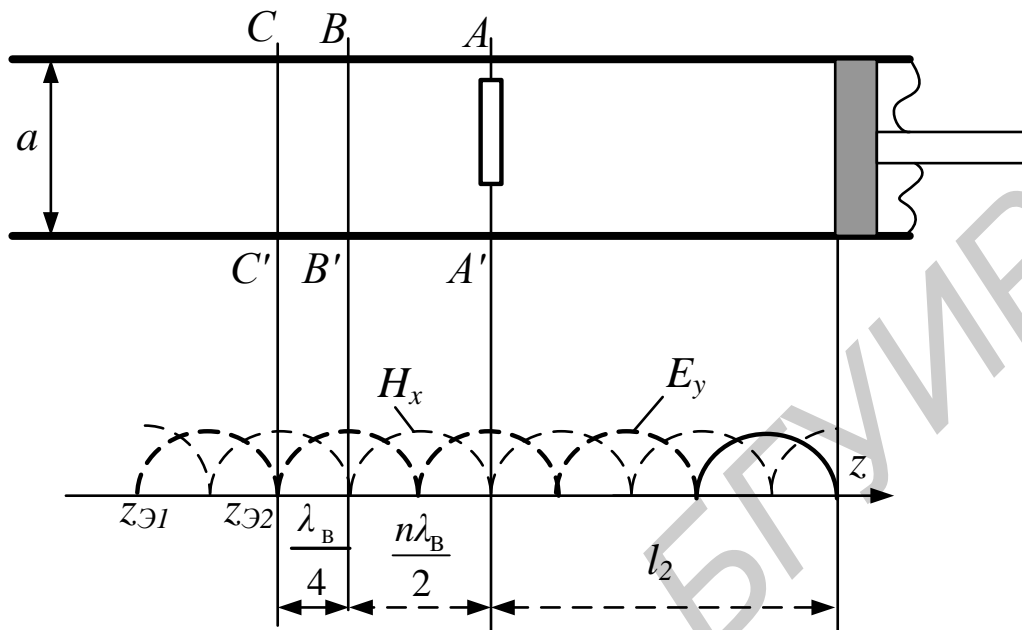


Рис. 9. Распределение составляющих электрического и магнитного поля в волноводе с поперечной щелью в режиме стоячей волны

Таким образом, можно утверждать, что входная нормированная проводимость в сечении $C - C'$ (см. рис. 9) равна входному нормированному сопротивлению $B - B'$ и равна входному нормированному сопротивлению в сечении $A - A'$:

$$Y_C^* = Z_B^* = Z_A^*. \quad (11)$$

В режиме смешанных волн, когда $l_2 = n \frac{\lambda_B}{2}$, входное сопротивление в сечении $A - A'$ равно входному сопротивлению щели $Z_A^* = Z_{щ}^*$, поэтому в этом режиме приведенная проводимость равна значению приведенного сопротивления щели $Y_C^* = Z_{щ}^*$.

3. Измерительная установка

Для исследования щелей в стенках прямоугольного волновода используется измерительная установка, структурная схема и внешний вид которой показаны на рис. 10.

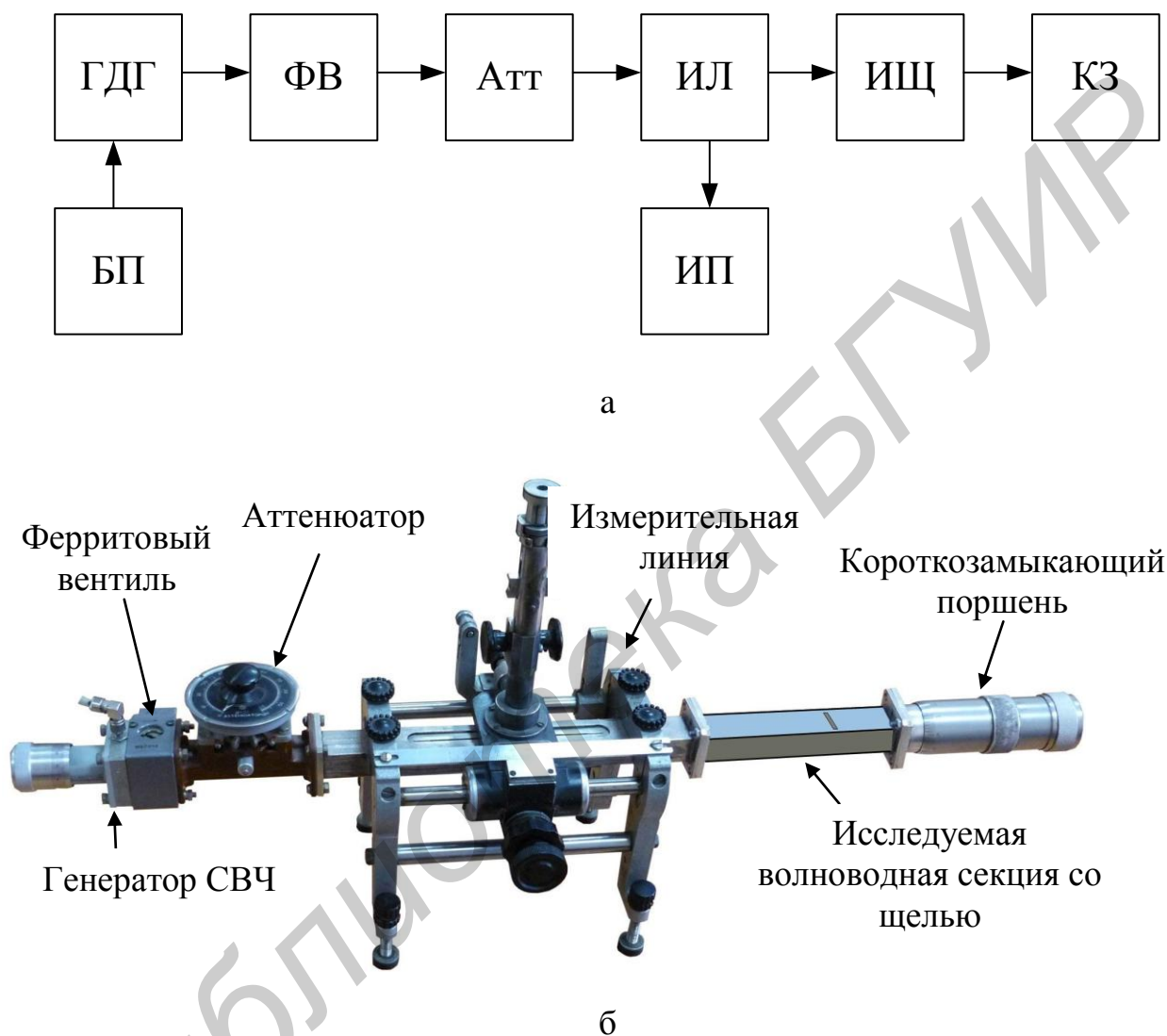


Рис. 10. Структурная схема и внешний вид измерительной установки

Узлы, входящие в волноводный тракт измерительной установки, а также волноводные секции с прорезанной щелью выполнены на основе прямоугольного волновода трехсантиметрового диапазона волн с размерами поперечного сечения 23×10 мм. Волна в линии возбуждается СВЧ-генератором на диоде Ганна ГДГ, постоянное напряжение питания которого 10 – 11 В обеспечивает блок питания БП. Требуемая частота генератора устанавливается в соответствии с его градуировочным графиком. Для устранения влияния нагрузки на частоту и мощность генератора на его выходе установлен ферритовый вентиль

ФВ. Далее после аттенюатора Атт, регулирующего уровень мощности волны, включена измерительная волноводная линия ИЛ, с помощью которой производится измерение коэффициента стоячей волны и определяются координаты характерных точек распределения поля вдоль линии. Измерительный прибор ИП, подключенный к выходу детектора ИЛ, представляет собой многопредельный микроамперметр постоянного тока, снабженный системой блокировки (арретир). К выходу измерительной линии подключены волноводная секция с излучающей щелью ИЩ и далее подвижный короткозамыкающий поршень КЗ. Координата положения поршня в волноводе L_{Π} определяется по шкале на его корпусе.

В лабораторной работе измеряются:

- нормированные активные и реактивные проводимости продольных щелей в узкой и широкой стенах волновода;
- нормированное активное и реактивное сопротивление поперечной щели в широкой стенке волновода;
- зависимости этих параметров щелей от частоты в диапазоне, указанном преподавателем.

Измерение параметров щелевых излучателей в данной лабораторной работе проводится аналогично измерению комплексных сопротивлений (проводимостей) нагрузок с помощью измерительной линии и круговой диаграммы полных сопротивлений КДВ [7]. Для этого необходимо вначале установить в измерительном тракте подбором положения короткозамыкающего поршня L_{Π} режим стоячей волны (щель не излучает), найти координату одного из эквивалентных сечений z_{om} и длину волны в волноводе λ_B , а затем сместить поршень на $\frac{\lambda_B}{4}$ (щель излучает), определить координату ближайшего к опорной точке

минимума поля z_{\min} и коэффициент стоячей волны $KCB = \sqrt{\frac{I_{\partial \max}}{I_{\partial \min}}}$.

4. Задание и порядок выполнения работы

1. Изучить настоящие методические указания и состав аппаратуры, входящей в измерительный стенд.
2. Перед включением стенда установить регулятор выходного напряжения БП на ноль, аттенюатор Атт – на максимум затухания, микроамперметр снять с блокировки и установить предел измерения тока 15 или 30 мкА.
3. Подключить к выходу измерительной линии ИЛ одну из волноводных секций с прорезанной щелью ИЩ и короткозамыкающий поршень КЗ.
4. Включить измерительную установку и настроить ее на заданную частоту. Для этого необходимо:
 - установить напряжение питания ГДГ 10 – 11 В по вольтметру на БП;
 - установить короткозамыкающим поршнем генератора ГДГ по градуировочному графику заданную частоту;

– настроить измерительную линию ИЛ двумя ручками на вертикальной стойке по максимуму тока детектора;

– по окончании настройки аттенуатором установить такой уровень мощности, чтобы при смещении зонда линии в максимум поля стрелка измерительного прибора ИП отклонялась во вторую половину шкалы, но не более чем на 25 мкА. Такой уровень мощности необходимо устанавливать при выполнении каждого пункта задания.

5. Перемещением короткозамыкающего поршня установить в измерительном тракте с исследуемым щелевым излучателем режим стоячей волны. Для этого при перемещении поршня необходимо одновременно смещать зонд ИЛ и контролировать показания ИП в сечении минимума поля. В режиме стоячей волны значение тока детектора в сечении минимума поля $I_{\partial \min}$ должно быть равно нулю. Записать координату положения короткозамыкающего поршня L_{Π} .

6. Измерить длину волны в волноводе как удвоенное расстояние между соседними минимумами напряженности поля (эквивалентными сечениями) $\lambda_{\text{в}} = 2(z_{\partial 1} - z_{\partial 2})$.

7. Одно из эквивалентных сечений принять за опорную точку ($z_{\partial 1} = z_{\text{ом}}$) и сместить поршень на четверть длины волны $\left(L_{\Pi} \pm \frac{\lambda_{\text{в}}}{4} \right)$. В волноводе устанавливается режим смешанных волн (щель излучает энергию).

8. Измерить коэффициент стоячей волны $KCB = \sqrt{\frac{I_{\partial \max}}{I_{\partial \min}}}$ и найти координату ближайшего к опорной точке минимума напряженности электрического поля z_{\min} . Записать расстояние $\Delta z = z_{\text{ом}} - z_{\min}$. Результаты измерений занести в табл. 1. В эту же таблицу заносятся результаты измерений других типов щелевых излучателей.

Таблица 1

Вид щели	L_{Π}	$\lambda_{\text{в}}$	$L_{\Pi} \pm \frac{\lambda_{\text{в}}}{4}$	z_{\min}	$z_{\text{ом}}$	$I_{\partial \min}$	$I_{\partial \max}$	Δz	$\frac{\Delta z}{\lambda_{\text{в}}}$	КСВ
1										
2										
3										

9. Для одного из щелевых излучателей (по указанию преподавателя) снять зависимость активных и реактивных нормированных проводимостей (сопротивлений) от частоты в диапазоне, заданном преподавателем (табл. 2). При каждом изменении частоты необходимо осуществлять подстройку измерительной линии.

Таблица 2

Тип щели										
f , ГГц	L_{Π}	λ_B	$L_{\Pi} \pm \frac{\lambda_B}{4}$	z_{\min}	z_{om}	$I_{\partial \min}$	$I_{\partial \max}$	Δz	$\frac{\Delta z}{\lambda_B}$	КСВ
f_1										
$f \dots$										
f_n										

10. Измерить смещения центра щелевого излучателя (расстояния x_1, x_2) относительно продольного осевого сечения волновода и размеры щели l и d (см. рис. 6, а, б).

Выполнить схематический чертеж щелевых излучателей.

11. По круговой диаграмме полных сопротивлений (КДВ) и экспериментальным данным (см. табл. 1) определить нормированное сопротивление и проводимости исследованных излучающих щелей (для поперечной щели значение $\Delta z^* = \frac{\Delta z}{\lambda_B} \pm 0,25$). Результаты расчетов свести в табл. 3.

Таблица 3

Вид щели	Экспериментальные данные				Расчет	
	G^*	B^*	R^*	X^*	G^*	R^*
Продольная щель в широкой стенке						
Продольная щель в узкой стенке						
Поперечная щель в широкой стенке						

12. По экспериментальным данным (см. табл. 2) и круговой диаграмме полных сопротивлений рассчитать частотные зависимости активной и реактивной составляющих нормированного сопротивления (проводимости) излучающей щели. Результаты расчета занести в табл. 4. Построить графики $R^*, X^* = F(f)$ или $G^*, B^* = F(f)$ и определить резонансную частоту.

Таблица 4

Частота	f_1	f_2	$f \dots$	f_n
$G_{\text{щ}}^* (R_{\text{щ}}^*)$				
$B_{\text{щ}}^* (X_{\text{щ}}^*)$				

13. По формулам (6), (7) и (8) рассчитать нормированные проводимости (сопротивление) соответствующих щелевых излучателей на резонансной частоте и сравнить с величинами, полученными экспериментально.

5. Содержание отчета

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Структурная схема измерительной установки.
3. Результаты измерения параметров щелевых излучателей.
4. Расчет параметров щелевых излучателей на резонансной частоте по КДВ.
5. Графики зависимостей активной и реактивной проводимости (сопротивления) щелевых излучателей от частоты.
6. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

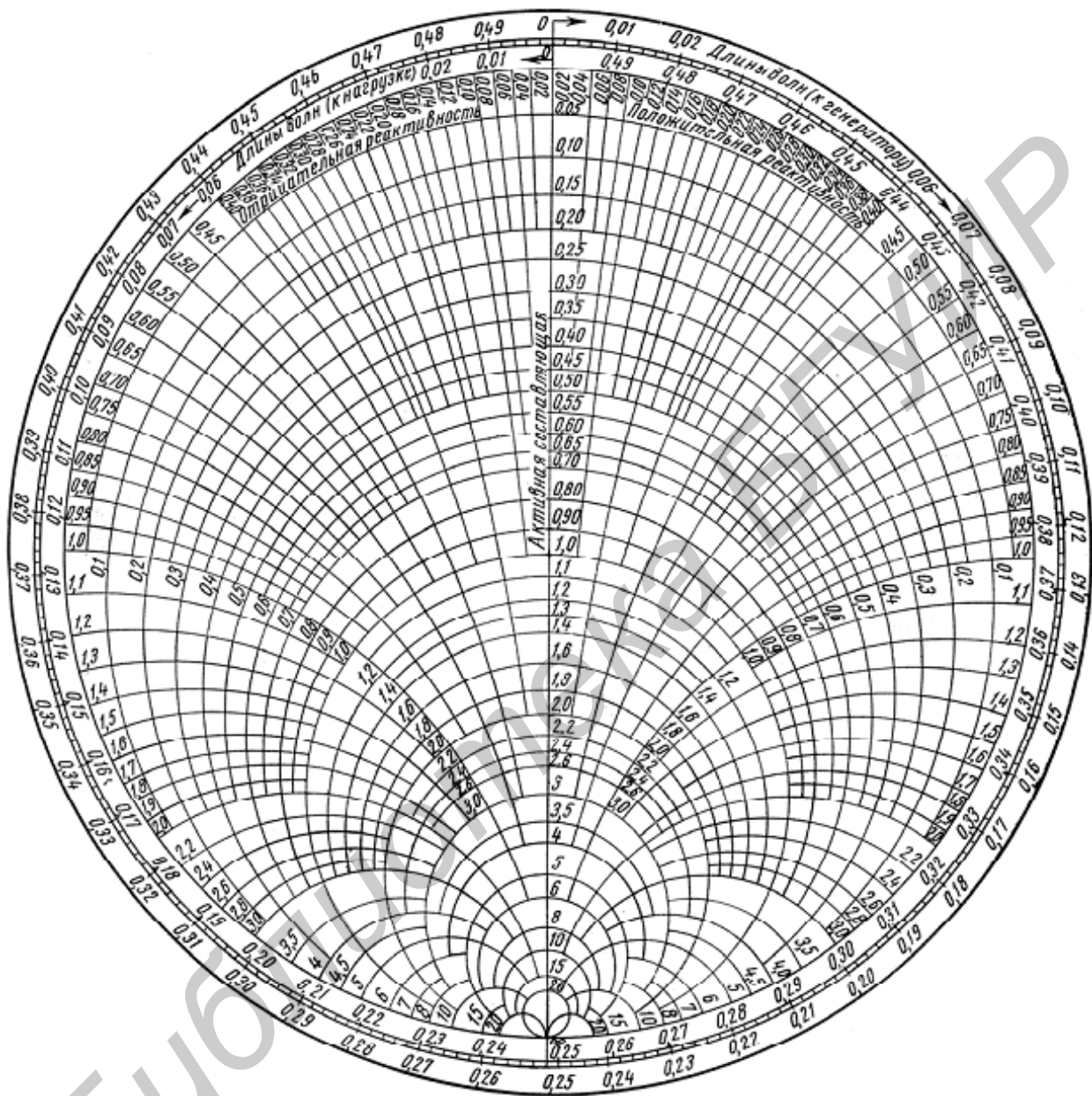
6. Контрольные вопросы

1. Структура поля основной волны в прямоугольном волноводе.
2. Распределение токов проводимости на стенках волновода с волной H_{10} .
3. Расположение излучающих и неизлучающих щелей на стенках прямоугольного волновода.
4. Типы излучающих щелей, их эквивалентные схемы.
5. Параметры излучающих щелей.
6. Зависимость интенсивности излучения щели от расположения на стенках волновода и положения короткозамыкателя.
7. Влияние размеров щели на свойства щелевых излучателей.
8. Определение резонансной частоты.
9. Зависимость активной и реактивной составляющей проводимости (сопротивления) излучающей щели от частоты.
10. Методика измерения параметров излучающей щели с помощью измерительной линии и круговой диаграммы полных сопротивлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кураев, А. А. Электродинамика и распространение радиоволн / А. А. Кураев, Т. Л. Попкова, А. К. Сеницын. – Минск : Бестпринт, 2004.
2. Пименов, Ю. В. Техническая электродинамика / Ю. В. Пименов, В. И. Вольман, А. Д. Муравцов. – М. : Радио и связь, 2000.
3. Кочержевский, Г. Н. Антенно-фидерные устройства / Г. Н. Кочержевский. – М. : Связь, 1967.
4. Жук, М. С. Проектирование антенно-фидерных устройств / М. С. Жук, Ю.Е. Молочков. – М.–Л. : Энергия, 1966.
5. Лебедев, И. В. Техника и приборы СВЧ / И. В. Лебедев. – М. : Высш. шк., 1970, Т. 1, 2.
6. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов / под ред. Д. И. Воскресенского. – М. : Сов. радио, 1972.
7. Измерение параметров нагрузок и методика их согласования с линиями передачи : метод. указания к лабораторной работе №2 по курсам «Электродинамика и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны», «Теория колебаний и волн» / сост. Д. В. Гололобов [и др.]. – Минск : БГУИР, 2006.

КРУГОВАЯ ДИАГРАММА ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ПРОВОДИМОСТЕЙ



Содержание

1. Краткие теоретические сведения.....	3
1.1. Структура поля и поверхностные токи в стенках волновода.....	4
1.2. Излучающие и неизлучающие щели.....	7
1.3. Эквивалентные схемы и параметры излучающих щелей.....	9
2. Экспериментальное определение проводимости и сопротивления щелей в волноводе.....	12
3. Измерительная установка.....	15
4. Задание и порядок выполнения работы.....	16
5. Содержание отчета.....	19
6. Контрольные вопросы.....	19
Литература.....	20
Приложение.....	21

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛЕЙ В СТЕНКАХ ВОЛНОВОДА

Методические указания
к лабораторной работе №3 по дисциплинам «Электродинамика
и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны»,
«Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства»,
«Основы электромагнитной теории»

С о с т а в и т е л и:

Бобков Юрий Юрьевич
Гололобов Дмитрий Владимирович
Кижлай Игорь Николаевич и др.

Редактор Н. В. Гриневич
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 13.10.2011.	Формат 60×84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Гаймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,51.
Уч.-изд. л. 1,3.	Тираж 100 экз.	Заказ 43.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6